DDRĘCZNIK PILOTA ZYBOWCOWEGO

YDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI

Okładkę projektował ANDRZEJ ZBROŻEK

Poszczególne rozdziały opracowali:

Rozdział I — mgr inż. WŁADYSŁAW NOWAKOWSKI
Rozdziały — II, III, XII i XIII
mgr inż. IRENA KANIEWSKA
Rozdziały — IV, VI, IX, X i XI
inż. ANDRZEJ ABŁAMOWICZ

Rozdział V — mgr inż. JULIAN BOJANOWSKI i mgr inż. ROMAN ZATWARNICKI
Rozdział VII — mgr JERZY ADAMEK
Rozdział VIII
mgr inż. SŁAWOMIR MAKARUK

Książka obejmuje podane w skrócie wiadomości z zakresu wszystkich dziedzin teorii i praktyki szybowcowej potrzebne podczas pełnego cyklu wyszkolenia pilota wyczynowego, rozpoczynając od nauki pilotażu, a kończąc na lotach wyczynowych.

Książka przeznaczona jest dla kandydatów na pilotów szybowcowych, pilotów szybowcowych i instruktorów oraz osób interesujących się sportem szybowcowym w ogóle.

91262

Redaktor merytoryczny i koordynator książki:
mgr inż. JUSTYN SANDAUER

Opiniodawca książki
mgr JERZY ADAMEK

Redaktor WKiŁ
MICHAŁ GOSZCZYŃSKI

Redaktor techniczny
ANTONI KULIKOWSKI

Korektor
JADWIGA GILEWICZ

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI i ŁĄCZNOŚCI — WARSZAWA 1967

Wydanie I. Nakład 3000 + 200 egz. Objętość 32,7 ark. wyd. = 32,2 ark. druk. w tym 1 wklejka. Papier dr. sat. kl. V, 70 g 61×86 z fabryki w Częstochowie. Oddano do składania w kwietniu 1966. Podpisano do druku w grudniu 1966. Druk ukończono w styczniu 1967. Zam. P/59/66 K-5003. Cena zł 50,—

ZAKŁ. GRAF. DOM SŁOWA POLSKIEGO W WARSZAWIE. Zam. 2698 M-29

SPIS TREŚCI

Wstęp 7

Rozdział pierwszy. Aerodynamika i mechanika lotu 9
1. Atmosfera ziemska oraz tzw. „atmosfera wzorcowa" . . . 10
2. Własności fizyczne powietrza 13
3. Równanie Bernoulliego — pomiar prędkości lotu 14
4. Prawo podobieństwa dynamicznego — liczba Reynoldsa . . 19
5. Pomiary sił aerodynamicznych 21
6. Siła aerodynamiczna i jej składowe 23
7. Zjawisko powstawania na skrzydle siły nośnej 27
8. Opór skrzydła oraz źródła jego powstawania 31
   a. Opór tarcia 31
   b. Opór kształtu 36
   c. Opór indukowany 39
   d. Opór interferencyjny 43
   e. Opór szczelinowy 44
9. Urządzenia pozwalające na zwiększanie siły nośnej oraz oporu 44
   a. Skrzele 45
   b. Klapy wysklepiające 45
   c. Poszerzacz 46
10. Własności aerodynamiczne szybowca — jego biegunowa . . . 48
11. Lot ślizgowy szybowca 51
12. Biegunowa prędkości — wpływ na nią obciążenia jednostkowego 53
13. Lot nurkowy — biegunowa prędkości na hamulcach . . . 57
14. Zakręt — krążenie szybowca 60
15. Charakterystyka szybowca w krążeniu — biegunowa optymalnego krążenia 63
16. Lot w zakresie nadkrytycznych kątów natarcia — korkociąg 69
17. Pojęcie stateczności statycznej i dynamicznej 76
18. Stateczność statyczna szybowca 78
19. Stateczność dynamiczna szybowca 86
20. Działanie usterzeń szybowca 88
21. Sterowność 93

Rozdział drugi. Obciążenia i wytrzymałość szybowca 95
1. Powstawanie obciążeń 96
2. Obciążenia dopuszczalne 98
3. Sterowanie 99
4. Obciążenia niesymetryczne 105
5. Podmuchy 107
6. Lot holowany za samolotem 108
7. Start za wyciągarką 109
8. Lądowanie 116
9. Ogólne wiadomości o wytrzymałości materiałów 118
10. Obciążenia i wytrzymałość głównych zespołów konstrukcyjnych szybowca 121

11. Zapas bezpieczeństwa 129
12. Drgania 130

Rozdział trzeci. Konstrukcja szybowca 136
1. Charakterystyczne typy szybowców 136
a. Szybowiec szkolny jednomiejscowy 137
b. Szybowiec treningowy 138
c. Szybowiec szkolny dwumiejscowy 141
d. Szybowiec wyczynowy 142
e. Szybowiec zawodniczy 145
f. Szybowiec rekordowy 149
g. Szybowiec akrobacyjny 150
h. Szybowce dwumiejscowe 151
i. Szybowce specjalne 154
2. Materiały stosowane do budowy szybowców 155
a. Drewno 155
b. Sklejka 158
c. Stopy lekkie 159
d. Stale 159
e. Tworzywa sztuczne 160
f. Kleje 160
g. Inne materiały pomocnicze 161
3. Budowa szybowca 162
4. Typowe konstrukcje szybowcowe 164
5. Części konstrukcyjne szybowca konstrukcji drewnianej . . 166
a. Skrzydło 166
b. Usterzenia 172
c. Kadłub 173
6. Szybowce metalowe 177
7. Mechanizmy sterowania szybowcem 181
8. Nowe metody budowy szybowców 189

Rozdział czwarty. Wyposażenie szybowców 195
1. Dajniki ciśnienia powietrza 196
a. Rurka Pitota 196
b. Dysza Venturi 197
2. Prędkościomierze 198
3. Wysokościomierze 200
4. Wariometry 203
5. Zakrętomierze 208
6. Sztuczne horyzonty 210
7. Chyłomierze 213
a. Chyłomierz poprzeczny 213
b. Chyłomierz podłużny 214
8. Kominoszuk 214
9. Busole 216
10. Barografy 217
11. Aparaty tlenowe 219
a. Inhalator tlenowy 221
b. Zawór redukcyjny 222
c. Maska tlenowa 222
d. Przewód gumowy 223
e. Manometr tlenowy 222
f. Wskaźnik dawkowania tlenu 224
g. Butle tlenowe 224
h. Armatura pokładowa 224

i. Spadochronowa aparatura tlenowa 226
j. Uwagi eksploatacyjne 226
12. Radio 228

Rozdział piąty. Urządzenia startowe 231
1. Start za pomocą liny gumowej 231
2. Start za pomocą mechanicznych urządzeń naziemnych . . . 234
a. Wyciągarka szybowcowa 236
b. Ściągarka 246
c. Zaczepy startowe na szybowcu 247
3. Inne rodzaje startów 248
a. Start za samolotem 248
b. Motoszybowce 250

Rozdział szósty. Meteorologia „szybowcowa" 254
1. Atmosfera 255
a. Temperatura 255
b. Ciśnienie 255
c. Wilgotność 256
2. Ruch powietrza 256
3. Fronty atmosferyczne 260
4. Woda w atmosferze 263
5. Chmury 265
6. Termika 274
a. Termika wypracowana 274
b. Termika naniesiona 276
7. Masy powietrza 277
8. Prądy zboczowe 281
9. Prądy falowe 283
10. Przewidywania pogody 287
11. Komunikaty meteorologiczne dla szybownictwa 290

Rozdział siódmy. Nauka pilotażu podstawowego 293
1. Przebieg szkolenia szybowcowego 293
2. Technika wykonywania startów 297
a. Start za pomocą wyciągarki 297
b. Start za samolotem 303
c. Start dwóch szybowców za samolotem (dwuhol) 308
d. Start za pomocą lin gumowych 309
3. Nauka podstawowych elementów techniki pilotażu 310
a. Utrzymanie prędkości i kierunku lotu 310
b. Zakręty i ślizgi 313
c. Lądowanie 316
d. Krąg nadlotniskowy 318
4. Nauka krążenia i centrowania kominów termicznych . . . 321
5. Nauka wykonywania lotów zboczowych 324

Rozdział ósmy. Pilotaż bez widoczności 326
1. Lot prosty 326
2. Zakręt 330
3. Wyprowadzenie z krążenia 334
4. Krążenie w chmurze 334
5. Nienormalne położenie szybowca w locie 336
6. Postępowanie w trudnych sytuacjach 341

Rozdział dziewiąty. Akrobacja szybowcowa 346
1. Korkociąg 348
2. Pętla 352

3. Beczka 355
4. Przewrót 358
5. Wywrót 360
6. Zawrót 360
7. Ślizg na ogon 361
8. Zwrot bojowy 362
9. Akrobacja odwrócona 363
10. Zasady łączenia figur 366

Rozdział dziesiąty. Loty wyczynowe 368
1. Technika wykorzystywania prądów zboczowych 369
2. Technika wykorzystywania wznoszeń pochodzenia termicznego 370
3. Loty w chmurach 373
4. Loty falowe 376
5. Loty nocne 381
6. Taktyka przelotowa 381
a. Metody określania prędkości przeskoku i prędkości przelotowej 382
b. Metoda średnich prędkości przeskoku 384
c. Metoda chwilowych prędkości przeskoku 388
d. Obliczanie dolotu 390
e. Dobór rodzaju przelotu 391
f. Przygotowanie przelotu 392
g. Długie przeloty otwarte i docelowe 394
h. Przeloty kombinowane 395
i. Przeloty na czole burzy 397
k. Przeloty falowe 399
l. Przeloty zespołowe 401
m. Lądowanie w przygodnym terenie 405
7. Loty na zawodach 406

Rozdział jedenasty. Przepisy sportowe 409

Rozdział dwunasty. Organizacja i bezpieczeństwo lotów 416
1. Obsługa startu 417
2. Organizacja startu i lotów w rejonie lotniska 418
3. Znaki i sygnały stosowane w lotnictwie sportowym 427
4. Przepisy ruchu w powietrzu 438
5. Wytyczne postępowania w terenie przygodnym 443
6. Przygotowanie szybowca do lotu 447
7. Spadochrony 448
8. Fizjologia i higienia pilota 457
9. Postępowanie w sytuacjach wyjątkowych i niebezpiecznych . 462
a. Uszkodzenie mechanizmów sterowania 462
b. Uszkodzenie konstrukcji szybowca 465
c. Oblodzenie 466
d. Utrata przytomności przez pilota 467
e. Wypadki w lotach za samolotem 468
f. Wypadki przy starcie za wyciągarką 470
g. Wypadki przy lądowaniu 471
h. Postępowanie po wypadku 472
i. Pierwsza pomoc 473

Rozdział trzynasty. Szybownictwo w Polsce i na świecie 475
1. Rys historyczny 475
2. Kierunki rozwojowe i możliwości szybownictwa 491

Literatura pomocnicza 511

Wstęp

Oddając *Podręcznik pilota szybowcowego* do rąk szybowników, różniących się między sobą poziomem wyszkolenia i dorobkiem wyczynowym, ale przepojonych wspólnym entuzjazmem dla tego pięknego sportu, chciałbym krótko naświetlić cel, jaki sobie zespół autorski wyznaczył.

Duża popularność, jaką cieszy się w naszym kraju szybownictwo i wysoka lokata polskiego szybownictwa w świecie, znajdują również odbicie w znacznej liczbie pozycji książkowych, które ukazały się w ubiegłym piętnastoleciu. Wiele z tych prac, jak np. *Szybownictwo* pod redakcją W. Humena, *Meteorologia szybowcowa* W. Parczewskiego czy *Przeloty szybowcowe* E. Makuli, St. Skrzydlewskiego i St. Wielgusa doczekało się kilku wydań, a niektóre z nich również przekładów zagranicznych, przedstawiając sobą cenne pozycje w fachowej literaturze szybowcowej. Wydaje się jednak, że zarówno początkujący adept szybownictwa, jak i „stary" wyga posiadający na swym koncie wiele wyczynów, nieraz potrzebują podręcznika, w którym znaleźliby łatwo odpowiedź na bardzo różnorodne pytania czy wątpliwości, które im się w różnych okolicznościach uprawiania tego sportu nasuną.

Myśl napisania takiego podręcznika nurtowała nas dość długo. Podstawową trudnością, jaką widzieliśmy, była potrzeba napisania tylko jednego podręcznika dla wszystkich pilotów. Osiągnięcie tego celu byłoby niemożliwe, gdyby nie istniała już bogata literatura szybowcowa — ona właśnie pozwoliła nam poczynić następujące wyjściowe założenie: podręcznik powinien zawierać wszystkie podstawowe wiadomości potrzebne pilotowi w ciągu całego szkolenia i treningu, aż do osiągnięcia najwyższego poziomu wyczynowego, natomiast wiadomości „nie podstawowe" tzn. te, po które sięgnie pilot zainteresowany jedną z licznych specjalności lotniczych, znajdzie on w wykazie literatury pomocniczej podanym na końcu książki.

To skromne założenie, aby *Podręcznik pilota szybowcowego* zawierał tylko niezbędne minimum wiadomości, doprowadziło w efekcie do niniejszej i tak niezbyt cienkiej książki. Bardziej śmiałe zamierzenia pociągnęłyby za sobą prawdopodobnie powstanie tomu, który zabrany do szybowca poważnie zwiększyłby jego obciążenie powierzchniowe.

Szybownictwo, jako jedna z gałęzi lotnictwa, podlega oczywiście ogólnym prawom rządzącym tą dziedziną ludzkiej działalności. Najcharakterystyczniejszą chyba cechą lotnictwa jest ogromny dynamizm

rozwoju. Nic więc dziwnego, że rozwój ten nie omija i szybownictwa. Postęp w szybownictwie obejmuje wszystkie dziedziny — sportową, wyszkoleniową i techniczną — a jego tempo powoduje, że książki szybko się starzeją. Dlatego też drugim założeniem *Podręcznika* było podanie wiadomości jak najbardziej aktualnych. Mamy przy tym nadzieję, że pod tym względem Czytelnik nie będzie rozczarowany i znajdzie potrzebne mu informacje nie tylko dotyczące najnowszych zagadnień, jak np. techniki przelotu falowego czy ostatnich osiągnięć sportowych, lecz również opracowane w sposób nowoczesny, tzn. wolny od szablonu i rutyny.

Opracowanie *Podręcznika* przekraczało oczywiście możliwości jednego autora. Zadania tego podjął się zespół ludzi, których nazwiska nie są obce nawet początkującemu szybownikowi. Niejednokrotnie ścisłe, fachowe sformułowania idą w parze z mądrą, przyjacielską radą starszego kolegi. Biorąc więc pod uwagę głęboką wiedzę autorów i fakt, że przeważnie są oni jednocześnie pilotami o najwyższych kwalifikacjach i doświadczeniu, warto im zaufać!

październik 1966 *Justyn Sandauer*

Mgr inż. *Władysław Nowakowski*

Rozdział pierwszy

Aerodynamika i mechanika lotu

Lot szybowca odbywa się w ziemskiej atmosferze dzięki siłom aerodynamicznym, które równoważą ciężar oraz ewentualnie występujące w locie siły masowe — na przykład odśrodkowe — szybowca.

Nauką, która odkrywa i formułuje prawa rządzące powstawaniem oraz wielkością sił aerodynamicznych jest aerodynamika. Natomiast dział mechaniki, który zajmuje się analizą ruchu płatowca — a więc i szybowca — jego statecznością oraz sterownością, nosi nazwę mechaniki lotu.

Szybowiec lecący z małą prędkością wywołuje w swym pobliżu jedynie niewielkie zmiany ciśnienia powietrza, które zachowuje się w tym przypadku jak medium nieściśliwe. Prawa aerodynamiki są wtedy identyczne z prawami hydromechaniki i występują ścisłe analogie pomiędzy siłami wywołanymi przez powietrze i na przykład przez wodę na poruszające się w nich ciało. Z analogii tej korzysta się bardzo często dla bardziej obrazowego wytłumaczenia pewnych zjawisk oraz w czasie eksperymentowania.

W zakresie wysokich prędkości, na przykład w czasie lotu samolotu odrzutowego, na przebieg zjawisk aerodynamicznych wywiera decydujący wpływ ściśliwość powietrza, a prawami rządzącymi tymi zjawiskami zajmuje się dynamika gazów.

Stały rozwój naszego szybownictwa stawia zarówno przed konstruktorami, jak i pilotami coraz wyższe wymagania. Szybowce nasze przechodzą ciągłą ewolucję, stając się coraz bardziej doskonałe i — niestety — coraz bardziej skomplikowane. Duży wpływ na rozwój konstrukcji szybowców, który jest bazą naszych osiągnięć w tej dziedzinie, mają sugestie pilotów poparte ich doświadczeniem. Aby jednak móc wykorzystywać pełne możliwości sprzętu oraz z doświadczeń wyciągać słuszne wnioski, potrzebna jest — między innymi — znajomość co najmniej zasad aerodynamiki i mechaniki lotu szybowca.

Te właśnie zasady zostaną omówione dalej.

1. Atmosfera ziemska oraz tzw. „atmosfera wzorcowa"

Decydujący wpływ na wielkość sił aerodynamicznych wywierają własności fizyczne atmosfery, to jest powietrza otaczającego ziemię.

Wspomniane własności nie są stałe, lecz zmieniają się w dużych granicach w miarę oddalania się od powierzchni ziemi, w mniejszych natomiast — w czasie.

Jeśli własności fizyczne niższych warstw atmosfery nie budzą już wątpliwości, to warunki panujące w warstwach wyższych badane są ostatnio systematycznie za pomocą rakiet meteorologicznych i sztucznych satelitów, a wyniki badań zmuszają często do rewizji dotychczas panujących w tej dziedzinie poglądów.

Ponieważ atmosfera ziemska ma pewne charakterystyczne własności na różnych wysokościach, podzielono ją — umownie — na kilka sfer, a mianowicie: troposferę, stratosferę, jonosferę i egzosferę.

T r o p o s f e r a jest warstwą powietrza najbliższą ziemi. Sięga ona do wysokości około 8 km na biegunach, a do około 16 km na równiku. Na naszej szerokości geograficznej sięga do około 11 km.

Charakterystycznymi jej cechami są:

— obniżanie się temperatury powietrza w miarę oddalania się od powierzchni ziemi o około 0,5° do 1,0° na każde 100 m;

— obecność w powietrzu pewnej ilości pary wodnej, która wywołuje powstawanie takich zjawisk meteorologicznych jak: mgła, chmury, deszcz itp.;

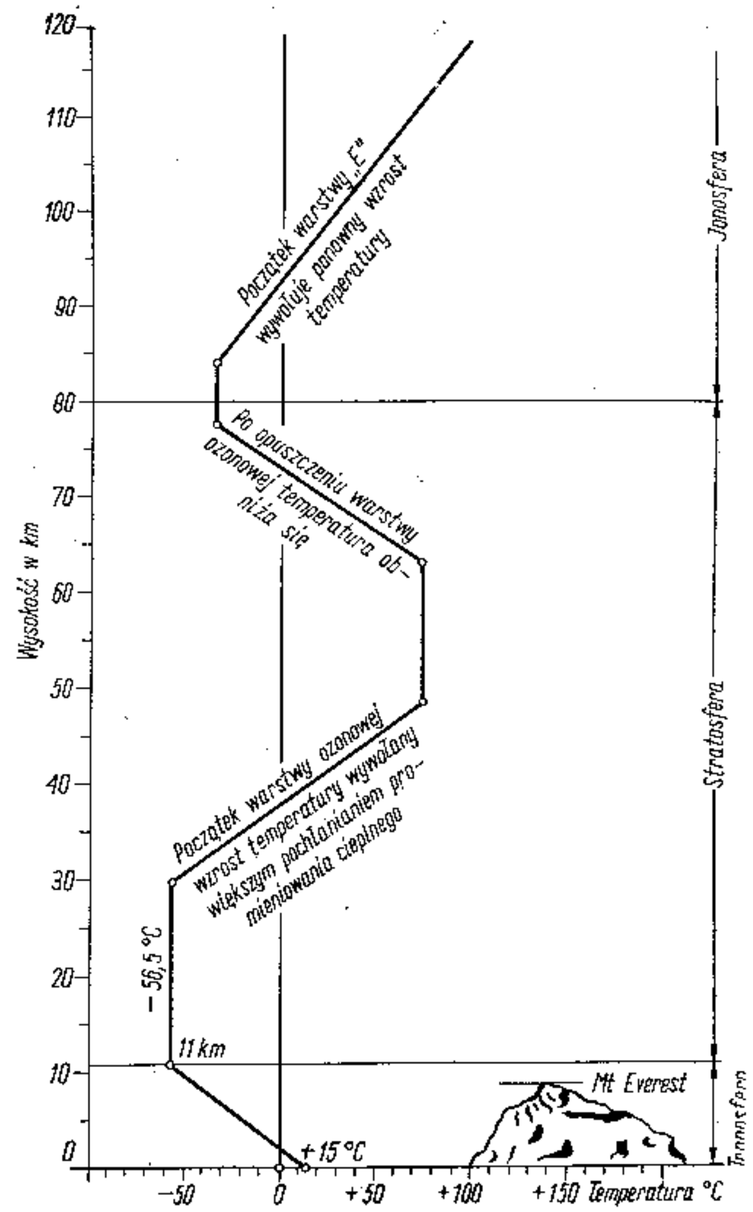
— istnienie silnych pionowych ruchów powietrza, które nie pozwalają np. na ułożenie się warstwami składników powietrza według ich ciężarów jednostkowych.

Następną warstwą, sięgającą do wysokości około 80 km, jest s t r a t o s f e r a. W jej dolnej warstwie, do około 30 km, temperatura powietrza jest w przybliżeniu stała i wynosi około —56,5°C. Powyżej temperatura gazu jest proporcjonalna do kwadratu średniej prędkości ona tam określana za pomocą kinetycznej teorii gazów, w myśl której temperatura gazu jest projorcjonalna do kwadratu średniej prędkości jego cząstek. Widoczne na rysunku przyrosty temperatur powietrza na dużych wysokościach wywołane są pochłanianiem promieniowania słonecznego przez warstwy ozonu bądź pyłu kosmicznego.

Poza stratosferą rozciąga się j o n o s f e r a, charakteryzująca się dużą zawartością naelektryzowanych cząstek gazów zwanych jonami, które wywołują szereg znanych zjawisk elektromagnetycznych, jak np. odbijanie fal radiowych (warstwa Heaviside'a), zorze polarne, świecenie obłoków itp.

Zewnętrzną warstwą atmosfery jest tak zwana e g z o s f e r a, przechodząca w przestrzeń międzyplanetarną.

Ostatnie badania wykazały, że ze względu na silne porywiste wiatry



Rys. 1—1. Poglądowy podział atmosfery ziemskiej oraz rozkład w niej temperatury

panujące w stratosferze, a w szczególności w warstwie oddzielającej troposferę od stratosfery (w tak zwanej t r o p o p a u z i e) skład atmosfery ziemskiej aż do bardzo dużej wysokości nie ulega praktycznie zmianie i kształtuje się następująco (objętościowo) — 21% tlenu, 78% azotu oraz 1% gazów szlachetnych.

Jak już wspominaliśmy, na wielkości sił aerodynamicznych mają

Tablica 1

Atmosfera wzorcowa

Wysokość h w m	Temperatura t w °C	Ciśnienie b w mm Hg	Ciężar właściwy γ w kG/m³	Gęstość ρ w kG s²/m⁴	Lepkość $\nu \cdot 10^6$ m²/s
0	+15,000	760,00	1,2255	0,1250	14,6
1 000	+ 8,500	674,09	1,1120	0,1134	15,8
2 000	+ 2,000	596,23	1,0068	0,1027	17,2
3 000	− 4,500	525,79	0,9094	0,0927	18,6
4 000	−11,000	462,26	0,8193	0,0836	20,3
5 000	−17,500	405,09	0,7363	0,0751	22,1
6 000	−24,000	353,77	0,6598	0,0673	24,2
7 000	−30,500	307,87	0,5896	0,0601	26,5
8 000	−37,000	266,86	0,5252	0,0536	29,0
9 000	−43,500	230,45	0,4664	0,0476	31,9
10 000	−50,000	198,16	0,4127	0,0421	35,2
11 000	−56,500	169,40	0,3636	0,0371	38,9
12 000	−56,500	144,63	0,4104	0,0317	45,6
13 000	−56,500	123,65	0,2653	0,0271	53,4
14 000	−56,500	105,56	0,2266	0,0231	62,5
15 000	−56,500	90,14	0,1935	0,0197	73,2
16 000	−56,500	77,08	0,1653	0,0169	85,7
17 000	−56,500	65,83	0,1412	0,0144	100,3
18 000	−56,500	56,22	0,1206	0,0123	117,5
19 000	−56,500	48,01	0,1029	0,0105	137,5
20 000	−56,500	41,01	0,0879	0,0090	161,0

duży wpływ własności fizyczne powietrza, w którym odbywa się lot, a te zmieniają się i w czasie, i w przestrzeni.

Aby więc móc porównywać obiektywnie osiągi samolotów i szybowców badanych w różnym czasie i w różnych miejscach, ustalono atmosferę umowną, tak zwaną atmosferę wzorcową (A. W.), której własności fizyczne zostały określone na drodze teoretycznej na podstawie licznych pomiarów meteorologicznych. Własności fizyczne tej atmosfery zestawiono w tablicy 1. Wszystkie wyniki badań osiągów samolotów oraz szybowców przelicza się na warunki tej atmosfery i otrzymuje tym samym dane nadające się do porównywania między sobą.

W tablicy 1 należy — do dalszych rozważań — zapamiętać przede wszystkim następujące charakterystyczne założenia atmosfery wzorcowej:

a) na wysokości ziemi ($h = 0$):
   — temperatura powietrza $t_0 = +15°C$,
   — ciśnienie powietrza $b_0 = 760$ mm Hg (mm słupa rtęci),
   — gęstość powietrza $\varrho_0 = 0{,}125$ kG s²/m⁴,
   — lepkość powietrza $\nu_0 = 0{,}0000146$ m²/s;
b) do granicy stratosfery, tj. do wysokości 11 km, temperatura powietrza obniża się o 6,5°C na 1 km, osiągając na wspomnianej wysokości temperaturę $t_s = -56{,}5°C$;
c) w dolnej warstwie stratosfery temperatura powietrza utrzymuje się na stałym poziomie $t_s = -56{,}5°C$.

Poza tym trzeba zapamiętać, że już na wysokości około 5,5 km ciśnienie powietrza maleje do połowy w porównaniu z ciśnieniem przy ziemi. Ponieważ przy tym ciśnienie powietrza wywołane jest spoczywaniem jego górnych warstw na warstwach niższych, można z tego wyciągnąć wniosek, że połowa wszystkich gazów otaczających kulę ziemską mieści się w stosunkowo cienkiej warstwie o grubości 5,5 km. Druga zaś połowa tworzy warstwę bardzo grubą, bo sięgającą aż do przestrzeni międzyplanetarnej. Tym właśnie tłumaczy się konieczność stosowania aparatów tlenowych już na stosunkowo niedużych wysokościach.

2. Własności fizyczne powietrza

W życiu codziennym doświadczamy wielokrotnie, że do tej samej objętości możemy wtłoczyć różne ilości powietrza, ale im więcej wtłoczymy powietrza, tym wyższe jest jego ciśnienie oraz większy ciężar danej objętości powietrza.

Ciężarem jednostkowym powietrza nazywamy ciężar jego jednego metra sześciennego i oznaczamy zazwyczaj grecką literą γ *(gamma)*. Jeżeli więc V m³ powietrza waży Q kG, to jego ciężar jednostkowy wynosi:

$$\gamma = \frac{Q}{V} \text{ [kG/m}^3\text{]}.$$

W poprzednim punkcie użyliśmy pojęcia gęstość powietrza i oznaczyliśmy go literą ϱ *(ro)*. Gęstością powietrza nazywamy masę jego jednego metra sześciennego. Pomiędzy więc gęstością a ciężarem jednostkowym powietrza zachodzi taka sama zależność, jak pomiędzy masą i ciężarem jakiegoś ciała.

Przypominamy sobie z nauki fizyki, że masa jakiegoś ciała jest równa jego ciężarowi podzielonemu przez przyspieszenie ziemskie g:

$$m = \frac{Q}{g}.$$

Możemy więc napisać, że gęstość powietrza ϱ jest równa jego ciężarowi jednostkowemu γ podzielonemu przez przyspieszenie ziemskie g, które jak wiadomo wynosi: $g = 9{,}81$ m/s², czyli:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \text{ [kG/s}^2\text{/m}^4\text{]}.$$

Nie tylko ciśnienie, lecz również i temperatura powietrza ma wpływ na jego ciężar jednostkowy, a więc i na jego gęstość. Powietrze bowiem, jak każde ciało, powiększa swą objętość przy podwyższaniu jego temperatury, stając się tym samym mniej „gęste", oczywiście przy stałym ciśnieniu.

Niżej podana zależność, która służy między innymi do obliczenia gęstości powietrza na różnych wysokościach atmosfery wzorcowej, obrazuje wpływ ciśnienia powietrza i jego temperatury na gęstość:

$$\varrho_h = 0{,}125 \cdot \frac{b_h}{760} \cdot \frac{288}{273 + t_h}, \qquad (1)$$

gdzie:

ϱ_h = gęstość powietrza na wysokości h,
b_h = ciśnienie powietrza na wysokości h,
t_h = temperatura powietrza na wysokości h.

Jak więc widzimy, gęstość powietrza zależy od jego ciśnienia i temperatury. Im ciśnienie jest wyższe, tym gęstość jest większa oraz — im temperatura powietrza jest wyższa, tym jego gęstość jest mniejsza.

Lepkość niektórych cieczy stała się przysłowiowa. Bardzo lepka jest ciecz, którą pokryte są lepy na muchy, mniej — ale jeszcze wyraźnie — lepki jest miód.

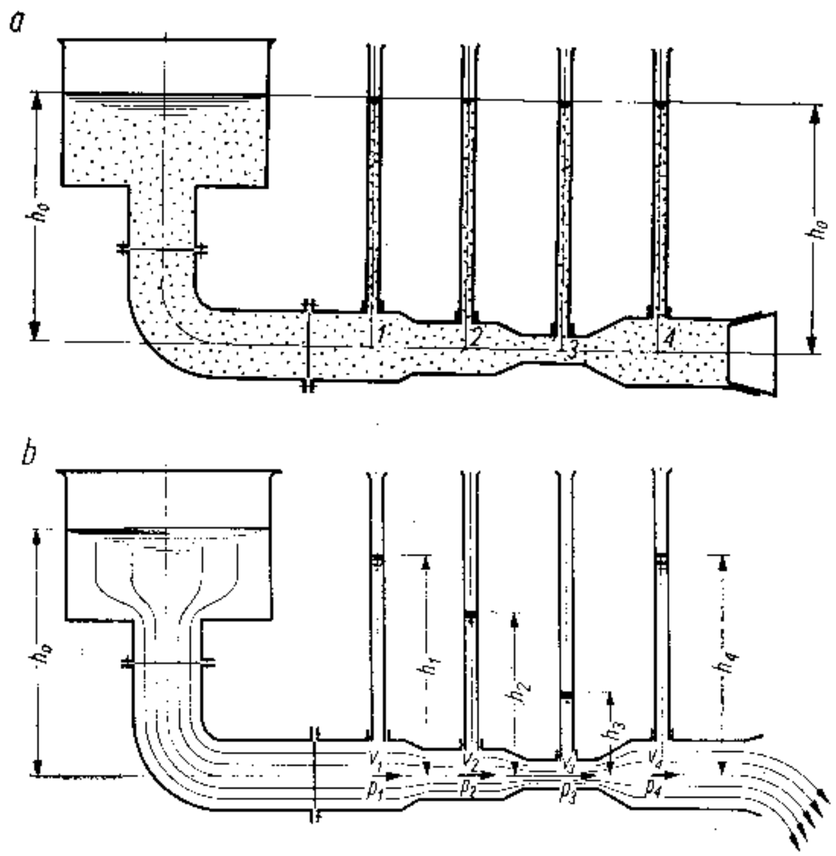
Nie tylko jednak ciecze, lecz i gazy są lepkie. Lepkie więc jest również powietrze, ale oczywiście jego lepkość w porównaniu z lepkością miodu czy nawet wody jest znacznie mniejsza.

Charakterystyczną cechą lepkości jest zdolność przylepiania się cząstek cieczy i gazów do powierzchni ciał w nich zanurzonych. Dzięki tej właściwości lepkość odgrywa poważną rolę w mechanizmie powstawania sił aerodynamicznych, co zostanie nieco szerzej omówione w jednym z dalszych punktów.

Lepkość — a w szczególności tzw. lepkość kinematyczna — nie jest wielkością stałą, ale zależy od temperatury i gęstości powietrza. Miarą lepkości jest współczynnik lepkości kinematycznej, oznaczany zazwyczaj grecką literą ν (*ni*). Wielkości współczynnika lepkości kinematycznej powietrza podane zostały w tablicy 1, gdzie obserwujemy, że wzrasta on z rosnącą wysokością. Przy tej samej temperaturze jest bowiem odwrotnie proporcjonalny do gęstości powietrza.

3. Równanie Bernoulliego — pomiar prędkości lotu

W pomiarach aerodynamicznych przeprowadzanych w laboratoriach wygodnie jest „odwrócić" zjawisko lotu — nieruchomy model opływany jest przez powietrze. Takie odwrócenie zjawiska jest dopusz-



Rys. 1—2. Rozkład ciśnienia wzdłuż rurociągu o zmiennym przekroju

a — w momencie gdy woda nie płynie przez rurociąg, ciśnienie jest jednakowe we wszystkich przekrojach, *b* — w czasie przepływu wody ciśnienie zmniejsza się w przekrojach, w których woda przepływa szybciej

czalne, ponieważ stwierdzono, że dla siły aerodynamicznej jest sprawą obojętną czy porusza się szybowiec w nieruchomym powietrzu, czy też powietrze opływa nieruchomy szybowiec, byleby w obu przypadkach względna prędkość szybowca i powietrza była taka sama.

W związku z tym szereg zjawisk aerodynamicznych możemy wytłumaczyć za pomocą praw rządzących ruchem powietrza. Podstawowym takim prawem jest tzw. prawo Bernoulliego, ujmujące wzajemną zależność pomiędzy ciśnieniem oraz prędkością cieczy lub gazów w zakresie — jak wspomnieliśmy na wstępie — małych prędkości.

Aby zrozumieć istotę wspomnianego prawa, wyobraźmy sobie następujące doświadczenie.

Z dużego zbiornika napełnionego wodą wyprowadzony jest ruro-

ciąg o zmiennym przekroju (jak np. na rys. 1—2). W kilku miejscach tego rurociągu zostały wmontowane szklane rurki, w których można obserwować poziom wody. Poziom ten jest oczywiście miarą ciśnienia wody panującego w miejscu wmontowania rurki.

Jak długo rurociąg jest zamknięty, a więc nie przepływa przez niego woda, poziom wody w zbiorniku i wszystkich rurkach jest jednakowy zgodnie z tzw. prawem naczyń połączonych. Wyciągamy więc wniosek, że wzdłuż poziomego rurociągu ciśnienie jest stałe jak długo nie przepływa przez niego woda. Stan taki obrazuje rysunek 1—2a.

Gdy otworzymy wspomniany rurociąg i zacznie przepływać przezeń woda ze zbiornika, zauważymy, że poziom w rurkach ustali się na różnych wysokościach (rys. 1—2b). Im mniejszy jest przekrój rurociągu, w który wmontowana jest rurka, tym niższy jest w niej poziom wody, a więc tym niższe panuje w tym przekroju rurociągu ciśnienie.

Nasuwa się więc pytanie: co mogło wpłynąć na zmianę ciśnienia w poszczególnych przekrojach rurociągu?

Odpowiedź jest prosta: ponieważ w jednostce czasu przez poszczególne przekroje rurociągu musi przepłynąć ta sama objętość wody, bo nie ma ona możliwości gromadzenia się, przez przekroje mniejsze musi ona przepływać odpowiednio szybciej niż przez przekroje większe — jak to pokazano na rysunku 1—2b za pomocą różnych długości wektorów prędkości v_1, v_2 itd. Te właśnie różnice prędkości wywołały różnice ciśnień wzdłuż rurociągu w myśl znanego prawa zachowania energii. Energia nie może bowiem powstawać z niczego, jedynie jeden rodzaj energii może powstawać kosztem innego jej rodzaju lub też w przypadku energii atomowej — kosztem masy.

W naszym doświadczeniu byliśmy świadkami zmiany energii zawartej w wodzie w postaci ciśnienia jej słupa na energię jej ruchu.

Proste rozważania energetyczne pozwalają na znalezienie wzajemnej zależności pomiędzy obiema formami wspomnianej energii.

Jest to tzw. równanie Bernoulliego:

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} = p_3 + \frac{\rho \cdot v_3^2}{2} = \text{constans}, \qquad (2)$$

gdzie:

p = ciśnienie statyczne w danym przekroju rurociągu,
v = prędkość przepływu w tym samym przekroju.

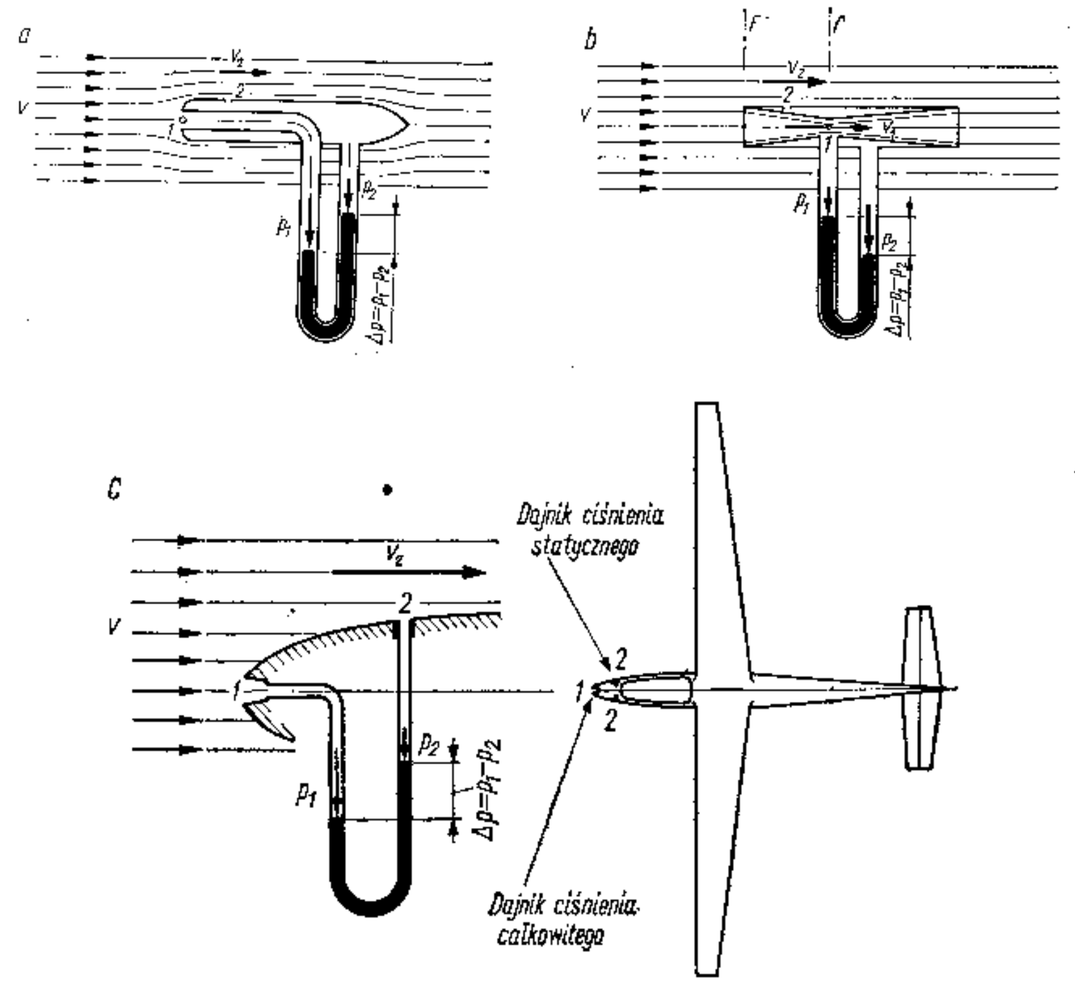
Ponieważ wyrażenie $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$ nosi nazwę ciśnienia dynamicznego lub ciśnienia prędkości, prawo Bernoulliego można wyrazić słowami:

wzdłuż strugi powietrza suma ciśnienia statycznego oraz dynamicznego jest wielkością stałą (constans).

Z prawa tego wynika wyraźnie, że jeżeli w którymś punkcie strugi powietrza rośnie prędkość, to w tym punkcie musi maleć ciśnienie. I odwrotnie: gdzie maleje prędkość, tam rośnie ciśnienie.

To wzajemne powiązanie prędkości i ciśnienia powietrza wykorzystane jest do pomiaru prędkości lotu. Istnieje kilka możliwych rozwiązań pokazanych na rysunku 1—3.

Tak np. na rysunku 1—3a pokazana została tzw. rurka spiętrzeniowa. Otworki *1* oraz *2*, znajdujące się na jej powierzchni, połączone są z manometrem. W pobliżu otworku *1* panuje ciśnienie p_1 oraz prędkość v_1, natomiast w pobliżu otworku *2* panuje prędkość



Rys. 1—3. Urządzenia do pomiaru prędkości lotu

a — rurka spiętrzeniowa wytwarzająca nadciśnienie, którego wielkość zależy od prędkości lotu, *b* — rurka Venturi wytwarzająca podciśnienie, którego wielkość zależy od prędkości lotu, *c* — dajniki ciśnienia na kadłubie szybowca mierzące takie same ciśnienie jak rurka spiętrzeniowa

v_2 oraz ciśnienie p_2. Różnicę ciśnień $\Delta p = p_1 - p_2$ mierzy wspomniany manometr. Stosując równanie Bernoulliego dla obu punktów, *1* oraz *2*, strugi powietrza:

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}$$

oraz pamiętając, że prędkość $v_1 = 0$ (powietrze nie może przepływać przez manometr) oraz że v_2 równa jest prędkości lotu v, otrzymujemy po prostym przekształceniu:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \tag{3}$$

lub:

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p} \tag{4}$$

Jak więc widzimy, prędkość lotu możemy obliczyć za pomocą zależności (4) na podstawie wskazań manometru połączonego z rurką spiętrzeniową zamontowaną na szybowcu — znając gęstość powietrza, w którym odbywa się lot.

Na rysunku 1—3b pokazana jest tzw. r u r k a V e n t u r i. W tym przypadku manometr podłączony jest również pomiędzy dwa jej otworki. Otworek *1* znajduje się w najwęższym przekroju rurki *f*, w którym panuje ciśnienie p_1 — oraz prędkość v_1 — większa od prędkości lotu v tyle razy, ile razy mniejszy jest ten przekrój rurki od przekroju wlotowego *F*. Otworek *2* znajduje się na pobocznicy rurki w miejscu, gdzie prędkość powietrza v_2 równa jest prędkości lotu v.

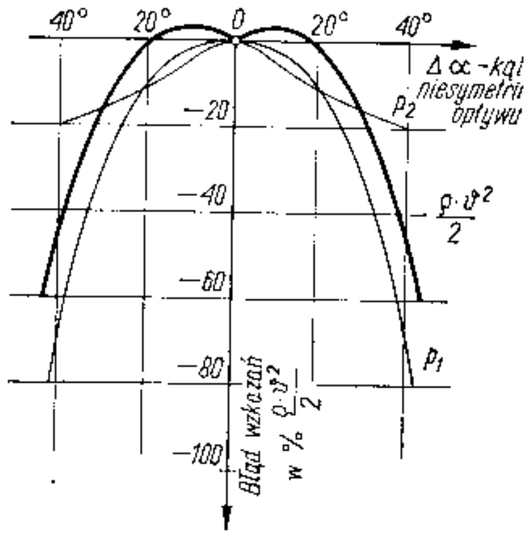
Stosując w tym przypadku dla obu punktów strugi powietrza oraz *2* równanie Bernoulliego oraz oznaczając przez $k = \left(\frac{F}{f}\right)^2 - 1$, tak zwaną stałą rurki, otrzymujemy:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot k. \tag{5}$$

Porównując zalcżność (5) z zależnością (3) widzimy, że w tych samych warunkach rurka Venturi stwarza *k-krotnie* wyższą różnicę ciśnień niż rurka spiętrzeniowa. W tym tkwiła przyczyna, dla której — w czasie gdy nie opanowano jeszcze produkcji wystarczająco tanich i czułych manometrów prędkościomierzy — powszechnie stosowano w szybownictwie rurki Venturi do pomiaru prędkości lotu.

Rurki — spiętrzeniowa lub Venturi — zamocowane na kadłubie szybowca nie tylko stwarzają dodatkowy opór, ale są przy tym bardzo narażone na uszkodzenie, np. w czasie hangarowania. Dlatego coraz częściej stosuje się ostatnio rozwiązania, w których kadłub szybowca jest jak gdyby olbrzymią rurką spiętrzeniową (patrz rys. 1—3c).

W „nosie" kadłuba zamontowany jest tzw. d a j n i k c i ś n i e n i a c a ł k o w i t e g o, po bokach kadłuba d a j n i k i c i ś n i e n i a s t a t y c z n e g o, oba połączone — tak jak rurka spiętrzeniowa — z manometrem. Jeżeli dajniki ciśnienia statycznego zamontowane są w tym miejscu kadłuba, w okolicy którego prędkość strug powietrza równa jest prędkości lotu, zależność (4) pozwala na obliczenie prędkości ze wskazań manometru.



Rys. 1—4. Wpływ niesymetrii opływu rurki spiętrzeniowej na dokładność wskazań prędkościomierza

Jedyną niedogodnością tego rozwiązania jest stosunkowo duża czułość dajników ciśnienia statycznego na symetrię opływu kadłuba (która np. nie występuje w czasie ślizgu i korkociągu) w przeciwieństwie do rurki spiętrzeniowej, która jak wskazuje rysunek 1—4 jest stosunkowo mało czuła na symetrię opływu w zakresie ± 20°.

4. Prawo podobieństwa dynamicznego — liczba Reynoldsa

Odkrycie przez Reynoldsa tzw. p r a w a p o d o b i e ń s t w a d y n a m i c z n e g o pozwoliło przenosić wyniki pomiarów sił aerodynamicznych z modeli na konstrukcje rzeczywiste. Stwierdził on, że tylko w tym przypadku otrzymuje się podobieństwo sił aerodynamicznych działających na dwa różnej wielkości modele tego samego ciała, jeżeli występuje zupełne podobieństwo opływu tych modeli.

Przypominamy sobie z fizyki, że tor, po którym porusza się jakieś ciało, a więc i tor cząsteczki powietrza, zależy od wielkości oraz kierunku działających na cząsteczkę sił. Dla przykładu weźmy dwie cząsteczki powietrza poruszające się w pobliżu modelu dużego i małego w miejscach sobie odpowiadających (rys. 1—5). Działać mogą na nie siły pochodzące od ciśnienia powietrza (p), tarcia o sąsiednie cząstki (t) oraz siły bezwładności (b) — jeżeli cząstka porusza się ruchem niejednostajnym.

Jeżeli odpowiadające sobie siły działające na obie obserwowane cząstki będą do siebie podobne ($p : p_1 = t : t_1 = b : b_1$), tak co do wielkości, jak i kierunku, to podobne będą do siebie również tory obu

cząsteczek. Dowiedziono przy tym teoretycznie, że wspomniane wyżej podobieństwo sił występuje wtedy, gdy wielkość tzw. liczby Reynoldsa *(Re)* jest w obu przypadkach taka sama.

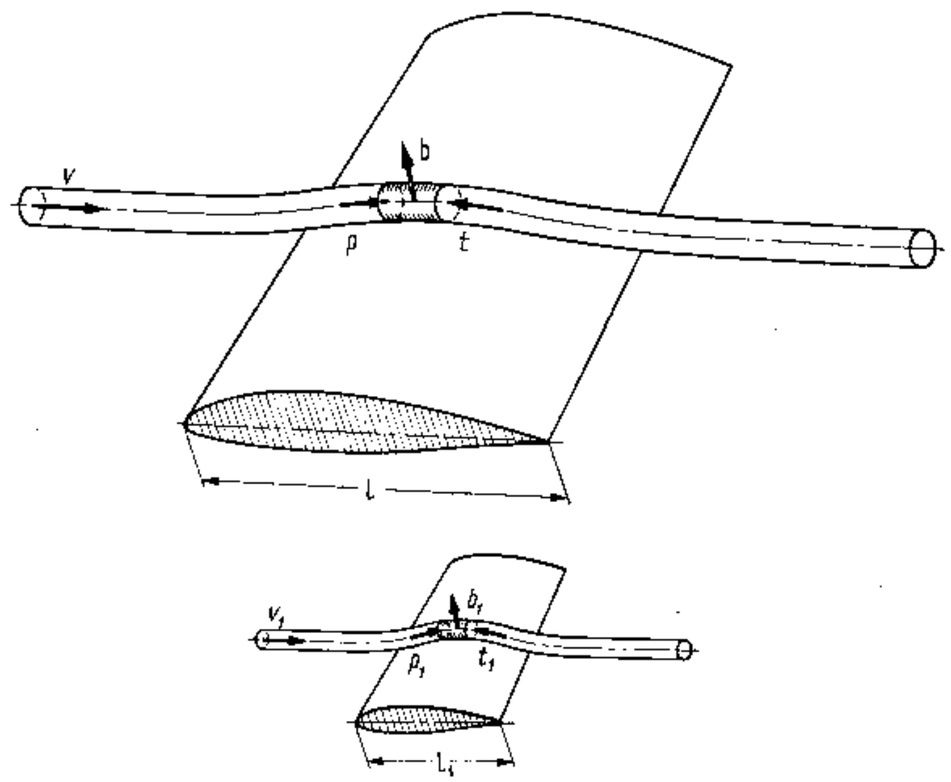
Na wartość liczby Reynoldsa ma wpływ wymiar liniowy ciała l, prędkość duchu v oraz współczynnik lepkości kinematycznej ν. Zależność tę można wyrazić następującym wzorem:

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}.$$

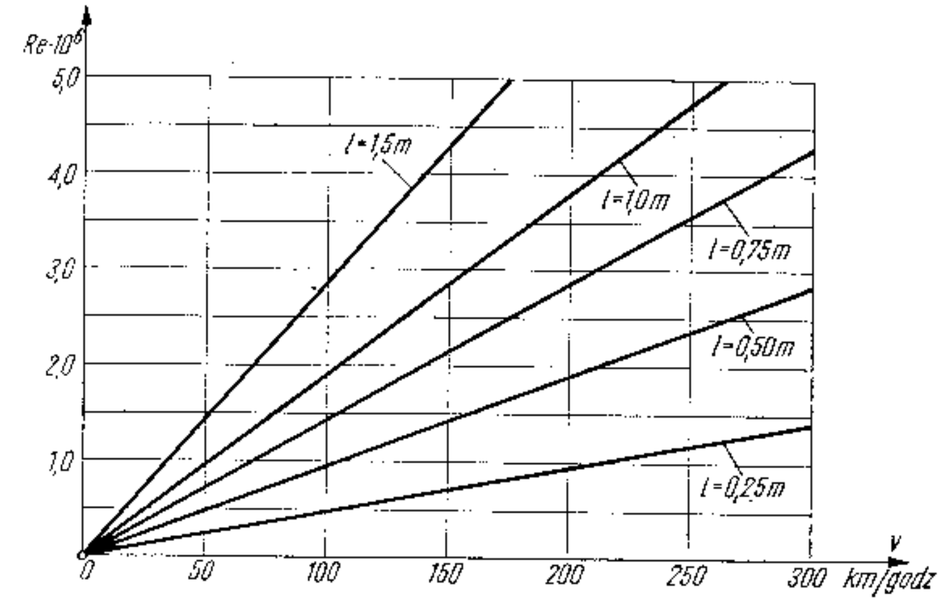
Z zależności tej wynika, że chcąc otrzymać takie same wyniki pomiarów małego oraz dużego modelu, należy przeprowadzać pomiar bądź przy różnych prędkościach powietrza, bądź przy różnych jego współczynnikach lepkości kinematycznej, a mianowicie:

— mniejszy model należy badać przy prędkości tyle razy większej, ile razy jest on mniejszy od modelu dużego, bądź
— mniejszy model należy badać w powietrzu o lepkości kinematycznej tyle razy mniejszej, ile razy jest on mniejszy od modelu dużego.

Ponieważ, jak już wiemy, współczynnik lepkości kinematycznej maleje ze wzrostem ciśnienia powietrza, pomiary modeli mniejszych



Rys. 1—5. Podobieństwo torów cząstki powietrza w czasie opływu dwóch ciał o podobnym kształcie, ale o różnych wymiarach, zależy od podobieństwa sił działających w obu przypadkach na cząstkę



Rys. 1—6. Wielkość liczby *Re* skrzydła zależnie od prędkości lotu oraz wielkości cięciwy skrzydła

(dla uzyskania dużych liczb *Re*) należy przeprowadzać w odpowiednio sprężonym powietrzu lub w innym ośrodku o małej lepkości kinematycznej.

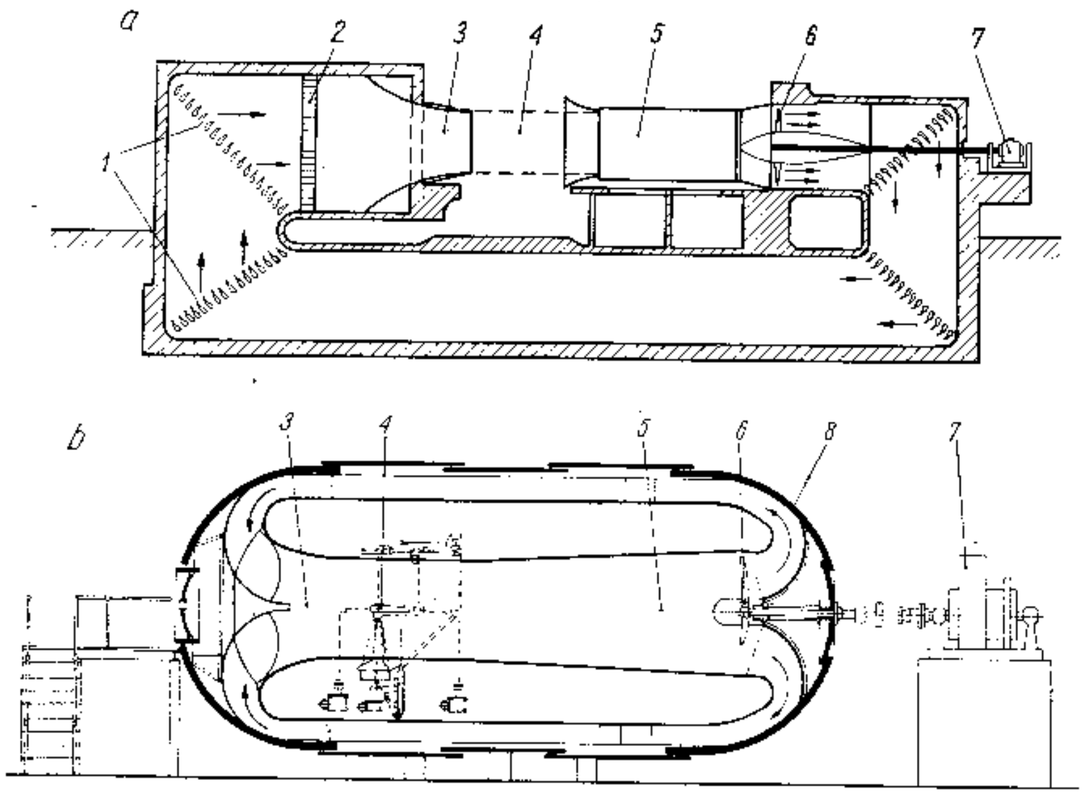
Wpływ liczby Reynoldsa na wielkość siły aerodynamicznej zostanie omówiony w jednym z następnych punktów. Na razie należy tylko zapamiętać, że jest on różny dla różnych ciał i że — niestety — jest on niekorzystny dla szybowców. Większość bowiem profili lotniczych ma gorsze własności w zakresie mniejszych liczb Reynoldsa, a więc w zakresie prędkości lotu szybowców.

Zamieszczony na rysunku 1—6 wykres pozwala na szybkie określenie liczby Reynoldsa skrzydła szybowca zależnie od prędkości lotu oraz cięciwy skrzydła. Będzie on jeszcze potrzebny przy omawianiu własności profili lotniczych.

5. Pomiary sił aerodynamicznych

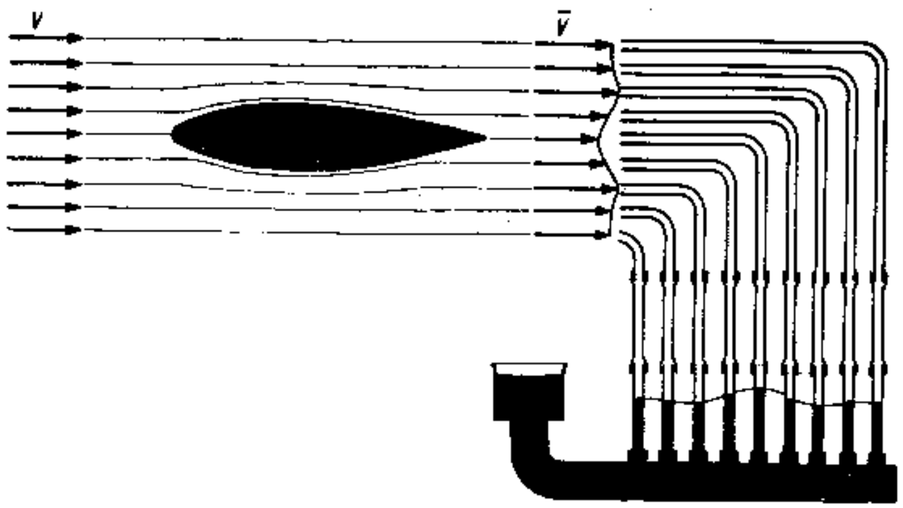
Pomiary sił aerodynamicznych przeprowadzane są zazwyczaj w tak zwanych tunelach aerodynamicznych. Model badanego ciała zawiesza się w przestrzeni pomiarowej tunelu na specjalnej wadze i „dmuchając" na model strumieniem powietrza mierzy się wielkość występującej wtedy siły aerodynamicznej.

Rozmiary przestrzeni pomiarowych, jak i osiąganych prędkości



Rys. 1—7. Schemat budowy tuneli aerodynamicznych

a — tunel otwarty, b — tunel nadciśnieniowy
1 — kierownice strug, 2 — prostownica ulowa, 3 — dysza wylotowa, 4 — przestrzeń pomiarowa, 5 — dyfuzor, 6 — wentylator, 7 — silnik elektryczny, 8 — zbiornik ciśnieniowy



Rys. 1—8. Schemat grabi aerodynamicznych służących do pomiaru oporu skrzydła

strumienia powietrza mogą być różne. Większość tuneli aerodynamicznych pozwala jedynie na przeprowadzanie w nich pomiarów modeli, ale są również i tunele pozwalające na badanie modeli w skali 1 : 1.

Na rysunku 1—7 pokazano schematycznie budowę tunelu otwartego oraz nadciśnieniowego. Ten ostatni pozwala na przeprowadzanie pomiarów przy wyższych liczbach *Re*. Opis umieszczony pod rysunkiem dostatecznie wyjaśnia funkcje ich poszczególnych elementów.

Pomiar sił aerodynamicznych, a szczególnie oporu skrzydła może być dokonany również w locie przez wykorzystanie tzw. z a s a d y i m p u l s u. Podstawy tej metody są następujące.

Cząstki powietrza opływające skrzydło (rys. 1—8) przylepiają się dzięki swej lepkości do powierzchni skrzydła i są przez nie w swym biegu przyhamowane. Jeśli w pewnej odległości przed skrzydłem prędkość cząstek powietrza była w całej strudze jednakowa, to w pewnej odległości za skrzydłem prędkość cząstek przyhamowanych jest mniejsza. Im wspomniane przyhamowanie cząstek jest silniejsze, tym opór skrzydła jest większy. Mierząc za pomocą baterii rurek spiętrzeniowych, tzw. g r a b i a e r o d y n a m i c z n y c h, rozkład prędkości powietrza za skrzydłem (rys. 1—8), można przy zastosowaniu prostych wzorów obliczyć opór skrzydła w przekroju pomiaru.

6. Siła aerodynamiczna i jej składowe

Systematyczne pomiary aerodynamiczne przeprowadzane na różnych modelach pozwoliły stwierdzić, że wielkość siły aerodynamicznej zależy od:

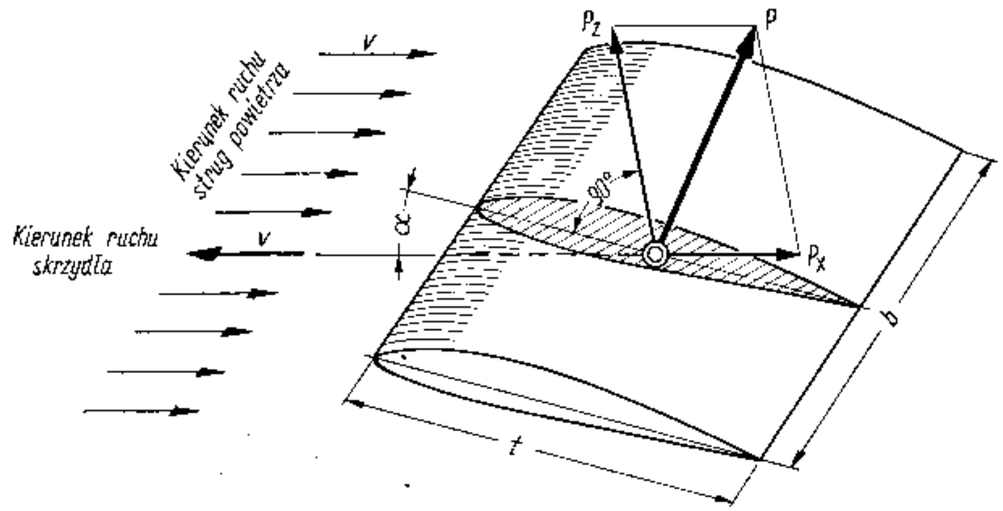
— kształtu ciała opływanego oraz jego ustawienia względem kierunku opływu,
— powierzchni opływanego ciała,
— ciśnienia dynamicznego opływającego strumienia.

Zależność tę można przedstawić wzorem:

$$P = c \cdot S \cdot q, \tag{6}$$

g d z i e:

P = siła aerodynamiczna,
c = bezwymiarowy współczynnik, zwany w s p ó ł c z y n n i k i e m s i ł y a e r o d y n a m i c z n e j, którego wielkość zależy od kształtu oraz ustawienia ciała względem kierunku opływu,
S = powierzchnia opływanego ciała,
q = ciśnienie dynamiczne, którego wartość wynosi, jak wiemy $q = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$.



Rys. 1—9. Położenie na skrzydle wypadkowej siły aerodynamicznej P oraz dwóch jej składowych, a mianowicie: oporu P_x i siły nośnej P_z

Dla wielu obliczeń w mechanice lotu wygodnie jest rozłożyć wypadkową siłę aerodynamiczną P na dwie siły składowe, a mianowicie:

P_x — równoległą do kierunku ruchu,

P_z — prostopadłą do kierunku ruchu.

Nazwano je odpowiednio: P_x — o p o r e m i P_z — s i ł ą n o ś n ą.

Wzajemne usytuowanie tych sił przedstawia rysunek 1—9. Ich wielkości można obliczyć z zależności (6) dodając do sił i ich współczynników odpowiednie indeksy:

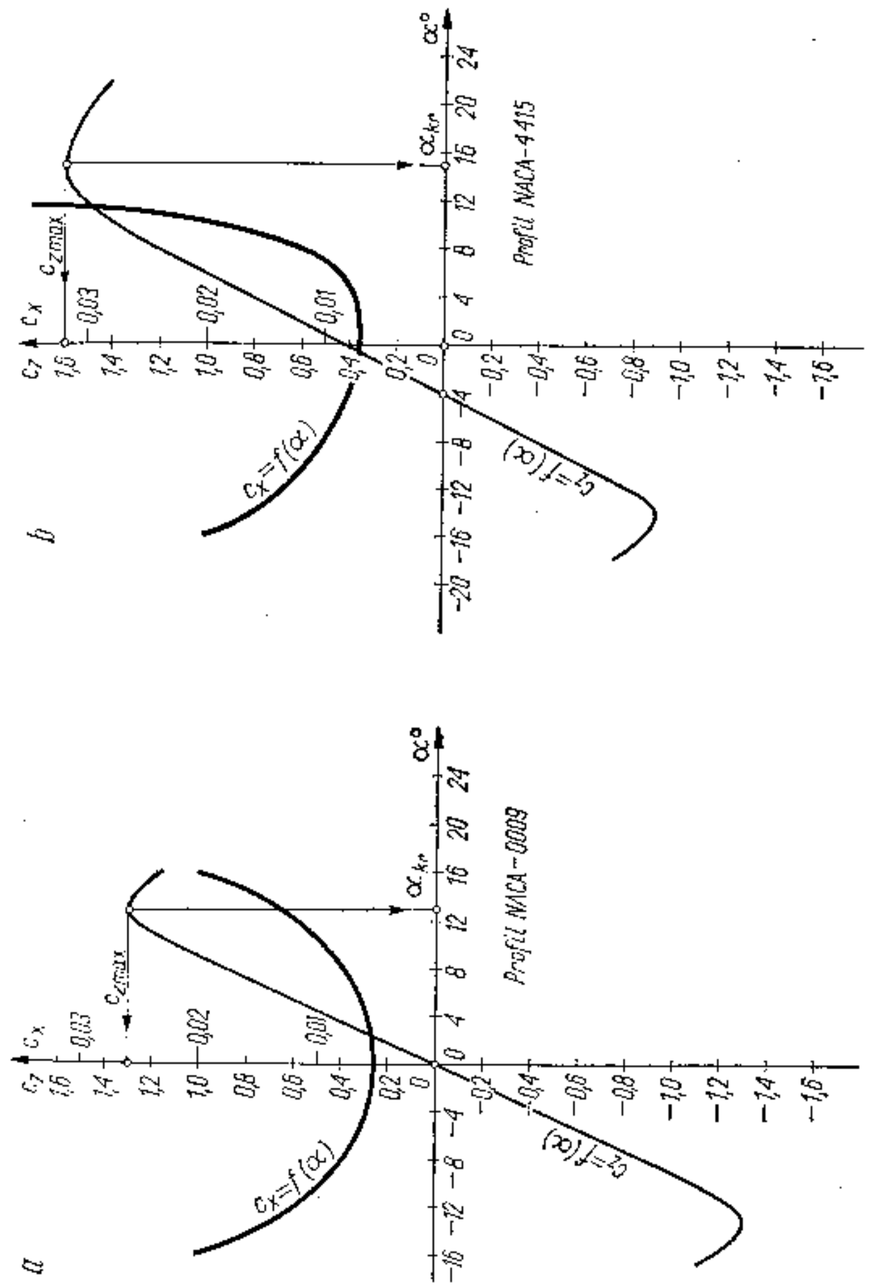
$P_x = c_x \cdot S \cdot q$ (c_x nosi nazwę w s p ó ł c z y n n i k a o p o r u),

$P_z = c_z \cdot S \cdot q$ (c_z nosi nazwę w s p ó ł c z y n n i k a s i ł y n o ś n e j).

Wielkości współczynników oporu i siły nośnej podawane są przez laboratoria aerodynamiczne bądź w postaci tablic, bądź w postaci tablic i wykresów. Kształt ciała z zasady podawany jest za pomocą tablic zawierających współrzędne obrysu, natomiast wartość współczynników aerodynamicznych podawana jest najczęściej za pomocą wykresów.

Takie właśnie wykresy dla współczynników oporu i siły nośnej dla dwu różnych p r o f i l i a e r o d y n a m i c z n y c h, to jest poprzecznych przekrojów skrzydła lub usterzenia, zestawiono na rysunku 1—10. Na osi poziomej układu współrzędnych odmierzono k ą t y n a t a r c i a określające jednoznacznie ustawienie profilu względem kierunku ruchu. Kąty te, jak widać z rysunku 1—9, mierzone są między tzw. c i ę c i w ą p r o f i l u a kierunkiem ruchu profilu (kierunkiem lotu).

C i ę c i w a p r o f i l u jest prostą umowną, na której wykreśla się profil na podstawie podanych tabelarycznie jego współrzędnych. Często przechodzi ona przez tzw. k r a w ę d ź s p ł y w u i k r a w ę d ź



Rys. 1—10. Wykresy współczynnika oporu i siły nośnej dla różnych kątów natarcia

a — dla profilu symetrycznego używanego na usterzenia, *b* — dla profilu niesymetrycznego używanego na skrzydła.

natarcia profilu, bądź też jest styczną do „brzucha" profilu (patrz rys. 1—9).

Wykres na rysunku 1—10a przedstawia współczynniki profilu symetrycznego używanego najczęściej na usterzenia, natomiast wykres na rysunku 1—10b przedstawia współczynniki aerodynamiczne profilu niesymetrycznego używanego na skrzydła. Porównując ze sobą oba wspomniane wykresy widzimy duże ich podobieństwo. W obu przypadkach:

— w dużym zakresie kątów natarcia współczynnik siły nośnej c_z zmienia się liniowo z kątem natarcia,
— dla pewnej wartości kąta natarcia, zwanej krytycznym kątem natarcia α_{kr}, współczynnik ten osiąga swą największą wartość $c_{z\ max}$,
— współczynnik oporu c_x ma małe wartości dla małych kątów natarcia i wzrasta stosunkowo gwałtownie dla większych dodatnich lub ujemnych kątów natarcia.

Oba te wykresy różnią się natomiast tym, że:

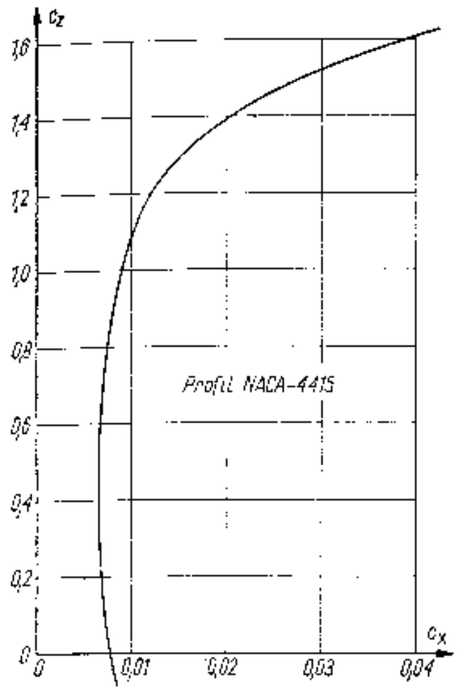
— profil niesymetryczny ma w porównaniu z profilem symetrycznym krzywą współczynnika siły nośnej jak gdyby przesuniętą w lewo i do góry,
— opór profilu niesymetrycznego jest nieco większy od oporu profilu symetrycznego (oczywiście przy tej samej jego grubości),
— największa wartość współczynnika siły nośnej profilu niesymetrycznego jest również większa od tej wartości profilu symetrycznego,
— kąt natarcia, dla którego współczynnik siły nośnej profilu jest równy zeru, jest różny od zera dla profilu niesymetrycznego.

Omówione powyżej wykresy nie są jedyną możliwością graficznego przedstawienia wielkości współczynników aerodynamicznych profilu.

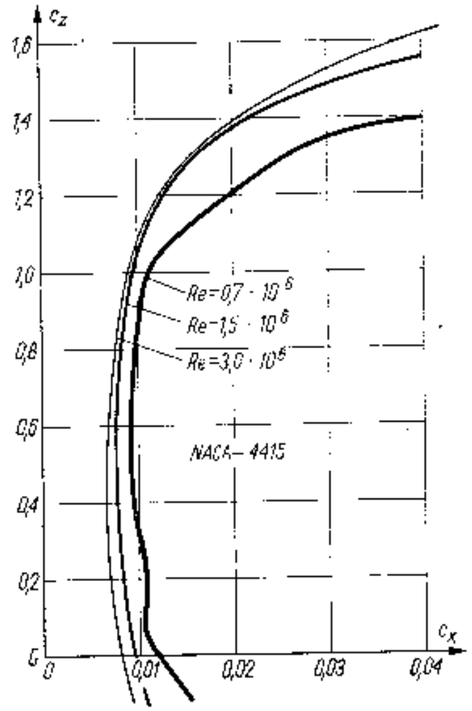
Bardzo wygodnie jest przedstawić te wielkości za pomocą tzw. biegunowej. W tym przypadku na poziomej osi układu współrzędnych nanosi się podziałkę dla współczynnika oporu, a na osi pionowej podziałkę dla współczynnika siły nośnej.

Odczytując kolejno z tablicy lub wykresu, jak na rysunku 1—10, wartości tych współczynników dla różnych kątów natarcia, odmierza się ich wielkości we wspomnianym wyżej układzie współrzędnych otrzymując z szeregu punktów wspomnianą biegunową. Na rysunku 1—11 pokazano np. biegunową profilu sporządzoną z wykresu przedstawionego na rysunku 1—10b.

Nie tylko właściwości aerodynamiczne profilu, ale także i skrzydła lub całego szybowca można przedstawić za pomocą biegunowej. Będziemy z tego korzystali w dalszych rozważaniach, w których nauczymy się przede wszystkim odczytywać biegunową.



Rys. 1—11. Biegunowa aerodynamiczna profilu, którego wykres współczynników aerodynamicznych pokazano na rys. 1—10b



Rys. 1—12. Wpływ wielkości liczby Re na kształt biegunowej aerodynamicznej profilu

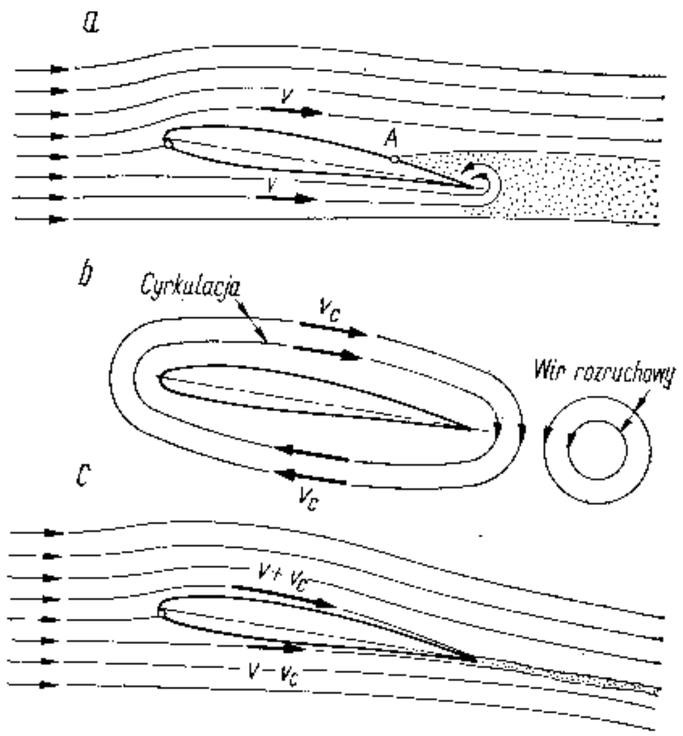
Na razie popatrzmy na rysunek 1—12, na którym przedstawiono „pęk" biegunowych omawianego wyżej profilu dla kilku liczb Reynoldsa. Jak możemy zorientować się z wykresu podanego na rysunku 1—6, tego właśnie rzędu liczby *Re* spotykane są w szybownictwie. Na przedstawionych biegunowych mamy wyraźny przykład destrukcyjnego wpływu małych liczb *Re* na własności profilu. Zmniejszająca się bowiem liczba *Re* nie tylko powoduje wzrost współczynnika oporu, ale na domiar złego wpływa ujemnie na największą wartość współczynnika siły nośnej.

7. Zjawisko powstawania na skrzydle siły nośnej

Siłę nośną wywołuje na skrzydle korzystny rozkład ciśnień, a mianowicie nadciśnienie na jego powierzchni dolnej i podciśnienie na górnej. Z prawa Bernoulliego zastosowanego w tym przypadku możemy wyciągnąć wniosek, że strugi powietrza poruszają się wzdłuż górnej powierzchni skrzydła szybciej niż wzdłuż powierzchni dolnej.

Nasuwa się więc pytanie, co może być tego przyczyną?

Gdybyśmy obserwowali ruch cząstek powietrza, gdy skrzydło zaczyna się poruszać, jak przedstawiono na rysunku 1—13a, to zauważylibyśmy, że cząstki powietrza, poruszając się początkowo z jednakową prędkością wzdłuż dolnej i górnej powierzchni skrzydła oraz nie mogąc spotkać się na krawędzi spływu równocześnie (ponieważ droga cząstek biegnących górą jest dłuższa niż cząstek biegnących dołem), usiłują opłynąć ostrą krawędź spływu, aby spotkać się w punkcie *A* na grzbiecie skrzydła. Nie udaje się im to jednak, ponieważ każda próba opłynięcia ostrej krawędzi kończy się zawirowaniem.

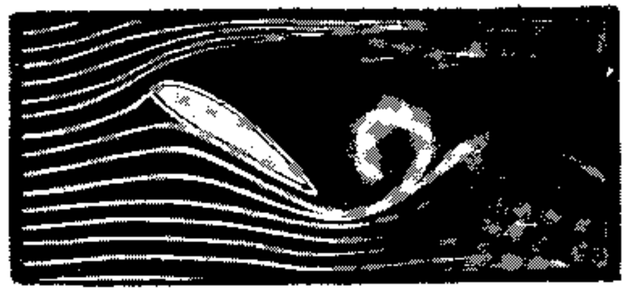


Rys. 1—13. Schemat powstawania siły nośnej na skrzydle

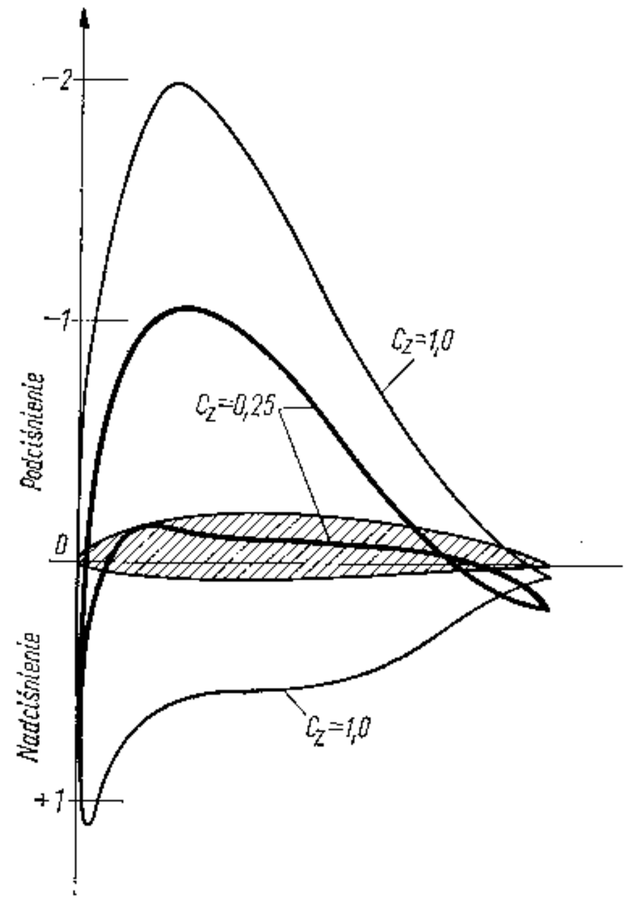
a — sytuacja początkowa — próba opływu ostrej krawędzi spływu, *b* — para wirów — wir rozruchowy i cyrkulacja, *c* — stan ustalonego opływu profilu skrzydła

Ponieważ przy tym prawa hydro- i aerodynamiki nie dopuszczają do powstawania pojedynczych wirów (wiry powstają zawsze parami), w naszym przypadku wraz ze wspomnianym wirem, zwanym w i r e m r o z r u c h o w y m, powstaje towarzyszący mu wir, zwany c y r k u l a c j ą. Prędkość cyrkulacji dodaje się — jak widzimy na rysunku 1—13b — do prędkości strug powietrza na górnej powierzchni skrzydła, odejmuje się natomiast na powierzchni dolnej.

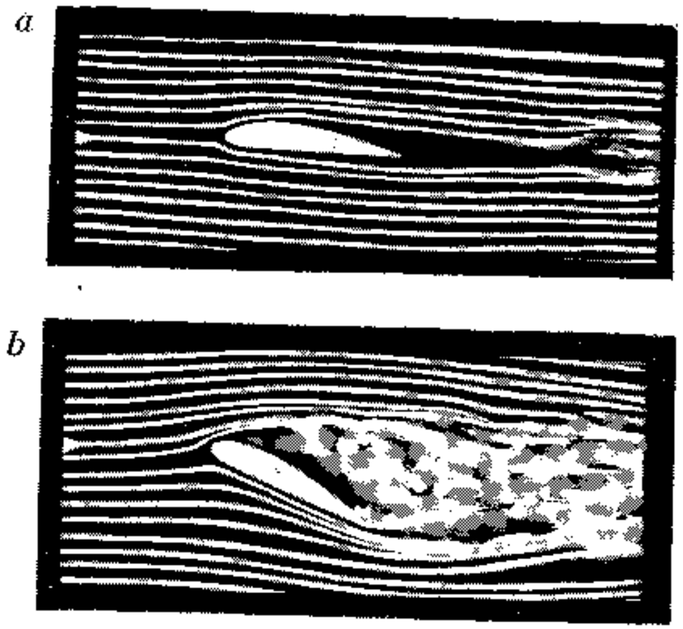
Teraz strugi poruszające się górą szybciej mogą już spotykać się na krawędzi spływu ze strugami dolnymi poruszającymi się wolniej.



Rys. 1—14. Tak wygląda w tunelu dymowym obraz powstawania wiru rozruchowego



Rys. 1—15. Rozkład ciśnienia wzdłuż cięciwy tego samego profilu dla dwóch różnych wartości współczynnika siły nośnej, a więc dla dwóch różnych kątów natarcia



Rys. 1—16. Wpływ wielkości kąta natarcia na wielkość obszaru oderwania strug na grzbiecie profilu

a — mały kąt natarcia — nieznaczne oderwanie, *b* — duży kąt natarcia — oderwanie strug ogarnęło cały grzbiet profilu

Nie ma już próby opływu ostrej krawędzi spływu, a więc i wiru, bo wir rozruchowy został już uniesiony przez powietrze, ale cyrkulacja istnieje nadal (patrz rys. 1—13c).Nie może ona zaniknąć ani zmniejszyć się, bo natychmiast pojawiłaby się konieczność opływu krawędzi spływu, a wraz z nią powstałby nowy wir rozruchowy wywołujący lub powiększający cyrkulację.

Skrzydło szybowca jest więc dzięki swemu kształtowi bryłą wywołującą samoczynnie cyrkulację, która powoduje korzystną różnicę prędkości, a wraz z nią i różnicę ciśnień po obu stronach skrzydła. Natężenie cyrkulacji oczywiście wzrasta z rosnącym kątem natarcia, ponieważ zwiększa się wówczas różnica dróg, które mają przebiec strugi biegnące wzdłuż górnej i dolnej powierzchni skrzydła. Wraz z nią zwiększa się różnica prędkości, a więc i ciśnień po obu stronach skrzydła, które dają w wyniku większą siłę nośną.

Ciekawe zdjęcie powstawania w tunelu dymowym wiru rozruchowego przedstawia rysunek 1—14. Natomiast rysunek 1—15 pokazuje rozkład ciśnień na profilu dla dwóch kątów natarcia, a mianowicie gdy $c_z = 0{,}25$ oraz $c_z = 1{,}00$.

W miarę wzrostu kąta natarcia skrzydła staje się ono bryłą coraz mniej opływową i od pewnego kąta począwszy na górnej powierzchni pojawi oderwanie się strug (rys. 1—16), a wraz z nim pojawi się wzrost oporu kształtu skrzydła i spadek siły nośnej. Kąt natarcia, przy którym

siła nośna osiąga swą najwyższą wartość i powyżej którego bardziej lub mniej gwałtownie opada, nazywamy — jak już wspominaliśmy — krytycznym kątem natarcia.

8. Opór skrzydła oraz źródła jego powstawania

Szczegółowa analiza oporu skrzydła szybowca pozwoliła podzielić go na następujące składniki: opór tarcia, opór kształtu, opór indukowany, opór interferencyjny oraz opór szczelinowy. Składają się one na wypadkowy opór skrzydła, z tym że ich procentowy udział zależy od kształtu profilu, obrysu skrzydła i prędkości lotu.

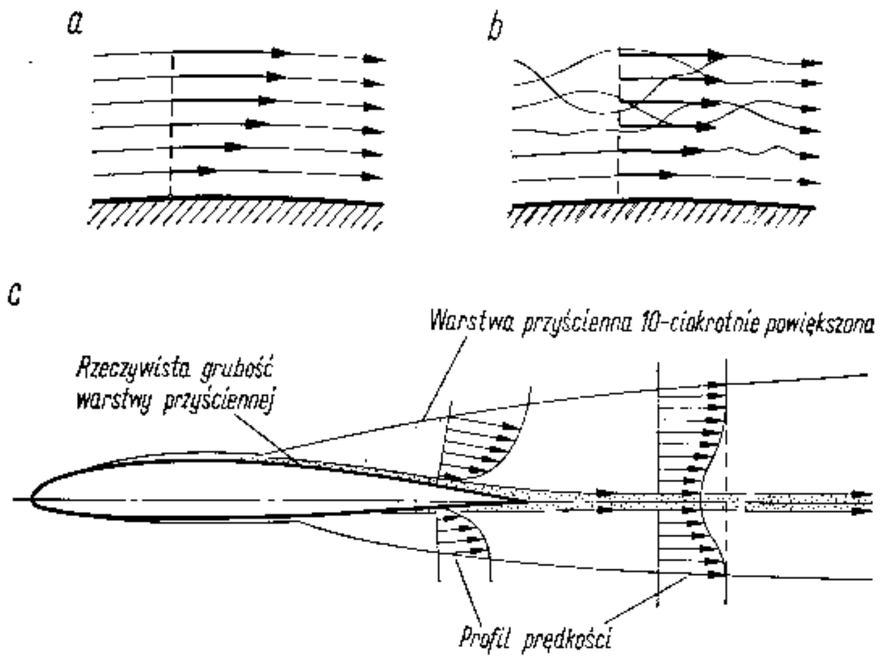
a. Opór tarcia

Wspominaliśmy już, że powietrze jest lepkie. Cząsteczki powietrza opływającego skrzydło, stykając się z powierzchnią skrzydła, przylepiają się do niej i nie poruszają się wraz z całym strumieniem, lecz spoczywają nieruchomo na skrzydle. Cząsteczki znajdujące się nieco dalej od powierzchni skrzydła poruszają się już z pewną prędkością, ale jeszcze nieco mniejszą od prędkości strumienia. Dopiero cząsteczki znajdujące się w pewnej odległości od powierzchni skrzydła poruszają się z pełną prędkością strumienia.

Warstwa powietrza, w której zachodzi to przyhamowanie ruchu cząstek powietrza, nosi nazwę warstwy przyściennej. Cząstki powietrza poruszające się szybciej w warstwie przyściennej trą o cząstki poruszające się wolniej i pociągają je za sobą. To pociąganie przenosi się na cząstki przylepione do powierzchni skrzydła pociągając w wyniku samo skrzydło. Jest to tzw. opór tarcia.

Badania laboratoryjne wykazały, że wielkość tego oporu zależy od rodzaju ruchu w warstwie przyściennej. Jeżeli cząsteczki powietrza poruszają się w tej warstwie ruchem strugowym, zwanym z łaciny laminarnym, w którym drogi poszczególnych cząsteczek nie przecinają się (rys. 1—17a), to opór tarcia jest mały. Jeżeli natomiast cząsteczki powietrza poruszają się w warstwie przyściennej ruchem burzliwym, zwanym również turbulencyjnym, w którym drogi poszczególnych cząsteczek są poprzeplatane (rys. 1—17b), to opór tarcia jest wysoki. Na rysunku 1—17c pokazano grubość warstwy przyściennej oraz rozkład prędkości w warstwie przyściennej, zwany profilem prędkości.

Wspomniana wyżej zależność pomiędzy oporem tarcia a charakterem ruchu w warstwie przyściennej zdopingowała aerodynamików do poszukiwania sposobów pozwalających na ustabilizowanie laminarnego



Rys. 1—17. Drogi cząstek powietrza oraz wielkość ich prędkości w warstwie przyściennej

a — w ruchu laminarnym (uporządkowanym, strugowym), *b* — w ruchu burzliwym (turbulencyjnym), *c* — profile prędkości w tylnej części profilu skrzydła oraz za jego krawędzią spływu

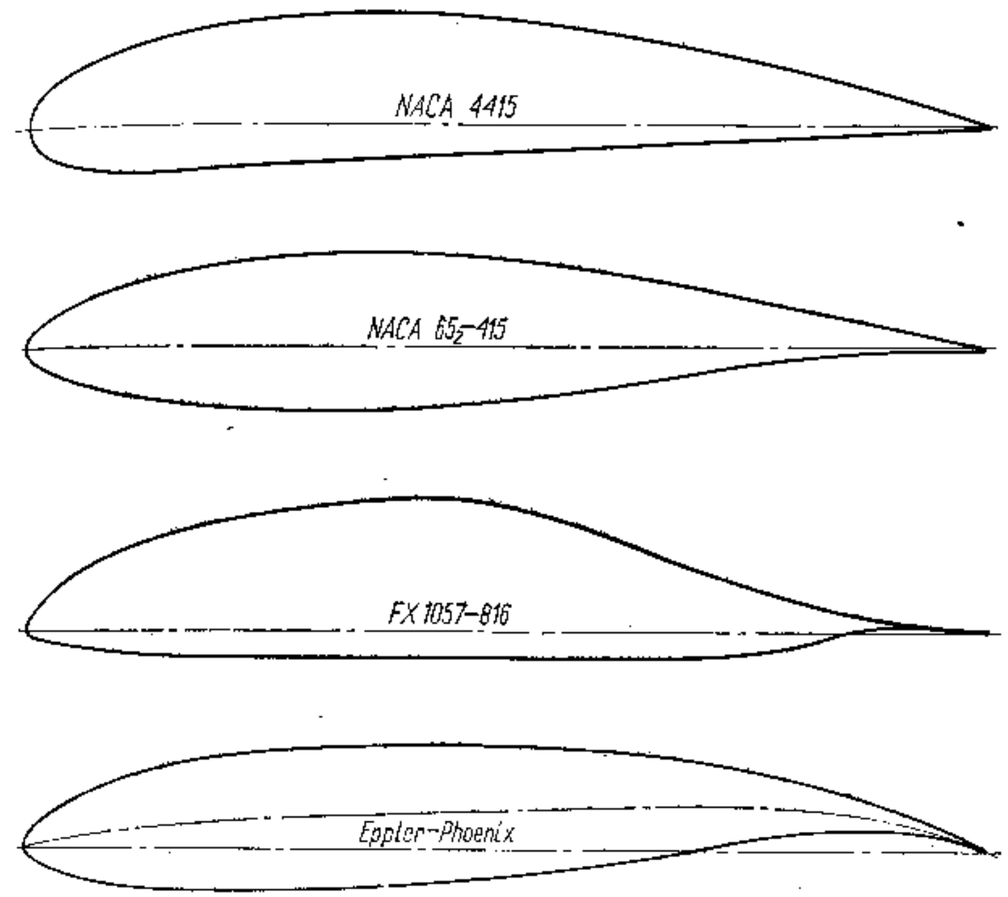
ruchu w tej warstwie. W momencie gdy stwierdzono, że skrzydło, którego:

— kształt przedniej części profilu jest tak dobrany, że ciśnienie powietrza łagodnie obniża się na nim aż do miejsca największej grubości profilu,
— powierzchnia wykonana jest gładko, bez pofalowań, uskoków itp.,
— pokrycie lakiernicze jest mało szorstkie —

posiada w pewnym zakresie kątów natarcia długie odcinki laminarnej warstwy przyściennej, sięgające od krawędzi natarcia do miejsca największej grubości profilu, nastała nowa era w aerodynamice — era laminarnych profili.

Ponieważ profile te posiadają już prawo obywatelstwa w szybownictwie i pozwoliły na dokonanie olbrzymiego skoku w zakresie doskonałości szybowców, musimy poświęcić im nieco uwagi.

Prace nad laminarnymi profilami kontynuowane są przez aerodynamików od kilkunastu lat. Obliczono i skonstruowano szereg różnych profili. Szczególnie systematycznie przebadano w laboratoriach *„6-tą rodzinę"* profili *NACA*. Niestety większość z nich była opracowywana z myślą zastosowania ich w samolotach i tylko nieliczne odpowiadają wymaganiom szybowcowym. Jedynie profile *Epplera* opracowywane



Rys. 1—18. Różne kształty profili lotniczych

były specjalnie dla szybownictwa i dlatego swymi własnościami różnią się od profili *NACA*.

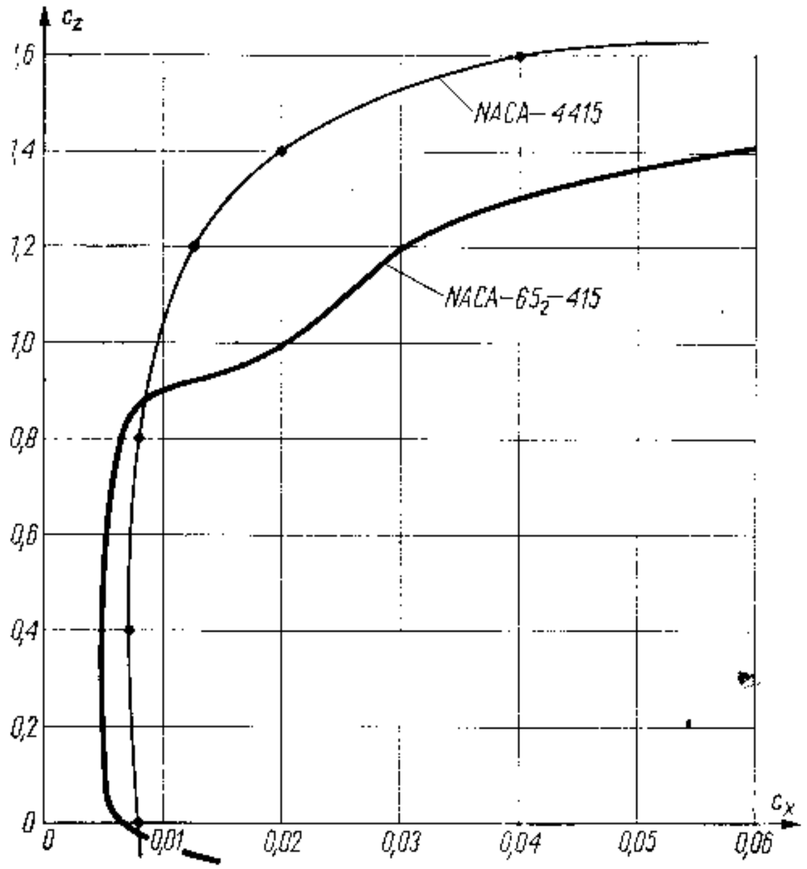
Aby wykazać wyraźnie różnice pomiędzy profilami normalnymi i laminarnymi, przypatrzmy się rysunkom 1—18 oraz 1—19.

Na pierwszym z nich zestawiono kilka profili używanych w szybownictwie:

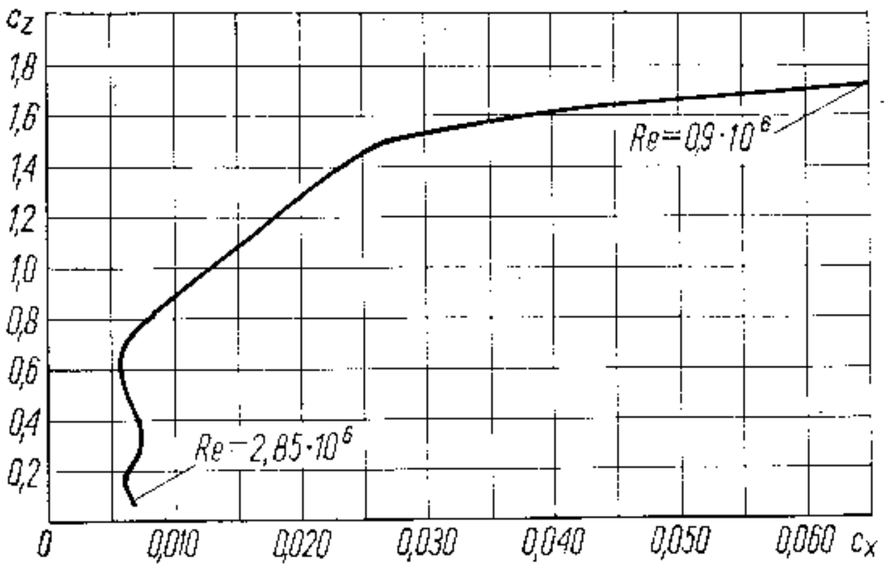
— profil normalny *NACA 4415*,
— profil laminarny *NACA 652—415* (użyty w szybowcu AUSTRIA „Standard"),
— profil laminarny *FX 1057—816* (użyty w szybowcu HKS-3),
— profil laminarny *Eppler* (użyty w szybowcu FS-24 „Phoenix").

Z zestawienia tego widać wyraźnie, że profile laminarne w odróżnieniu od profili normalnych mają:

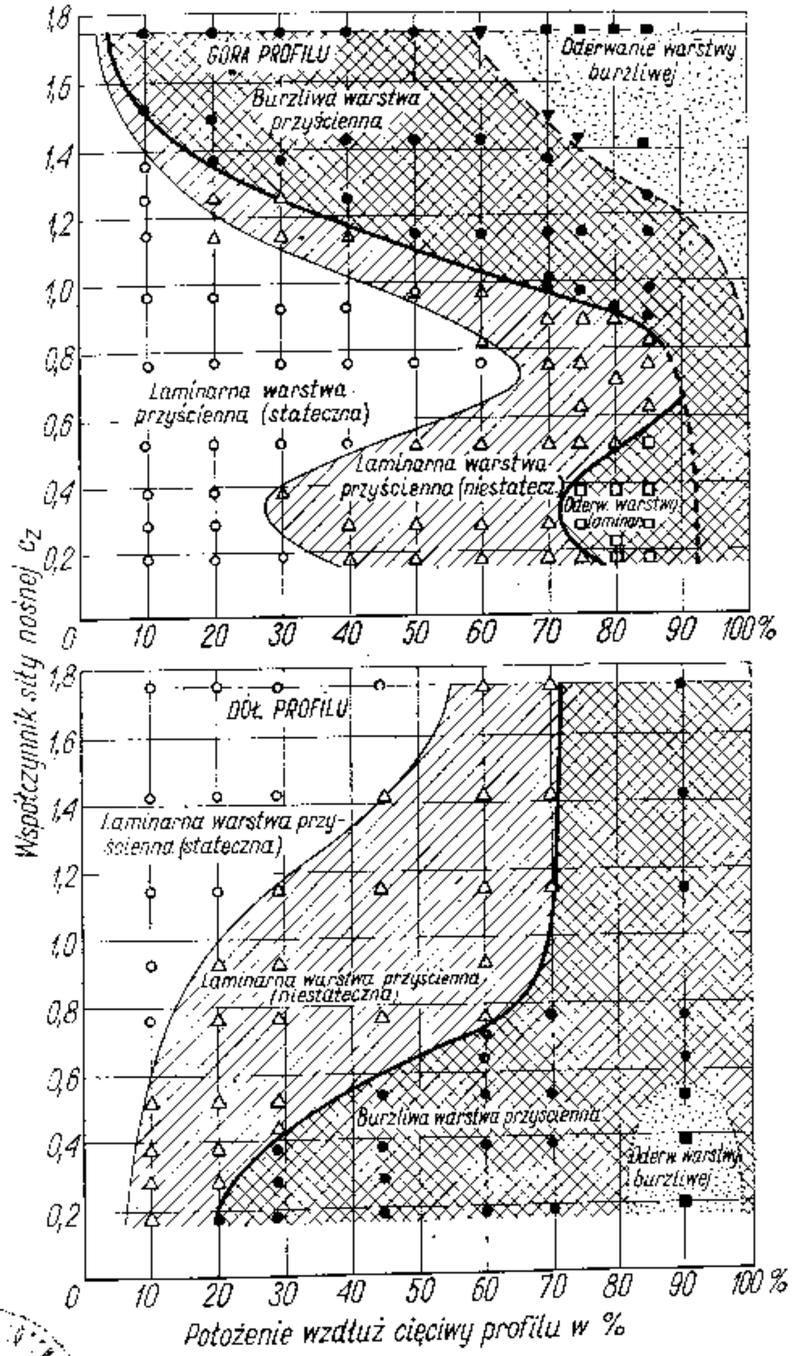
— bardziej wysmukłe „nosy",
— bardziej przesunięte do tyłu położenie największej grubości,
— bardziej „ostrą" krawędź spływu,
— charakterystyczne podgięcie spływu.



Rys. 1—19. Porównanie biegunowych profilu normalnego i laminarnego o tej samej grubości



Rys. 1—20. Biegunowa profilu *Epplera*, zastosowanego na szybowcu Phoenix



Rys. 1—21. Obrazowe przedstawienie zasięgu laminarnej warstwy przyściennej na górze i dole profilu zależnie od wielkości współczynnika nośnej skrzydła, na którym zastosowano profil z rys. 1—20

Te różnice kształtów wywarły oczywiście wpływ na własności aerodynamiczne tych profili. Widać to z porównania biegunowych przedstawionych na rysunku 1—19. Porównanie to pozwala stwierdzić, że:

— profil laminarny ma w pewnym zakresie wartości współczynników siły nośnej znacznie niższą wartość współczynników oporu niż tej samej grubości profil normalny,

— poza tym zakresem, zwanym popularnie niecką laminarności, współczynniki oporu profilu laminarnego są najczęściej wyższe niż profilu normalnego,

— największa wartość współczynnika siły nośnej profilu laminarnego jest najczęściej niższa niż odpowiadającego mu profilu normalnego.

Charakterystyczny kształt biegunowej przedstawiony na rysunku 1—20 ma profil *Epplera*. Istnienie dwu niecek laminarności — przy $c_z = 0{,}1$ oraz $c_z = 0{,}7$ — zawdzięcza on specjalnemu kształtowi, który sprzyja laminarnemu ruchowi w warstwie przyściennej w różnych stanach lotu bądź na grzbiecie, bądź na brzuchu profilu — w sumie co najmniej w 100% długości cięciwy, jak widać to z zestawienia na rysunku 1—21. Wysokie wartości współczynnika siły nośnej zawdzięcza on stosunkowo dużemu promieniowi krzywizny krawędzi natarcia oraz znacznemu podgięciu w dół krawędzi spływu.

Ponieważ, jak widzieliśmy, różnica oporu profili normalnych i laminarnych jest znaczna, można się domyślić, że omawiany rodzaj oporu, opór tarcia, jest zasadniczym składnikiem oporu profili.

b. Opór kształtu

Wiadomo powszechnie, że za opływanym ciałem tworzy się szerszy lub węższy ogon wirów, które są dodatkowym źródłem oporu. Wiry te są również wywoływane pośrednio lepkością powietrza. Aby móc łatwiej zrozumieć to stwierdzenie, rozpatrzmy opływ ciała o przekroju kroplowym (rys. 1—22).

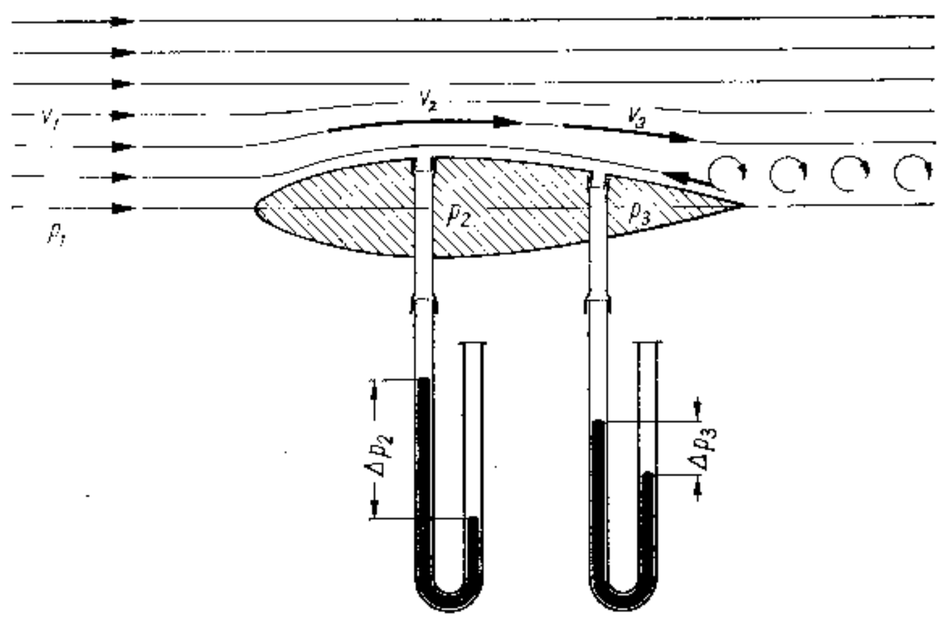
Podobnie jak w omawianym na rysunku 1—2 rurociągu, w miejscu najsilniejszego przewężenia strugi powietrza, prędkość jego musi być największa. W myśl prawa Bernoulliego musi tam panować najniższe ciśnienie. Tę największą prędkość oznaczyliśmy przez v_2, a zmniejszenie ciśnienia o Δp_2 obrazowo przedstawia manometr.

Poza największą grubością opływanego ciała struga się rozszerza, prędkość zmniejsza do wartości v_3, a ciśnienie podwyższa, co obrazowo przedstawiono na drugim manometrze jako Δp_3.

W przedniej części ciała cząstki powietrza poruszają się więc w kierunku zmniejszającego się ciśnienia, np. z p_1 na p_2. W tylnej natomiast części wymagamy, aby cząstki powietrza poruszały się w kierunku rosnącego ciśnienia, np. z p_2 na p_3. Jest to możliwe jedynie tak długo, jak długo cząsteczki mają dostatecznie wysoką energię ruchu. Ponieważ jednak tarcie w warstwie przyściennej szybko tę energię ruchu niszczy, cząstki w pewnym momencie zatrzymują się, a wtedy, już zgodnie z prawami fizyki, zaczynają poruszać się w kierunku obniżającego się ciśnienia, a więc wstecz. Ponieważ tarcie poza warstwą przyścienną jest znikome, cząstki powietrza poruszają się tam nadal w kierunku przepływu, ścierają z cząstkami poruszającymi wstecz i wywołują zawirowanie, które odrywa się od powierzchni opływanego ciała tworząc za nim warkocz wirowy (rys. 1—22).

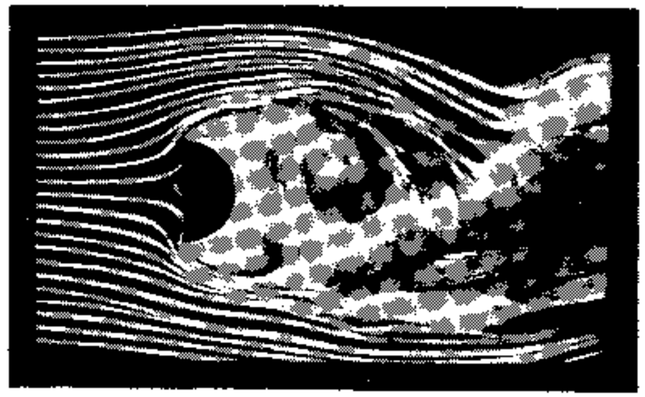
Ponieważ w warkoczu wirowym panuje na powierzchni ciała niskie ciśnienie, jest ono jak gdyby „odsysane" do tyłu. Im ciało ma kształt bardziej zbliżony do kroplowego, tym warkocz wirowy jest cieńszy (rys. 1—23a, b i c), a więc i opór jest mniejszy. Ponieważ — jak widzimy — zależy on od kształtu ciała, nazwano go opórem kształtu.

Nie tylko jednak tarcie w warstwie przyściennej, wywołane lepkością powietrza, może być przyczyną wspomnianych zawirowań. Jeżeli powietrze musi opłynąć ostre krawędzie ciała, jak np. w przypadku pokazanej na rysunku 1—24 płytki, to przy próbie opłynięcia tych krawędzi nastąpi zawsze oderwanie strug od ciała i powstanie za nim warkocz wirów.

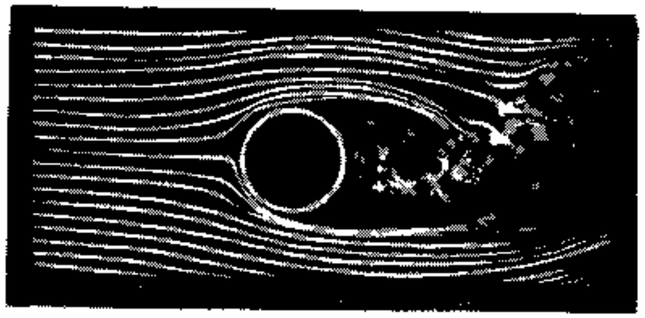


Rys. 1—22. Mechanizm powstawania oderwania strug wywołującego tzw. opór kształtu

a

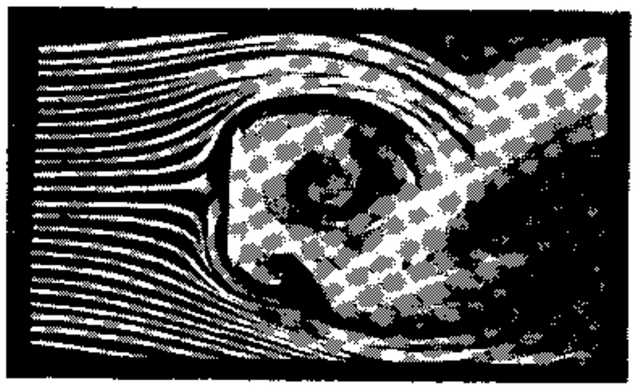


b



c

Rys. 1—23. Tak wyglądają w tunelu dymowym opływy
a — czaszy spadochronu, *b* — kuli względnie walca, *c* — ciała o kroplowym przekroju



Rys. 1—24. Opływ w tunelu dymowym płytki ustawionej prostopadle do kierunku opływu

Zwalczanie oporu kształtu polega więc, jak widzimy, na:
— unikaniu na opływanych ciałach ostrych krawędzi, uskoków itp.,
— nadawaniu ciałom kształtów jak najbardziej „opływowych".

c. Opór indukowany

Jak dowiedzieliśmy się już z naszych poprzednich rozważań, siłę nośną wywołuje na skrzydle korzystny rozkład ciśnień na jego powierzchni, a mianowicie nadciśnienie na jego dolnej stronie i podciśnienie na stronie górnej. Te nad- i podciśnienia pokazane na rysunku 1—25a są — niestety — równocześnie źródłem dodatkowego oporu skrzydła, zwanego oporem indukowanym.

Cząsteczki powietrza „uciekają" bowiem na końcach skrzydeł z obszaru o wyższym ciśnieniu do obszaru o ciśnieniu niższym, to znaczy opływają końce skrzydeł z dołu do góry. Pociągają one za sobą cząsteczki sąsiednie, wywołując w efekcie dodatkowy ruch cząstek powietrza na górnej powierzchni skrzydła ku kadłubowi, na dolnej zaś ku końcom skrzydła (rys. 1—25b). Ten dodatkowy ruch cząstek wzdłuż rozpiętości skrzydła z prędkością v_y dodaje się do prędkości przepływu powietrza v wywołanego lotem, zmieniając wypadkowy kierunek strug powietrza w okolicy skrzydła. Na górnej powierzchni skrzydła strugi odginane są ku kadłubowi, na dolnej zaś ku końcom skrzydła (rys. 1—25c).

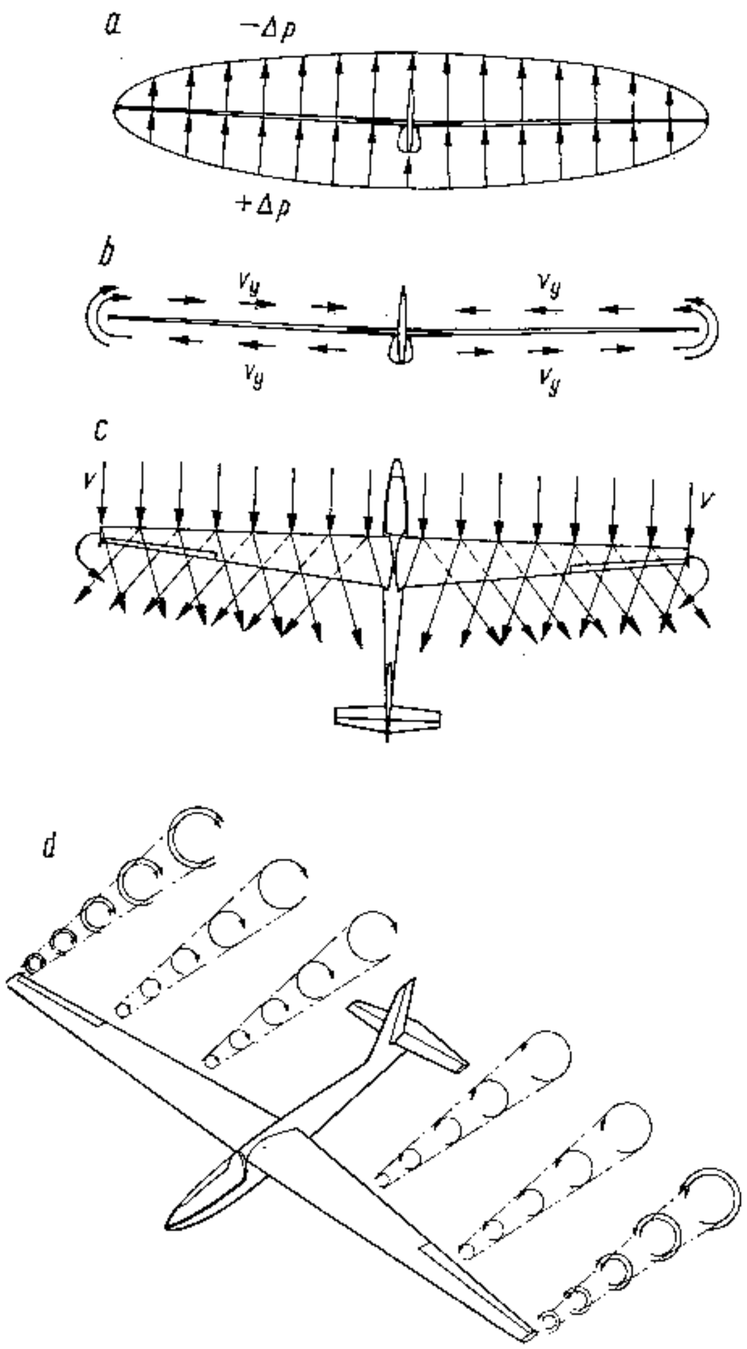
Poza krawędzią spływu skrzydła spotykają się więc strugi powietrza poruszające się względem siebie skośnie, ścierają się ze sobą tworząc poza skrzydłem całą powierzchnię wirową (rys. 1—25d). Są one — jak wiadomo — zawsze źródłem oporu, który w tym przypadku nazywamy oporem indukowanym.

Wielkość oporu indukowanego nie jest stała, lecz zależy od wielkości siły nośnej oraz od obrysu skrzydła. Opór indukowany rośnie bowiem z rosnącą intensywnością opływu końców, a ta rośnie wraz ze zwiększającą się różnicą ciśnień na górnej i dolnej powierzchni skrzydła, a więc ze wzrastającą siłą nośną.

Ciekawe zdjęcia z dymowego tunelu, obrazujące powstawanie za skrzydłem zawirowań oraz wzrost ich intensywności w miarę wzrastania kąta natarcia skrzydła (a więc i w miarę wzrastania siły nośnej), zestawiono na rysunku 1—26.

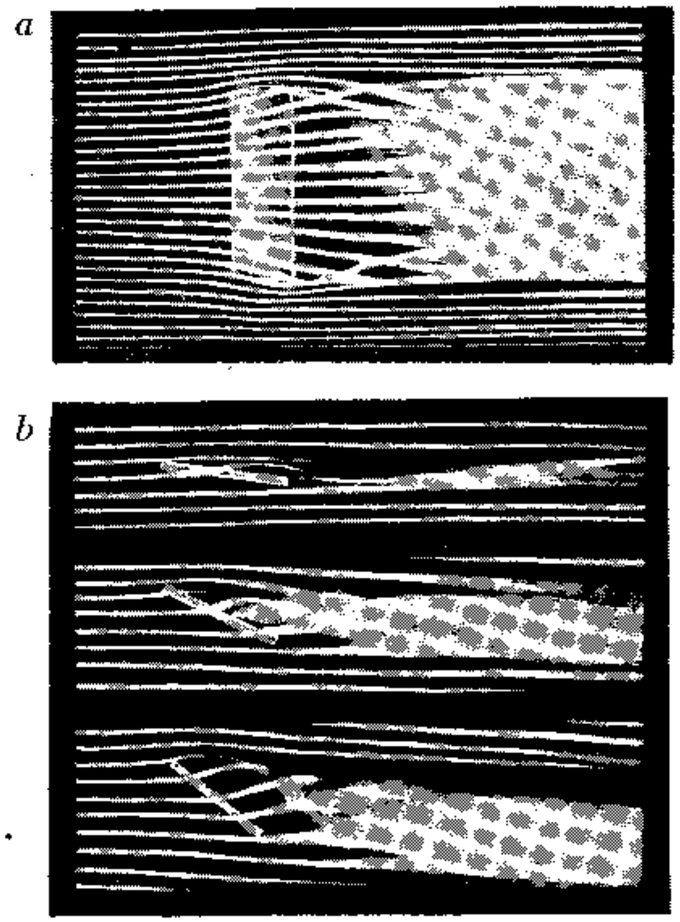
Nie trudno się domyślić, dlaczego kształt skrzydła ma również wpływ na wielkość oporu indukowanego. Im skrzydło jest bardziej wysmukłe i ma mniejszą cięciwę końcową, tym opływ końców jest mniej intensywny i mniejszy ma wpływ na całe skrzydło — jak widać to wyraźnie na rysunku 1—27.

Miarą smukłości skrzydła jest tzw. wydłużenie, oznaczane zwy-



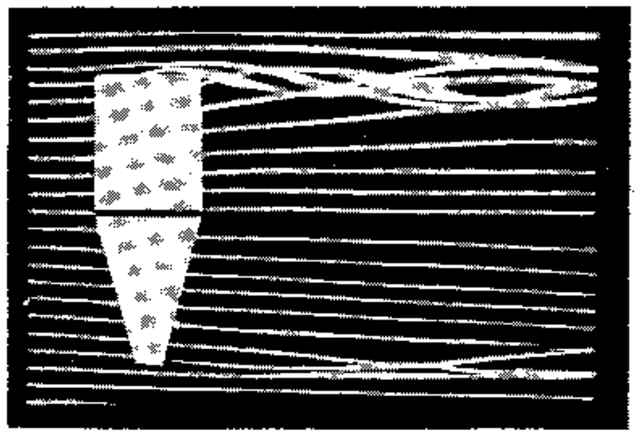
Rys. 1—25. Schemat powstawania oporu indukowanego

a — rozkład ciśnień wzdłuż rozpiętości skrzydła na jego górnej i dolnej powierzchni, *b* — ruch cząstek powietrza wzdłuż rozpiętości skrzydła wywołany opływem jego końców, *c* — starcie się ze sobą skośnie wpływających strug ze skrzydła, *d* — warkocze wirowe ciągnące się za skrzydłem, powstałe wskutek starcia się ze sobą skośnie spływających strug



Rys. 1—26. Obrazy opływu skrzydła w tunelu dymowym

a — warkocze wirowe ciągnące się za skrzydłem, *b* — wpływ kąta natarcia skrzydła na intensywność opływu jego końców



Rys. 1—27. Wpływ kształtu skrzydła na intensywność opływu jego końców, a więc i na wielkość jego oporu indukowanego

kle grecką literą Λ *(lambda)*. Dla skrzydła o obrysie prostokątnym jest nim stosunek rozpiętości do cięciwy:

$$\Lambda = \frac{b}{l}. \tag{7}$$

Dla skrzydeł o innych obrysach, jak np. pokazanych na rysunku 1—28, jest nim stosunek kwadratu rozpiętości do powierzchni skrzydła:

$$\Lambda = \frac{b^2}{S}. \tag{7a}$$

Zależność (7a) otrzymano z zależności (7) przez pomnożenie licznika i mianownika przez rozpiętość.

Wielkość oporu indukowanego można obliczyć za pomocą zależności (6) dodając przy sile i jej współczynniku odpowiedni indeks:

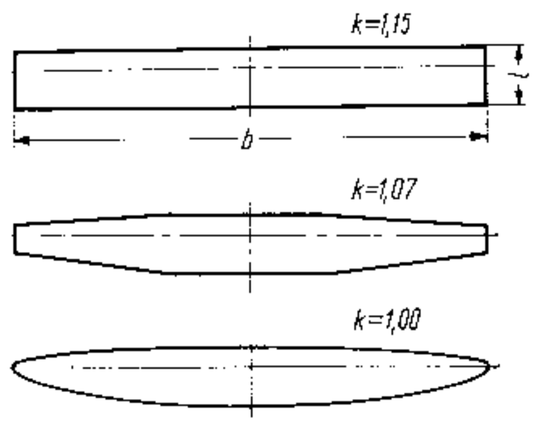
$$P_{xi} = c_{xi} \cdot S \cdot q, \tag{8}$$

przy czym c_{xi} jest tzw. w s p ó ł c z y n n i k i e m o p o r u i n d u k o w a n e g o, którego wielkość można obliczyć z zależności:

$$c_{xi} = \frac{k}{\pi \cdot \Lambda} \cdot c_z^2. \tag{9}$$

Wielkość stałej k zależy od obrysu skrzydła oraz jego wydłużenia. Orientacyjne wartości (dla $\Lambda \approx 15$) zostały podane na rysunku 1—28. Dla obrysu eliptycznego wynosi ona $k = 1$ (bez względu na wydłużenie), dla innych obrysów jest zawsze większa od jedności. Najmniejszy więc opór indukowany przy tych samych wydłużeniach mają zawsze skrzydła eliptyczne, niestety trudności wykonawcze skłaniają konstruktorów do stosowania innych obrysów.

Dla samolotów szybkich, latających na małych współczynnikach siły nośnej, opór indukowany jest stosunkowo mały w normalnych stanach lotu. Natomiast u szybowców, wykorzystujących często wysokie współczynniki siły nośnej, opór indukowany jest poważnym składnikiem oporu skrzydła. W tym tkwi przyczyna, dla której wydłużenia skrzydeł szybowców są wyższe od wydłużeń skrzydeł samolotów.

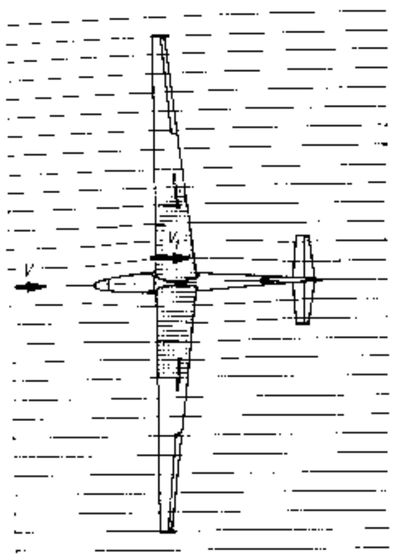


Rys. 1—28. Różne kształty skrzydeł szybowców i odpowiadające im wielkości stałej k współczynnika oporu indukowanego

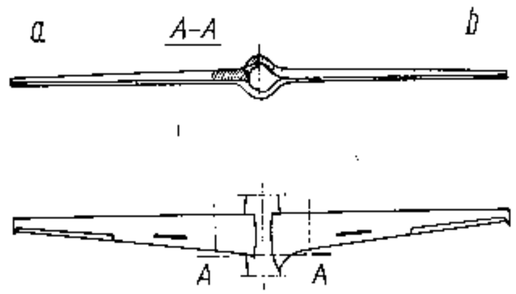
W układzie współrzędnych biegunowej zależność współczynnika oporu indukowanego od współczynnika siły nośnej jest, jak widać z wzoru (9), parabolą noszącą nazwę p a r a b o l i o p o r u i n d u k o w a n e g o. Wrócimy jeszcze do niej przy omawianiu biegunowej aerodynamicznej szybowca.

d. Opór interferencyjny

Poszczególne elementy szybowca, np. skrzydło, kadłub, usterzenia oddziałują na siebie z punktu widzenia oporu niekorzystnie. Oznacza to, że opór wypadkowy szybowca jest większy niż by to wynikało z sumy oporów poszczególnych jego elementów. Ten dodatkowy — jakby — opór nazwano o p o r e m i n t e r f e r e n c y j n y m, tj. oporem wzajemnego oddziaływania. Najsilniejsza interferencja występuje pomiędzy skrzydłem i kadłubem. Zjawisko to można wytłumaczyć w następujący sposób.



Rys. 1—29. Przyrost prędkości powietrza opływającego kadłub jest źródłem dodatkowego oporu skrzydła, tzw. oporu interferencyjnego



Rys. 1—30. Wyprofilowanie przejścia skrzydła w kadłub zmniejsza oderwanie strug powietrza w tej części szybowca, zmniejszając tym samym opór interferencyjny

W przypadku opływania przez powietrze zespołu skrzydło-kadłub, jak to np. przedstawiono na rysunku 1—29, prędkość strug powietrza w przykadłubowych partiach skrzydła jest większa od prędkości lotu, podobnie zresztą jak na rysunku 1—22. Zakreskowane na rysunku partie skrzydła doznają wtedy większego oporu niż doznawały w laboratorium, w którym badano oddzielnie skrzydło, ponieważ nie występował tam wspomniany przyrost prędkości opływu w partii przykadłubowej.

Drugim źródłem oporu interferencyjnego może być również złe ukształtowanie przejścia skrzydła w kadłub. Wyjaśnia to zresztą rysunek 1—30, na którym widzimy, że w tylnej części przejścia skrzydła w kadłub tworzy się jak gdyby dysza, w której może nastąpić oder-

wanie strug powietrza od ścian skrzydła i kadłuba, jeżeli jej rozbieżność będzie zbyt silna. Oderwaniu temu towarzyszy oczywiście wzrost oporu kształtu zespołu. Wyprofilowując odpowiednio wspomniane przejście można zmniejszyć rozbieżność wspomnianej dyszy i uniknąć, a co najmniej ograniczyć, rozmiary oderwania strug i tym samym zmniejszyć niekorzystną interferencję.

Nie bez wpływu jest tu również wzajemne usytuowanie skrzydła i kadłuba. Interferencja grzbietopłatów jest najczęściej mniejsza niż średnio- i dolnopłatów oraz zmienia się ze zmianą kąta zaklinowania skrzydła z kadłubem. Zmniejsza się najczęściej z rosnącym kątem natarcia skrzydła i rosnącą liczbą Reynoldsa kadłuba.

e. Opór szczelinowy

Jakakolwiek szczelina w skrzydle powoduje wyrównywanie różnicy ciśnień po obydwóch stronach skrzydła. Zjawisku temu towarzyszą straty energii, a najczęściej i powstawanie zawirowań. Powstaje wówczas dodatkowy opór, zwany oporem szczelinowym. Uszczelnienie wszelkich otworów w skrzydle zwalcza go — oczywiście — skutecznie.

9. Urządzenia pozwalające na zwiększanie siły nośnej oraz oporu

W wielu przypadkach nie wystarczają nam zmiany siły nośnej oraz oporu skrzydła, które można uzyskać jedynie zmianą kąta natarcia skrzydła. Tak na przykład, w czasie lądowania lub podczas krążenia szybowca chcielibyśmy uzyskać przy danej prędkości siłę nośną wyższą niż jest w stanie dać zastosowany profil, a równocześnie np. w locie nurkowym chcielibyśmy, aby skrzydło stwarzało większy opór niż jest w stanie go wytworzyć.

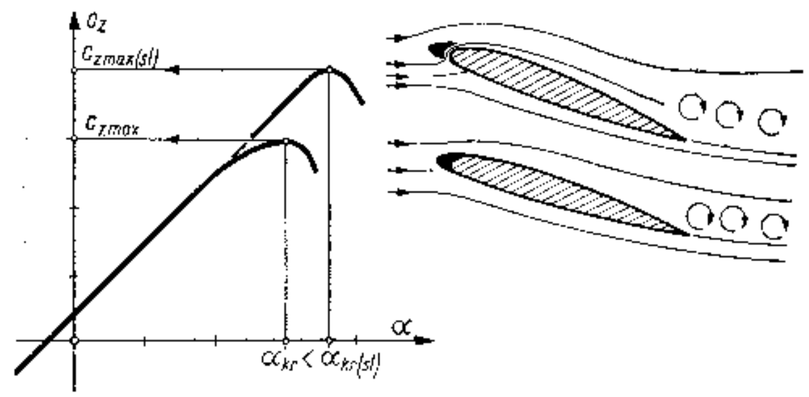
Wspomniane potrzeby doprowadziły do opracowania kilku urządzeń zaliczonych do tzw. mechanizacji skrzydła. Omówimy więc najważniejsze z nich.

Urządzenia podwyższające siłę nośną skrzydła można podzielić na kilka grup według zasad ich działania, a mianowicie:

— urządzenia przeszkadzające oderwaniu się strug powietrza na grzbiecie skrzydła w zakresie dużych kątów natarcia,
— urządzenia zmieniające profil skrzydła małonośny na profil wysokonośny,
— urządzenia powiększające powierzchnię skrzydła.

a. Skrzele

Tłumacząc powstawanie oporu kształtu wspomnieliśmy, że przyczyną oderwania strug od powierzchni opływanego ciała jest utrata w pewnym miejscu swej energii ruchu przez cząstki powietrza poruszające się w warstwie przyściennej. Zwiększanie energii tych cząstek zapobiega skutecznie ich odrywaniu się od powierzchni skrzydła. Dokonać tego można kilkoma sposobami. Najprostszym z nich jest wyposażenie skrzydła w tak zwane skrzele, zwane również slotami, przedstawione na rysunku 1—31.



Rys. 1—31. Działanie skrzeli i ich wpływ na największą wartość współczynnika siły nośnej

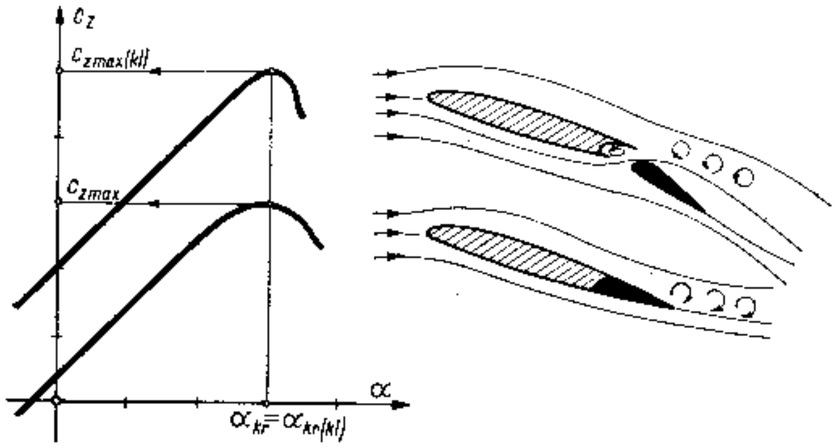
Na dużych kątach natarcia przez szczelinę pomiędzy skrzelami i skrzydłem przepływa strumień powietrza. Strumień ten wzbogaca swoją energią ruchu energię strug przepływających wzdłuż grzbietu skrzydła, przeszkadzając tym samym ich oderwaniu się i pozwala na osiągnięcie większych krytycznych kątów natarcia, a więc i wyższych wartości współczynnika siły nośnej (rys. 1—31).

Niegdyś w kilku szybowcach szkolnych stosowane były skrzele. Dzisiaj nie są już stosowane w szybownictwie, natomiast chętnie korzystają z nich konstruktorzy samolotów wielocelowych.

b. Klapy wysklepiające

Omawiając rysunek 1—10 zwróciliśmy uwagę na to, że profil niesymetryczny wysklepiony ma wyższą wartość $c_{z\ max}$ niż profil symetryczny. Stwierdzenie to można uogólnić: im profil skrzydła jest bardziej wysklepiony, tym jego najwyższa wartość współczynnika siły nośnej jest wyższa.

Ponieważ jednak wraz ze wzrostem wysklepienia profilu rośnie również jego opór, nie udało się do tej pory opracować tak uniwer-



Rys. 1—32. Działanie klapy wysklepiającej i jej wpływ na największą wartość współczynnika siły nośnej

salnego profilu, aby miał on i wysoką siłę nośną, i mały opór. Wobec tego konstruktorzy opracowali tzw. klapę wysklepiającą, przedstawioną na rysunku 1—32, która pozwala na dowolną zmianę stopnia wysklepienia profilu. Wychylając w dół klapę zwiększamy wprawdzie opór profilu, ale otrzymujemy równocześnie znaczny wzrost współczynnika siły nośnej. Nie zmienia się przy tym zasadniczo krytyczny kąt natarcia, jak to widać z wykresów na rysunku 1—32.

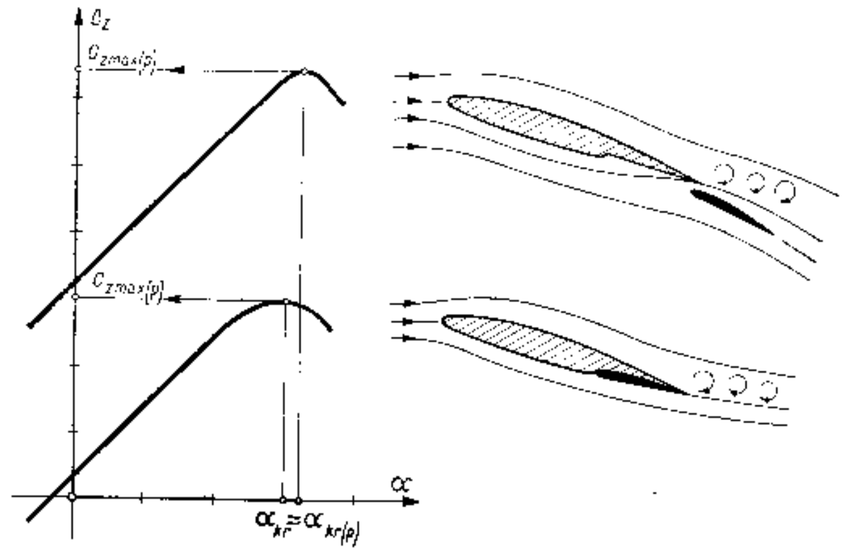
Z wielu rodzajów tego typu klap coraz częściej zaczyna być stosowana w szybownictwie klapa półposzerzaczowa uszczelniona (patrz punkt następny). Taką właśnie klapę przedstawia nasz rysunek. Do głównych jej zalet można zaliczyć:

— brak jakichkolwiek uskoków i szczelin na skrzydle w stanie zamkniętym,
— poprawny przepływ przez szczelinę pomiędzy otwartą klapą a skrzydłem, dzięki samoregulującej się poduszce wirowej powstałej z powodu opływu uszczelniającego fartuszka.

c. Poszerzacz

Zwiększenie powierzchni skrzydła zwiększa oczywiście jego siłę nośną. Z kilku możliwych rozwiązań konstrukcyjnych najczęściej stosowany jest tzw. poszerzacz, zwany czasem faulerem albo klapą Fowlera (rys. 1—33). Jest to jak gdyby klapa wysklepiająca, która wysuwa się do tyłu o głębokość swej cięciwy i wychyla równocześnie o pewien kąt.

Z opisanych przez nas urządzeń poszerzacz najskuteczniej zwiększa siłę nośną. Jest niestety urządzeniem bardzo skomplikowanym i cięż-



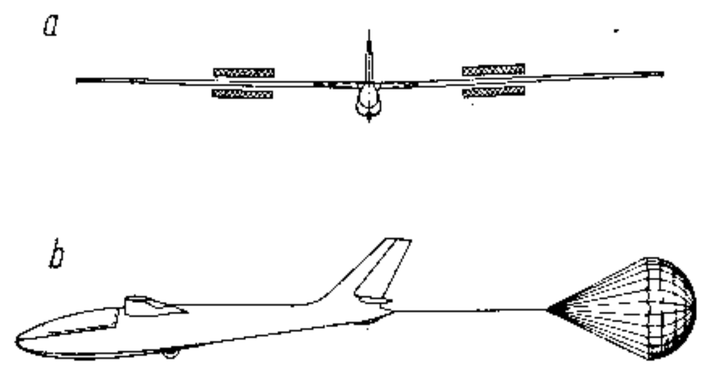
Rys. 1—33. Działanie poszerzacza i jego wpływ na największą wartość współczynnika siły nośnej

kim, dlatego też stosuje się go w szybownictwie tylko w wyjątkowych przypadkach.

Niekiedy, na przykład w czasie podchodzenia do lądowania, lotu nurkowego, w czasie holu lub w locie w szyku korzystne jest posiadanie urządzeń pozwalających na zwiększenie oporu szybowca. Urządzenia takie noszą nazwę hamulców aerodynamicznych.

Z wielu możliwych i w swoim czasie stosowanych w szybownictwie rozwiązań konstrukcyjnych najpopularniejsze są wysuwane hamulce płytowe (rys. 1—34a).

Dzięki istnieniu dwóch płyt po obu stronach skrzydła, są one bardzo skuteczne w pełnym zakresie kątów natarcia, tak że nie tylko dobrze



Rys. 1—34. Przykłady rozwiązań hamulców aerodynamicznych stosowanych w szybowcach

a — hamulec płytowy, *b* — spadochronik hamujący

wyhamowywują prędkość szybowca w locie nurkowym, ale również są bardzo efektywne w czasie podchodzenia do lądowania. Poza tym — dzięki istnieniu dwóch płyt — nie zaburzają w ogóle lub zaburzają w nieznacznym stopniu podłużną równowagę szybowca.

Skuteczność tego typu hamulców maleje wyraźnie w miarę przesuwania ich do tyłu profilu. Opór hamulców jest bowiem sumą oporu kształtu płyt hamulcowych oraz oporu interferencyjnego układu hamulec-skrzydło, a ten ostatni gwałtownie zmniejsza się przy przesuwaniu płyt do tyłu. Dlatego hamulce umieszczone z tyłu mają bądź znaczną długość przy wysokości płyt mieszczących się w obrysie profilu, bądź posiadają po dwie płyty z każdej strony skrzydła zestawione „piętrowo".

Istnienie hamulców na skrzydle nie wpływa dodatnio na opór skrzydła, ponieważ zawsze występują wtedy na powierzchni skrzydła małe uskoki i nieszczelności. Gdy jeszcze do tego konstrukcja skrzydła nie pozwala na łatwe umieszczenie w niej hamulców oraz ich napędów, konstruktor zmuszony jest do zastosowania w szybowcu tzw. spadochronu ogonowego (rys. 1—34b). Rozwiązanie takie, zwłaszcza jeżeli spadochron może być używany wielokrotnie w locie, jest konstrukcyjnie złożone i kosztowne, tak że opłaca się go stosować tylko w wysokowyczynowych szybowcach.

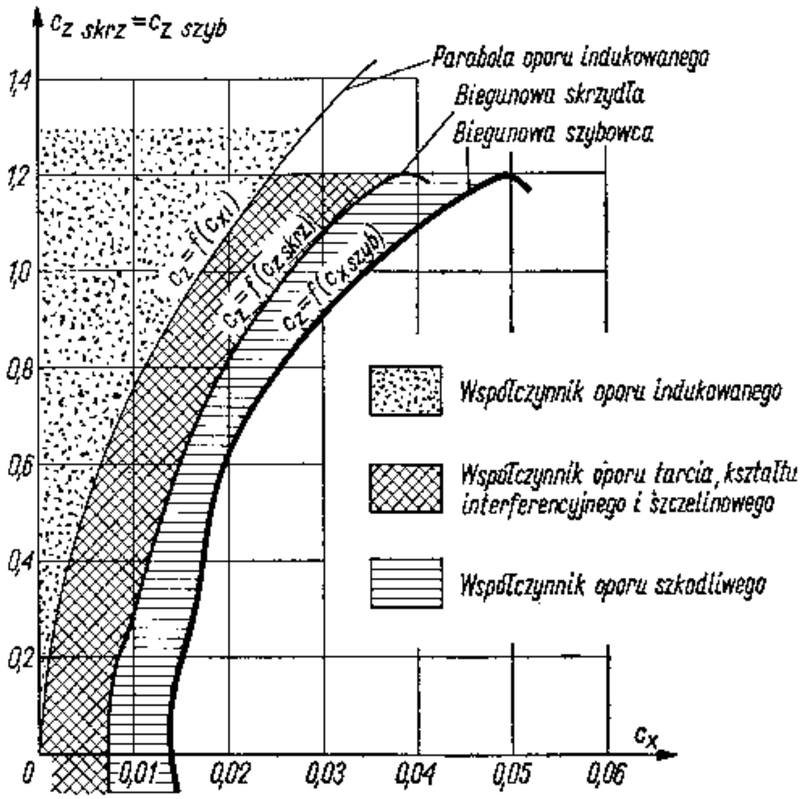
10. Własności aerodynamiczne szybowca — — jego biegunowa

W dotychczasowych naszych rozważaniach omówiliśmy własności aerodynamiczne skrzydła, a w szczególności mechanizm powstawania na nim siły nośnej i oporu. Dowiedzieliśmy się, że można te dwie wielkości przedstawić za pomocą biegunowej.

Poza skrzydłem, które jest głównym elementem szybowca, siła aerodynamiczna działa również na kadłub i usterzenia szybowca. Wypadkowa siła będzie oczywiście sumą sił aerodynamicznych działających na wszystkie te elementy.

Wypadkową siłę aerodynamiczną działającą na skrzydło rozłożyliśmy na siłę nośną i opór. Tak samo możemy postąpić w przypadku kadłuba i usterzeń. Okazuje się jednak, że jeśli siła nośna skrzydła w porównaniu do jego oporu — w zakresie użytkowych kątów natarcia — jest wielokrotnie większa, to w przypadku kadłuba odwrotnie — jego siła nośna jest znikoma w porównaniu do jego oporu. Nie popełnimy więc wielkiego błędu, gdy przyjmiemy, że wypadkowa siła aerodynamiczna działająca na kadłub składa się tylko z oporu.

Podobnie możemy postąpić z usterzeniami. Ich bowiem siła nośna



Rys. 1—35. Otrzymanie biegunowej aerodynamicznej szybowca przez zsumowanie oporów jego elementów

jest niewielka a porównaniu z siłą nośną skrzydła. Jedynie omawiając stateczność szybowca „przypomnimy" sobie o jej istnieniu.

Z dostateczną więc dokładnością możemy przyjąć, że:

— siła nośna szybowca równa jest sile nośnej jego skrzydła,
— opór szybowca jest sumą oporów skrzydła, kadłuba i usterzeń.

Ponieważ w przypadku kadłuba i usterzeń ich oporom nie towarzyszy „dobroczynna" siła nośna, sumę oporów kadłuba i usterzeń — oczywiście ze wszystkimi ich elementami, jak podwozie, zastrzały, itp. — nazywamy oporem szkodliwym.

Wielkość siły nośnej i oporu szybowca oblicza się za pomocą tych samych zależności, jak w przypadku skrzydła:

$$P_z = c_z \cdot S \cdot q,$$

$$P_x = c_x \cdot S \cdot q.$$

Musimy jednak pamiętać o tym, że współczynniki siły nośnej i oporu dotyczą całego szybowca.

Po tym cośmy wyżej przyjęli, będą one:

— współczynnik siły nośnej szybowca równy współczynnikowi siły nośnej skrzydła:

$$c_z = c_{z\ skrzydła},$$

— współczynnik oporu szybowca równy współczynnikowi oporu skrzydła powiększonemu o współczynnik oporów szkodliwych:

$$c_x = c_{x\ skrzydła} + c_{x\ szkodliwy}.$$

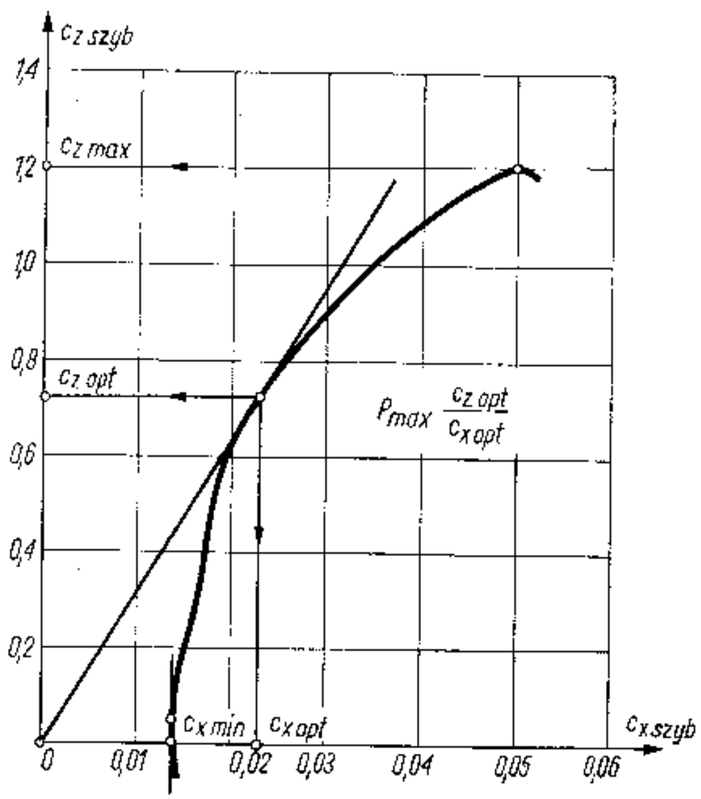
Sam współczynnik oporu skrzydła jest już sumą, jak omówiliśmy, współczynników oporu — indukowanego, tarcia i kształtu profilu (czyli tzw. profilowego), interferencyjnego i szczelinowego:

$$c_{x\ skrzydła} = c_{x\ indukowany} + c_{x\ profilowy} + c_{x\ interferencji} + c_{x\ szczelinowy}.$$

Oczywiście, wielkości współczynników siły nośnej i oporu szybowca możemy przedstawić — analogicznie jak dla profilu — za pomocą biegunowej, w tym przypadku zwanej b i e g u n o w ą s z y b o w c a.

Na rysunku 1—35 przedstawiono obrazowo powstawanie biegunowej szybowca przez biegunową skrzydła na drodze sumowania się poszczególnych oporów.

Przedstawianie własności aerodynamicznych szybowca za pomocą



Rys. 1—36. Charakterystyczne wielkości biegunowej szybowca

jego biegunowej jest bardzo praktyczne, pozwala bowiem na szybkie odczytanie kilku charakterystycznych wielkości, mówiących o jego jakości. I tak na przykład:

— poprowadzenie poziomej stycznej do wierzchołka biegunowej (rys. 1—36) pozwala na odczytanie największej wartości współczynnika siły nośnej $c_{z\ max}$,

— poprowadzenie stycznej pionowej do biegunowej pozwala na odczytanie wartości najmniejszej współczynnika oporu $c_{x\ min}$,

— styczna do biegunowej — wychodząca z początku układu współrzędnych — pozwala na odczytanie wartości tzw. o p t y m a l n e g o w s p ó ł c z y n n i k a s i ł y n o ś n e j i związanego z nim współczynnika oporu, odpowiadających punktowi styczności, a z kolei na obliczenie stosunku tych współczynników będącego miarą doskonałości a e r o d y n a m i c z n e j szybowca:

$$D_{max} = \frac{c_{z\ opt}}{c_{x\ opt}}.$$

Z wymienionych wyżej wielkości będziemy korzystali jeszcze w naszych dalszych rozważaniach. Na razie poprzestańmy na stwierdzeniu, że z biegunowej możemy odczytać wszystkie interesujące nas wielkości współczynników aerodynamicznych szybowca.

11. Lot ślizgowy szybowca

Ciężar szybowca równoważony jest w locie wypadkową siłą aerodynamiczną działającą na szybowiec. Sytuację taką przedstawia rysunek 13—7. Jeżeli kąt toru względem ziemi — oznaczony na wspomnianym rysunku literą γ — nie jest zbyt wielki, lot taki nazywamy lotem ślizgowym.

Zgodnie z dotychczasowymi naszymi rozważaniami wypadkową siłę aerodynamiczną możemy rozłożyć na:

— opór P_x — równoległy do toru lotu,

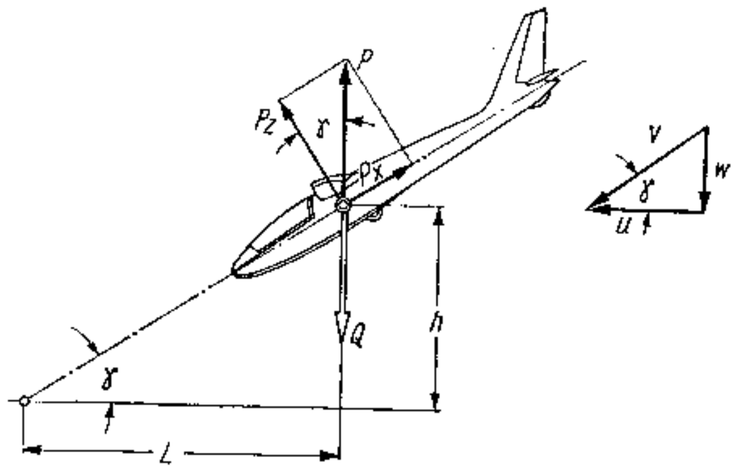
— siłę nośną P_z — prostopadłą do toru lotu.

Jeżeli przez Q oznaczymy ciężar szybowca, a przez P wypadkową siłę aerodynamiczną, to równowagę sił działających na szybowiec w locie możemy wyrazić zależnością:

$$Q = P = c \cdot S \cdot q,$$

g d z i e:

c = współczynnik wypadkowej siły aerodynamicznej,
S = powierzchnia skrzydeł szybowca,
q = ciśnienie dynamiczne panujące w czasie lotu.



Rys. 1—37. Siły działające na szybowiec w ustalonym locie ślizgowym

W zakresie małych kątów toru lotu — a do takich ograniczamy nasze rozważania — wypadkowa siła aerodynamiczna P niewiele różni się od siły nośnej P_z, co widać wyraźnie z naszego rysunku. W takim przypadku z wystarczającą dokładnością możemy napisać, że w locie ślizgowym:

$$Q \cong P_z = c_z \cdot S \cdot q = c_z \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}. \tag{10}$$

Powyższa zależność ujmuje wzajemną zależność pomiędzy: ciężarem szybowca Q, powierzchnią jego skrzydeł S, współczynnikiem nośnej siły c_z i prędkością lotu ślizgowego v. Prędkość przy tym możemy obliczyć z zależności otrzymanej przez przekształcenie zależności (10):

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{Q}{S} \cdot \frac{1}{c_z}}. \tag{11}$$

W przypadku lotu w pobliżu ziemi, po wstawieniu gęstości powietrza z tablicy 1, otrzymujemy zależność uproszczoną:

$$v = \sqrt{16 \cdot \frac{Q}{S} \cdot \frac{1}{c_z}} \text{ [m/s]}. \tag{11a}$$

Jak widzimy, prędkość lotu jest tym większa, im większy jest stosunek ciężaru szybowca do powierzchni jego skrzydeł $\frac{Q}{S}$, który nazywamy o b c i ą ż e n i e m j e d n o s t k o w y m skrzydła, oraz im mniejszy jest współczynnik siły nośnej c_z w czasie lotu.

Ponieważ kąt toru lotu ślizgowego jest różny od zera, szybowiec lecąc z prędkością v opada ku ziemi z prędkością w — jak widać z trójkąta prędkości u, v, w, na rysunku 1—37. Ponieważ wektory prędkości

v oraz u tworzą również między sobą kąt γ, z podobieństwa trójkątów możemy napisać:

$$\frac{w}{v} = \frac{P_x}{P},$$

a przyjąwszy, jak poprzednio, że wypadkowa siła aerodynamiczna niewiele się różni od siły nośnej, otrzymujemy zależność:

$$\frac{w}{v} = \frac{P_x}{P_z} = \frac{c_x}{c_z} = \frac{1}{D}$$

lub

$$w = \frac{v}{D}. \tag{12}$$

Prędkość opadania jest więc równa prędkości lotu, podzielonej przez doskonałość szybowca w locie.

Analogiczną zależność otrzymujemy — równie z podobieństwa trójkątów — pomiędzy przelecianą przez szybowiec odległością L w spokojnym powietrzu a wysokością h, którą szybowiec utracił w czasie tego lotu:

$$L = h \cdot D. \tag{13}$$

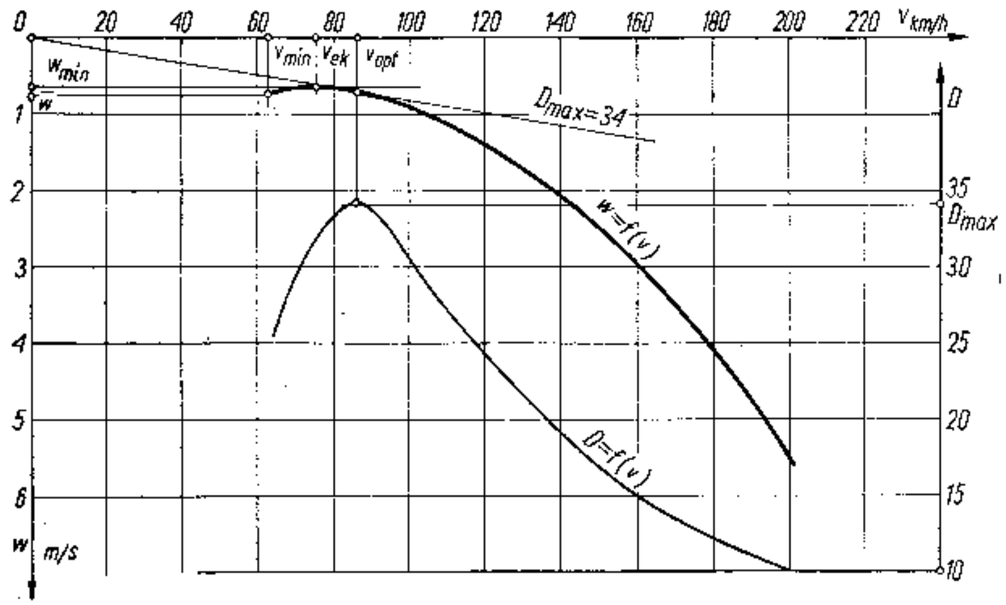
W locie ślizgowym szybowiec przelatuje więc odległość równą wysokości utraconej w czasie tego lotu, pomnożonej przez doskonałość szybowca w locie.

Już z tych dwóch przykładów widzimy, jak wielką rolę odgrywa doskonałość szybowca. Ponieważ jest ona stosunkiem współczynnika siły nośnej do współczynnika oporu $\left(D = \frac{c_z}{c_x}\right)$, nic dziwnego, że konstruktorzy szybowców tak skrupulatnie zwalczają każde źródło oporu, nawet za cenę komplikacji konstrukcji.

12. Biegunowa prędkości — — wpływ na nią obciążenia jednostkowego

W taktyce przelotowej bardzo ważną rolę odgrywa dla pilota znajomość związku pomiędzy prędkością lotu i towarzyszącą jej prędkością opadania szybowca.

Znając biegunową aerodynamiczną szybowca, jego ciężar i powierzchnię skrzydeł, możemy za pomocą zależności (11) oraz (12) obliczyć te interesujące nas wielkości. Zestawiając wyniki obliczeń wykreślnie, jak np. na rysunku 1—38, otrzymujemy tzw. b i e g u n o w ą p r ę d k o ś c i szybowca. Często również, dla otrzymania pełniejszego



Rys. 1—38. Biegunowa prędkości szybowca i jej charakterystyczne punkty

obrazu jakości szybowca, wykreśla się w tym samym układzie krzywą obrazującą zmianę doskonałości szybowca wraz z prędkością lotu. Takie właśnie dwie krzywe przedstawia nam wspomniany rysunek.

Jak widać z biegunowej prędkości, prędkość opadania szybowca zmienia się z prędkością lotu w bardzo szerokim zakresie. Najmniejsza prędkość opadania nie występuje — jak by można było przypuszczać po zależności (12) — przy najmniejszej prędkości lotu, ponieważ doskonałość szybowca jest wtedy niewielka. Najmniejsza prędkość opadania w_{min} występuje przy prędkości nieco większej od prędkości minimalnej danego szybowca, przy prędkości zwanej e k o n o m i c z n ą — oznaczanej v_{ek}.

Dla prędkości lotu większych od prędkości ekonomicznej opadanie szybowca przyrasta mniej lub bardziej szybko. Oczywiście tym szybciej, im gorszy aerodynamicznie jest szybowiec.

Kreśląc z początku układu współrzędnych styczną do biegunowej prędkości możemy wyznaczyć wielkość tzw. p r ę d k o ś c i o p t y m a l n e j.

Punkt styczności do biegunowej prędkości odpowiada wspomnianemu poprzednio punktowi styczności do biegunowej aerodynamicznej, który wyznaczył nam wartość optymalnego współczynnika siły nośnej $c_{z\,opt}$. Prędkość optymalna v_{opt} jest więc prędkością w locie na optymalnym kącie natarcia, dla którego doskonałość szybowca osiąga swą największą wartość D_{max}. Jak widzimy z zależności (13), zasięg lotu ślizgowego jest wtedy największy.

Biegunowa prędkości ma więc trzy charakterystyczne punkty:

— punkt początkowy biegunowej, określony najmniejszą prędkością lotu oraz towarzyszącą jej prędkością opadania ($v_{min}, \bar{w}$), który — jak się dalej dowiemy — odgrywa ważną rolę w krążeniu;
— punkt określający najmniejszą prędkość opadania szybowca (w_{min});
— punkt określający prędkość optymalną, dla której doskonałość szybowca osiąga najwyższą wartość, co jest jednoznaczne z tym, że tor lotu ślizgowego jest najbardziej płaski (v_{opt}).

Dotychczasowe nasze wiadomości o biegunowej pozwalają już na sformułowanie następujących twierdzeń:
— chcąc utrzymać się jak najdłużej w spokojnym powietrzu należy kontynuować lot z prędkością ekonomiczną v_{ek}, ponieważ prędkość opadania szybowca jest wtedy najmniejsza,
— chcąc dolecieć, z danej wysokości w spokojnym powietrzu, jak najdalej należy kontynuować lot z prędkością optymalną v_{opt}, ponieważ kąt toru jest wówczas najbardziej płaski.

Lot w spokojnym powietrzu należy do wyjątków. Z zasady lata się w powietrzu niespokojnym wykorzystując jego prądy wznoszące i wiatr. Czas wyczynu szybowcowego ograniczony jest długością dnia i czasem panowania korzystnych warunków. Element czasu odgrywa więc w locie poważną rolę. Dlatego też przeloty szybowcowe — co będzie omówione w jednym z dalszych rozdziałów tego podręcznika — dokonywane są z prędkościami większymi od optymalnej. Wykorzystywany jest wówczas odcinek biegunowej leżącej powyżej v_{opt}. Nie jest więc dla wyczynu obojętna charakterystyka szybowca, a więc i kształt biegunowej prędkości w tym zakresie.

Im prędkości opadania szybowca na dużych prędkościach są mniejsze, tym — oczywiście — szybowiec jest lepszy. Niestety nie można zupełnie dowolnie zmieniać kształtu biegunowej prędkości w całym zakresie jego prędkości. Korzystny przebieg biegunowej w zakresie dużych prędkości okupiony jest najczęściej słabszymi własnościami szybowca w zakresie prędkości małych.

Najprostszym dowodem na takie stwierdzenie może być wpływ ciężaru szybowca, a więc obciążenia jednostkowego skrzydeł, na jego biegunową.

O biegunowej aerodynamicznej szybowca decydują jego kształty zewnętrzne. Decydującą rolę odgrywa skrzydło, a przede wszystkim jego profil, obrys i powierzchnia. Mniejszą rolę odgrywa kadłub i usterzenia, ich proporcje oraz wzajemne usytuowanie. Jak długo nie ulegną zmianie zewnętrzne kształty szybowca, np. wychylenie klap, tak długo nie ulega zmianie jego biegunowa aerodynamiczna.

Natomiast biegunowa prędkości, będąca wzajemnym związkiem pomiędzy prędkością lotu ślizgowego oraz towarzyszącą jej prędkością opadania, zależy nie tylko od biegunowej aerodynamicznej, ale i od ciężaru szybowca, ponieważ jak widać z zależności (11) oraz (12) zależą od niego obie wspomniane prędkości.

Jeżeli szybowiec o ciężarze Q_1 leci na jakimś kącie natarcia z prędkością:

$$v_1 = \sqrt{16 \cdot \frac{Q_1}{S} \cdot \frac{1}{c_z}},$$

to ten sam szybowiec ze zmienionym ciężarem Q_2 będzie na tym samym kącie natarcia leciał z prędkością:

$$v_2 = \sqrt{16 \cdot \frac{Q_2}{S} \cdot \frac{1}{c_z}}.$$

Możemy więc napisać następującą proporcję:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}}. \tag{14}$$

W tym samym stosunku — w myśl zależności (12) zmieni się prędkość opadania:

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}}. \tag{15}$$

Ponieważ w praktyce zmiany ciężaru szybowca są małe i mogą być wywołane różnym ciężarem pilota, różnym wyposażeniem lub balastem, stosunek ciężarów:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{Q_1 + \Delta Q}{Q_1} = 1 + \frac{\Delta Q}{Q_1} = 1 + X$$

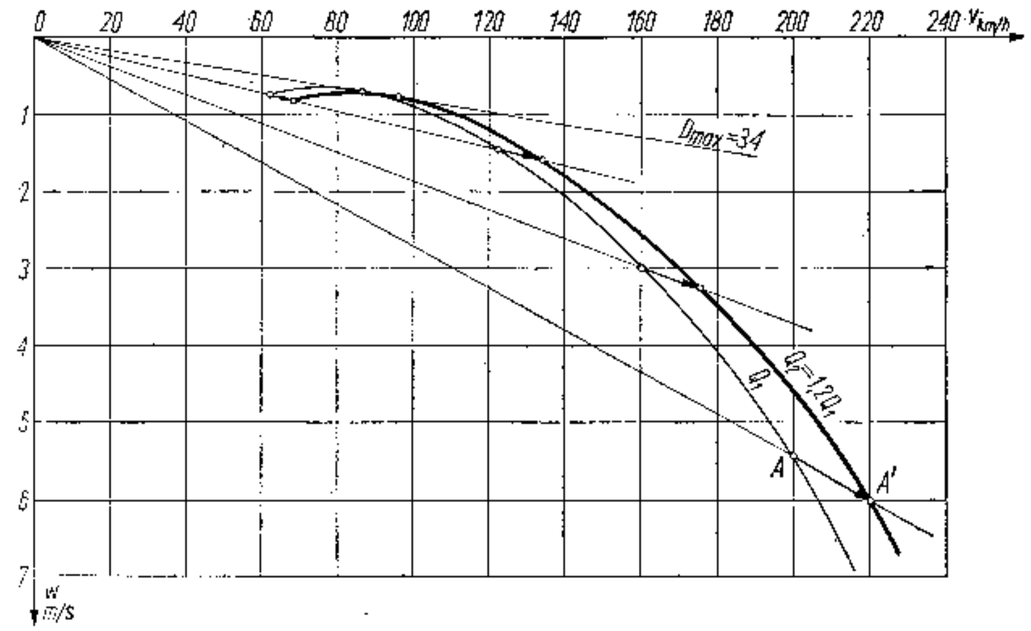
niewiele — najczęściej — różni się od jedności.

W takim przypadku możemy skorzystać ze znanego w matematyce przybliżenia:

$$\sqrt{1+X} = 1 + \frac{X}{2}$$

i następująco sformułować zależność (14) oraz (15): jeżeli ciężar szybowca ulegnie zmianie o X %, to zarówno prędkość lotu ślizgowego jak i prędkość opadania dla poszczególnych kątów natarcia ulegną zmianie o $\frac{X}{2}$%.

W ten właśnie sposób na rysunku 1—39 dokonano przeliczenia biegunowej prędkości szybowca, gdy ciężar jego ulega zmianie o 20%. Zastosowano przy tym jeszcze jedno uproszczenie, a mianowicie: aby uniknąć przeliczania obu prędkości, przeliczono jedynie prędkość lotu, ale poszczególne punkty biegunowej (np. A) przesunięto odpowiednio — a więc w tym przypadku o 10% w kierunku większych prędkości wzdłuż siecznych biegunowej wychodzących z początku układu współrzędnych. W ten sposób „automatycznie" uległa równocześnie zwiększeniu prędkość opadania również o 10%.



Rys. 1—39. Wpływ zmiany ciężaru szybowca na przebieg jego biegunowej prędkości

Jak widzimy z rysunku 1—39, zmiana ciężaru szybowca ma istotny wpływ na jego biegunową prędkości. Przesuwa się ona — jak gdyby — w kierunku większych prędkości wzdłuż stycznej do biegunowej. Ulegają przy tym zmniejszeniu prędkości opadania szybowca na większych prędkościach lotu, ale — niestety — zwiększa się równocześnie prędkość minimalna v_{min} oraz prędkość opadania w zakresie prędkości małych. Nie ulega natomiast zmianie największa doskonałość szybowca.

Ponieważ zakres małych prędkości odgrywa poważną rolę w krążeniu szybowca, o czym się dowiemy w jednym z następnych punktów, nie można bezkarnie podnosić obciążenia jednostkowego do dowolnej wielkości. Jeżeli konstruktor musi przekroczyć opłacalną granicę, musi zastosować w szybowcu urządzenie do zwiększania siły nośnej, a więc zmniejszania prędkości minimalnej (np. klapy wyporowe), celem poprawienia własności szybowca w krążeniu.

13. Lot nurkowy — biegunowa prędkości na hamulcach

Gdy kąt toru ślizgowego staje się bardzo stromy, lot nazywamy nurkowym. Specjalnym przypadkiem takiego lotu jest pionowy lot nurkowy.

W takim przypadku (rys. 1—40) siła nośna jest równa zeru, ponieważ w myśl zależności (13) doskonałość szybowca musi być wtedy

równa zeru. Zachodzi to tylko wówczas, gdy współczynnik siły nośnej $c_z = 0$.

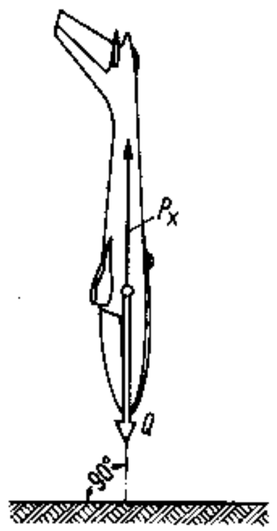
Ciężar szybowca równoważony jest więc tylko przez opór szybowca. Możemy zatem napisać:

$$Q = P_x = c_x \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot v_n^2}{2}. \tag{16}$$

lub że prędkość pionowego lotu nurkowego:

$$v_n = \sqrt{\frac{2 \cdot Q \cdot 1}{\rho \cdot S \cdot c_x}} = \sqrt{16 \cdot \frac{Q \cdot 1}{S \cdot c_x}} \text{ [m/s]}. \tag{17}$$

Ponieważ współczynnik oporu szybowca w locie nurkowym niewiele się różni od najmniejszego jego współczynnika oporu $c_{x\ min}$ — co np. widać na biegunowej z rysunku 1—36 — osiągane w locie nurkowym prędkości zagrażałyby konstrukcji szybowca, gdyby pilot dopuścił do ich osiągnięcia.



Rys. 1—40. Siły działające na szybowiec w pionowym ustalonym locie nurkowym

Aby zabezpieczyć przed tym szybowiec, a równocześnie umożliwić pilotowi pionowe nurkowanie, szybowce wyposaża się w omówione poprzednio hamulce aerodynamiczne. Jeżeli ich otwarcie podwyższa opór szybowca o Δc_x, to prędkość lotu nurkowego z otwartymi hamulcami wynosi:

$$v_h = \sqrt{16 \cdot \frac{Q}{S\,(c_x + \Delta c_x)}} \text{ [m/s]} \tag{17a}$$

i najczęściej nie przekracza $v_h = 200 - 250$ km/h.

Stosowane obecnie powszechnie hamulce płytowe są skuteczne również w zakresie małych prędkości. Można więc je wykorzystywać w czasie podchodzenia do lądowania celem zmniejszenia doskonałości szybowca, a więc — jak już wiemy — celem otrzymania bardziej stromego toru lotu bez podwyższania prędkości lotu.

Można łatwo wykazać, że zależność pomiędzy doskonałością szybowca z hamulcami otwartymi i zamkniętymi ma postać:

$$\frac{1}{D_h} = \frac{1}{D} + \frac{\Delta c_x}{c_z}.$$

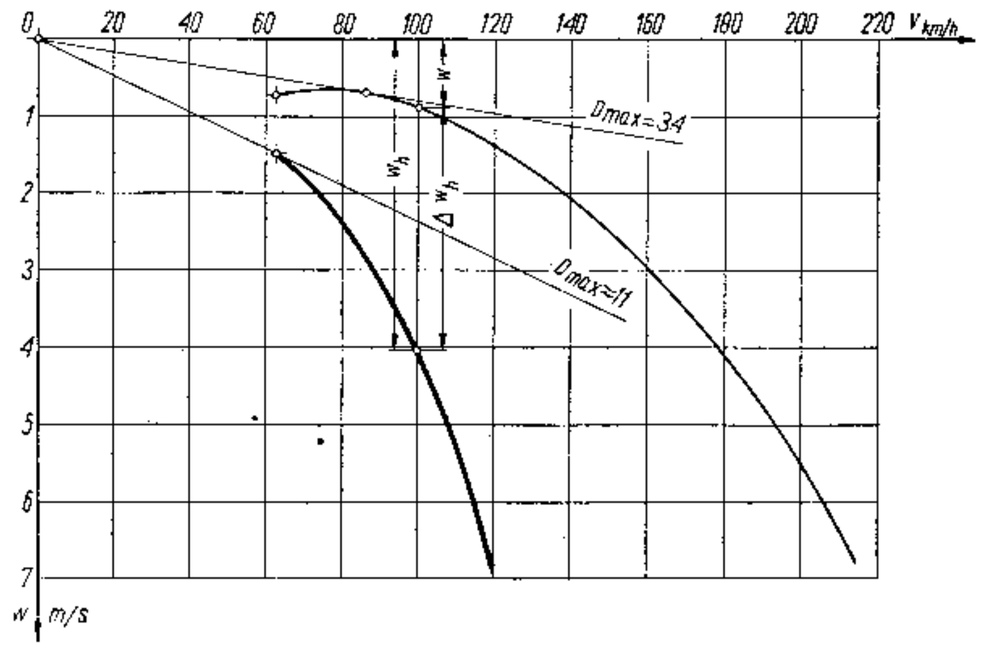
Wprowadzając ją do zależności (12) możemy obliczyć prędkość opadania szybowca w locie ślizgowym z otwartymi hamulcami:

$$w_h = w + \frac{\Delta c_x \cdot v^3}{16 \cdot Q/S} = w + \Delta w_h, \tag{18}$$

przy czym oznaczyliśmy:

$$\Delta w_h = \frac{\Delta c_x \cdot v^3}{16 \cdot Q/S}.$$

Widzimy więc, że mając biegunową prędkości szybowca z hamulcami zamkniętymi, możemy z niej otrzymać biegunową z hamulcami otwartymi dodając do prędkości opadania wielkość Δw_h. Ponieważ nie jest to wielkość stała, ale rośnie gwałtownie z rosnącą prędkością lotu — bo aż w trzeciej jej potędze, otrzymana biegunowa jest bardzo stroma (jak np. na rys. 1—41). Pozwala więc ona przez stosunkowo małą zmianę prędkości lotu zmieniać w szerokim zakresie prędkość opadania w czasie podchodzenia do lądowania.



Rys. 1—41. Wpływ otwarcia hamulców aerodynamicznych szybowca na przebieg jego biegunowej prędkości

Jeżeli mechanizm otwierania hamulców pozwala na dowolny stopień ich otwarcia, co trudno jest osiągnąć np. przy spadochronie ogonowym, pilot może otrzymać w locie dowolną biegunową prędkości, leżącą pomiędzy obu wyżej omówionymi. Ułatwia mu to bardzo lot w szyku lub na holu.

14. Zakręt — krążenie szybowca

Do tej pory omawialiśmy przypadki lotu prostoliniowego, w których siła aerodynamiczna równoważyła jedynie ciężar szybowca w locie.

Gdy szybowiec wykonuje manewr zmiany kierunkiem lotu — zwany zakrętem lub krąży w kominie termicznym, to w związku z ruchem szybowca po torze łukowym pojawia się siła odśrodkowa, którą wraz z ciężarem szybowca musi zrównoważyć siła nośna. Aby to było możliwe, szybowiec musi przechylić się odpowiednio w kierunku krążenia (rys. 1—42). Tylko w takim przypadku pionowa składowa siły nośnej P_z' może zrównoważyć ciężar szybowca Q, a równocześnie jej składowa pozioma P_z'' zrównoważy siłę odśrodkową P_o.

W poprawnym więc krążeniu muszą być spełnione dwa warunki równowagi sił:

$$Q = P_z' = P_z \cdot \cos\varphi, \qquad (19)$$
$$P_o = P_z'' = P_z \cdot \sin\varphi,$$

gdzie: przez φ oznaczyliśmy kąt przechylenia szybowca w krążeniu.

Z pierwszej z nich możemy obliczyć prędkość lotu w krążeniu:

$$Q = P_z' = P_z \cdot \cos\varphi = c_z \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot v_k^2}{2} \cdot \cos\varphi,$$

a więc:

$$v_k = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{Q}{S} \cdot \frac{1}{c_z} \cdot \frac{1}{\cos\varphi}}. \qquad (20)$$

Porównując tę zależność z zależnością (11) dla lotu ślizgowego widzimy, że prędkość szybowca w krążeniu musi być wyższa — na tym samym kącie natarcia — niż w locie ślizgowym, ponieważ:

$$v_k = v \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos\varphi}}. \qquad (21)$$

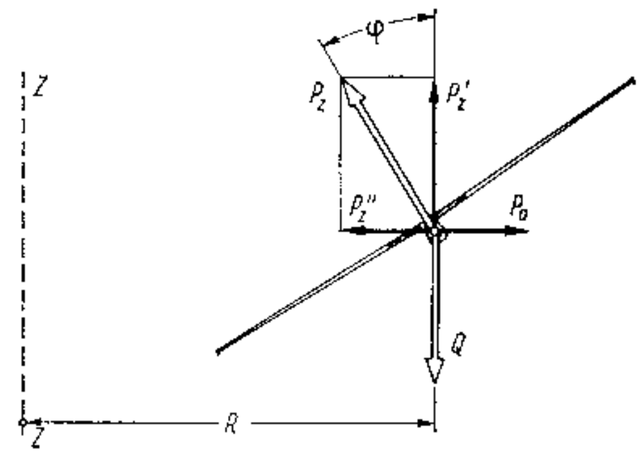
Definiując doskonałość szybowca jako stosunek „efektywnej" siły nośnej do jego oporu widzimy z rysunku 1—42, że w krążeniu doskonałość szybowca się zmniejsza, ponieważ „efektywną" siłą nośną jest tylko pionowa składowa siły nośnej szybowca. Możemy więc napisać, że w krążeniu doskonałość szybowca:

$$D_k = \frac{P_z'}{P_x} = \frac{P_z \cdot \cos\varphi}{P_x} = D \cdot \cos\varphi,$$

przy czym D jest doskonałością szybowca w locie ślizgowym na danym kącie natarcia.

Stosując do krążenia zależność (12) otrzymujemy wielkość prędkości opadania w krążeniu:

$$w_k = \frac{v_k}{D_k} = \frac{v}{D} \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos 3\varphi}} = w \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos 3\varphi}}. \qquad (22)$$



Rys. 1—42. Siły działające na szybowiec w poprawnie wykonywanym zakręcie

Porównując ze sobą zależności (21) oraz (22) widzimy, że w krążeniu zarówno prędkość lotu, jak i prędkość opadania są wyższe niż w locie ślizgowym na tym samym kącie natarcia, z tym że znacznie silniej wzrasta prędkość opadania niż prędkość lotu. Im kąt przechylenia szybowca w poprawnym krążeniu jest większy, tym większe są zmiany prędkości w porównaniu do lotu ślizgowego.

Nasuwają się teraz dwa pytania:

— od czego zależy wielkość kąta przechylenia w poprawnym krążeniu?

— co się stanie, jeśli pilot nie dobierze poprawnie tego kąta?

Odpowiedź na pytanie pierwsze jest prosta. Na rysunku 1—42 widzimy, że kąt przechylenia zależy od stosunku siły odśrodkowej do ciężaru szybowca w krążeniu. Ponieważ siła odśrodkowa zależy — jak wiemy z nauki fizyki — od masy szybowca, jego prędkości i wielkości promienia krążenia:

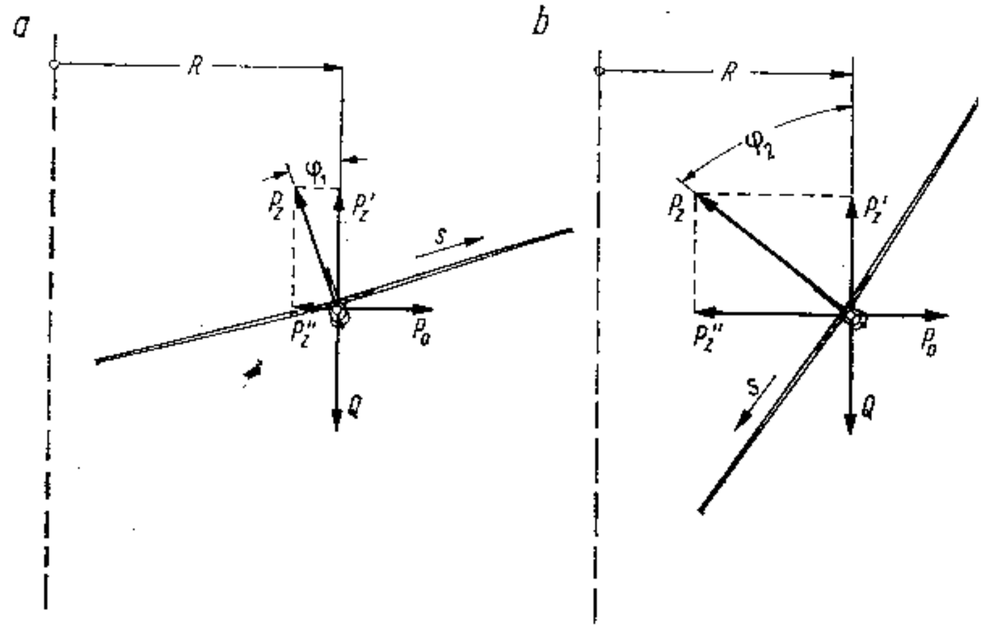
$$P_o = \frac{Q}{g} \cdot \frac{v_k^2}{R},$$

wspomniany wyżej stosunek:

$$\frac{P_o}{Q} = \mathrm{tg}\,\varphi = \frac{v_k^2}{g \cdot R}. \qquad (23)$$

Przechylenie więc szybowca rośnie w poprawnym krążeniu z kwadratem prędkości krążenia przy danym promieniu krążenia, oraz wzrasta w miarę zacieśniania promienia krążenia przy danej prędkości krążenia.

Aby odpowiedzieć na pytanie drugie, musimy wpierw narysować przypadki złego dobrania przez pilota kąta przechylenia szybowca w krążeniu. Przedstawia je rysunek 1—43.



Rys. 1—43. Sytuacja w zakręcie wykonywanym nieumiejętnie

a — zbyt małe przechylenie szybowca uniemożliwia zrównoważenie siły odśrodkowej P_0 przez składową poziomą siły nośnej P_z' w wyniku czego występuje tzw. wyślizg *s*, *b* — zbyt duże przechylenie szybowca wywołuje zbyt dużą składową poziomą siły nośnej P_z'', której nie jest w stanie zrównoważyć siła odśrodkowa P_0, w wyniku czego występuje tzw. ześlig *s*

W pierwszym z nich kąt przechylenia φ_1 jest za mały (rys. 1—43a). Wprawdzie pionowa składowa siły nośnej równoważy ciężar szybowca, ale mała składowa pozioma tej siły nie jest w stanie pokonać siły odśrodkowej. „Wyciąga" ona jak gdyby szybowiec z krążenia, stąd nazwa w y ś l i z g.

Przypadek przeciwny przedstawia rysunek 1—43b. W tym przypadku składowa pozioma siły nośnej jest większa od siły odśrodkowej i „spycha" jak gdyby szybowiec w kierunku krążenia, stąd nazwa zjawiska z e ś l i z g.

Oba przypadki — oczywiście w pewnych granicach — nie są niebezpieczne. Występuje tylko wtedy boczny opływ kadłuba zwiększający opór szybowca, a więc zmniejszający jego doskonałość, a tym samym powiększający prędkość opadania. W takim właśnie celu wykorzystuje się np. ślizg w czasie podchodzenia do lądowania.

Znacznie niebezpieczniejsze jest przesadne zmniejszenie prędkości krążenia w dążeniu do zacieśnienia jego promienia. Łatwo można przekroczyć krytyczny kąt natarcia, z którym związane są pewne nieprzyjemne zjawiska — omówione w jednym z dalszych punktów.

15. Charakterystyka szybowca w krążeniu — — biegunowa optymalnego krążenia

W czasie krążenia szybowca zarówno obciążenie konstrukcji szybowca, jak i organizmu pilota jest większe niż w locie ślizgowym, ponieważ obaj poddani są działaniu dodatkowemu siły odśrodkowej. Miarą tego obciążenia jest stosunek siły nośnej skrzydła równoważącej zarówno ciężar, jak i siłę odśrodkową szybowca — do ciężaru szybowca. Stosunek ten zwany jest współczynnikiem obciążenia i oznaczany zazwyczaj literą *n*. W przypadku krążenia wynosi on:

$$n = \frac{P_z}{Q} = \frac{1}{\cos\varphi}. \tag{24}$$

Ponieważ — jak widzimy — istnieje ścisła zależność pomiędzy wielkością współczynnika obciążenia oraz kątem przechylenia w poprawnym krążeniu, do zależności (21) oraz (22) możemy wprowadzić wielkość współczynnika obciążenia z zależności (24). Otrzymujemy wtedy związek pomiędzy prędkościami lotu i opadania w krążeniu i locie ślizgowym zależnie od wielkości współczynnika obciążenia w krążeniu:

$$v_k = v\sqrt{n}, \tag{25}$$

$$w_k = w\sqrt{n^3}. \tag{26}$$

Pozwalają one na łatwe wyznaczenie na wykresie biegunowej prędkości szybowca obszaru możliwego krążenia.

Obszar ten został wyznaczony na rysunku 1—44 w sposób następujący: wstawiając do zależności (25) oraz (26) wielkość najmniejszej prędkości lotu ślizgowego v_{min} oraz wielkość towarzyszącej jej prędkości opadania szybowca $\overline{w}$ otrzymujemy zależności pozwalające na obliczenie najmniejszych prędkości krążenia oraz występujących wtedy prędkości opadania zależnie od wielkości współczynnika obciążenia w krążeniu:

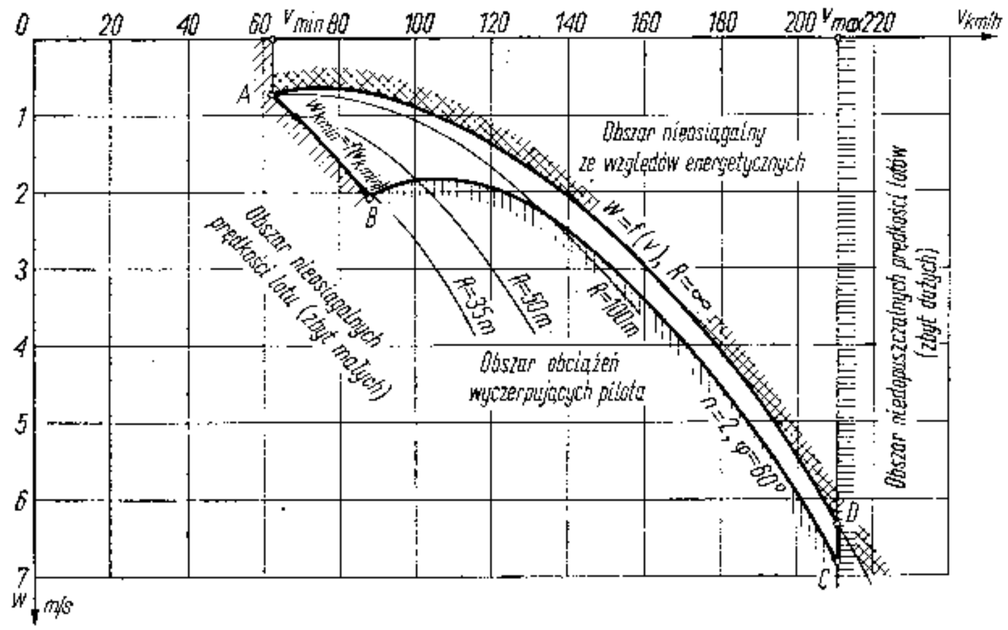
$$v_{k\,min} = v_{min}\sqrt{n}, \tag{25a}$$

$$\overline{w}_{k\,min} = \overline{w}\sqrt{n^3}. \tag{26a}$$

Wstawiając kolejno do tych zależności wartości współczynnika obciążenia możliwe do osiągnięcia w krążeniu, a następnie nanosząc na wykresie wyniki obliczeń otrzymaliśmy krzywą *A—B*, która rozgranicza pole wykresu biegunowej na:

— obszar możliwego krążenia (na prawo od krzywej *A—B*), w którym prędkości krążenia są wyższe od prędkości najmniejszych krążenia $v_{k\,min}$;

— obszar nieosiągalny w krążeniu (na lewo od krzywej *A—B*), zwany obszarem p r z e c i ą g n i ę c i a, w którym prędkości są mniejsze od najmniejszych osiągalnych w krążeniu.



Rys. 1—44. W układzie współrzędnych biegunowej prędkości szybowca istnieje ściśle określony obszar, w którym możliwy jest lot szybowca; krzywe wyznaczające ten obszar *A—B—C—D—A* noszą nazwę *charakterystyki szybowca*

Wstawiając do zależności (25) oraz (26) najwyższą wartość współczynnika obciążenia, którą może bez uszczerbku dla swego zdrowia znieść pilot w długotrwałym krążeniu, a następnie wstawiając do tak otrzymanych zależności kolejno prędkości lotu oraz odpowiadające im prędkości opadania szybowca z biegunowej prędkości lotu ślizgowego, otrzymujemy szereg punktów biegunowej prędkości szybowca krążącego ze stałym współczynnikiem obciążenia, co — jak wiemy — jest jednoznaczne z krążeniem ze stałym kątem przechylenia.

W naszym przypadku przyjęliśmy granicę współczynnika obciążenia, której przekroczenie wyczerpuje szybko pilota: $n = 2{,}0$.

Otrzymana na tej drodze biegunowa krążenia *B—C* rozgranicza również pole wykresu na dwa obszary:

— powyżej biegunowej — obszar możliwego krążenia, w którym występują współczynniki obciążenia o dopuszczalnej wartości;

— poniżej biegunowej — obszar krążenia, w którym następuje szybkie wyczerpanie pilota ze względu na wysokie obciążenia.

Oczywiście, gdybyśmy do wspomnianych zależności wstawili wartość współczynnika obciążenia, który nie może być przekroczony ze względu na wytrzymałość szybowca (najczęściej $n = 6$), poniżej biegunowej znajdowałby się obszar, w którym nie może się odbywać krążenie ze względu na możliwość zniszczenia szybowca.

Ponieważ biegunowa prędkości lotu ślizgowego *A—D* też rozgranicza pole wykresu na dwa obszary:

— powyżej niej obszar nieosiągalny w locie ślizgowym ze względów energetycznych (brak zespołu napędowego),

— poniżej niej obszar możliwego lotu,

wspomniane trzy krzywe wraz z prostą *C—D* (rozgraniczającą pole wykresu na obszar dopuszczalnych oraz obszar zbyt wysokich prędkości lotu niedopuszczalnych ze względów wytrzymałościowych) wyznaczają na wykresie biegunowej obszar *A—B—C—D—A*, w którym możliwe lub dopuszczalne jest krążenie.

Wewnątrz tego obszaru krążenie odbywa się z różnymi kątami przechylenia. Moglibyśmy podobnie jak zrobiliśmy to dla $n = 2{,}0$ celem otrzymania krzywej *B—C*, wstawiać kolejno do zależności (25) oraz (26) wartości współczynnika obciążenia zawarte pomiędzy $n = 1$ a $n = n_{dop}$ i przeliczyć biegunową prędkości lotu ślizgowego na pęk biegunowych krążenia z różnymi kątami przechylenia. Pilota nie interesuje jednak w zasadzie wielkość kąta przechylenia. Dobiera go tak, aby szybowiec krążył ciasno i w miarę możliwości poprawnie. Interesuje go natomiast bardzo wielkość promienia krążenia i występująca wtedy prędkość opadania, a więc — interesuje go pęk biegunowych krążenia wzdłuż torów o różnych promieniach krążenia.

Dotychczasowe nasze wiadomości pozwalają na wyznaczenie takich biegunowych. Wykorzystując znaną z trygonometrii zależność pomiędzy cosinusem a tangensem jakiegoś kąta, zależności (23) oraz (24) pozwalają na znalezienie związku pomiędzy współczynnikiem obciążenia, prędkością krążenia oraz promieniem toru:

$$n = \sqrt{\left(\frac{v_k^2}{R \cdot g}\right)^2 + 1}\,. \qquad (27)$$

Za pomocą powyższej zależności oraz zależności (25) i (26) obliczyliśmy i wkreśliliśmy na rysunku 1—44 w obszar krążenia pęk biegunowych dla różnych promieni krążenia. Są one, w porównaniu do biegunowych krążenia ze stałym kątem przechylenia, bardzo strome. W zakresie małych promieni krążenia najmniejsza prędkość opadania występuje przy najmniejszej prędkości krążenia, ponieważ zanikł na tych biegunowych charakterystyczny wierzchołek odpowiadający prędkości ekonomicznej. Optymalne więc krążenie, w którym pilot dąży do osiągnięcia najmniejszego opadania przy danym promieniu krążenia, odbywa się przy najmniejszej prędkości krążenia — a więc wzdłuż krzywej *A—B*.

Zależność prędkości opadania od promienia krążenia w czasie wspomnianego wyżej krążenia optymalnego nazywa się — przez analogię do biegunowej prędkości — b i e g u n o w ą o p t y m a l n e g o k r ą ż e n i a. Przedstawia ją rysunek 1—45, sporządzony na podstawie c h a r a k t e r y s t y k i s z y b o w c a w k r ą ż e n i u, ponieważ taką nazwę nosi układ krzywych na rysunku 1—44.

Biegunowa optymalnego krążenia wraz z biegunową prędkości szy-

bowca pozwalają na obiektywną ocenę jakości szybowca. Im bardziej płaskie są obie te biegunowe, tym szybowiec jest lepszy.

Biegunową optymalnego krążenia można otrzymać wprost z biegunowej prędkości lotu ślizgowego, jeżeli nie interesuje nas pełna charakterystyka szybowca w krążeniu. W tym celu z zależności (27) obliczamy promień krążenia:

$$R = \frac{v_k^2}{g\sqrt{n^2-1}}.$$

Ponieważ w optymalnym krążeniu prędkości wzdłuż toru i opadania zmieniają się po krzywej *A—B* charakterystyki krążenia, prędkość krążenia, możemy wyrazić za pomocą zależności (25a), natomiast wielkość występującego wtedy współczynnika obciążenia za pomocą zależności (26a). Wstawiając je do ostatnio podanej zależności na wielkość promienia krążenia, otrzymujemy ostatecznie:

$$R = \frac{v^2_{\min}}{g\sqrt{1-\sqrt[3]{\left(\frac{\overline{w}}{w_{k\,\min}}\right)^4}}} = \frac{V^2_{\min}}{K}, \qquad (28)$$

gdzie:

R = promień krążenia optymalnego w m,
$v_{\min}$ = najmniejsza prędkość lotu ślizgowego w m/s,
$\overline{w}$ = prędkość opadania szybowca w locie ślizgowym z prędkością $v_{\min}$,
$w_{k\,\min}$ = prędkość opadania szybowca w krążeniu optymalnym wzdłuż toru o promieniu R.

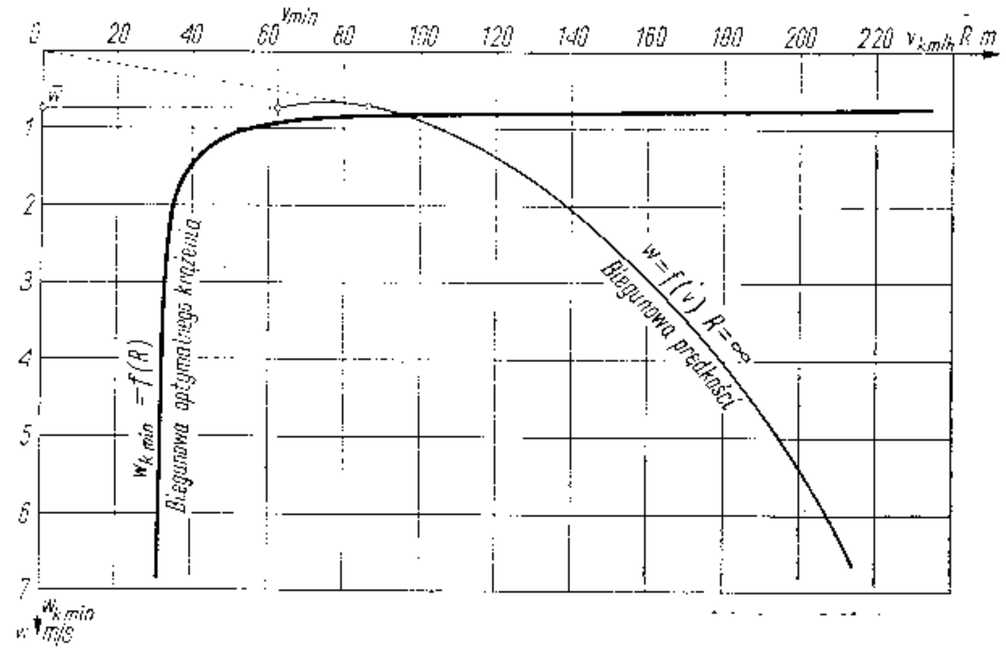
Dla łatwiejszego korzystania z zależności (28) w tablicy 2 zestawiono wielkości mianownika K zależnie od stosunku prędkości opadania.

Wielkości mianownika K — Tablica 2

$\frac{w_{k\,\min}}{\overline{w}}$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,25	1,50	2,00	3,00	5,00	10,00
K	0,00	2,44	3,38	4,05	4,97	6,33	7,62	8,60	9,21	9,56

Z zależności tej możemy wyciągnąć wiele wniosków. Przede wszystkim widzimy, jak wielką rolę odgrywają w krążeniu: najmniejsza prędkość lotu i towarzysząca jej prędkość opadania. Im są one mniejsze, tym ciaśniej krąży szybowiec przy danym opadaniu, lub krążąc po tym samym torze — ma mniejszą prędkość opadania.

Przypominając sobie z naszych poprzednich rozważań, jaki wpływ na prędkości w locie ślizgowym ma zmiana ciężaru szybowca, możemy na podstawie tej zależności stwierdzić, że:



Rys. 1—45. Biegunowa optymalnego krążenia, czyli zależność pomiędzy prędkością opadania szybowca a promieniem jego krążenia w czasie najpoprawniejszego krążenia

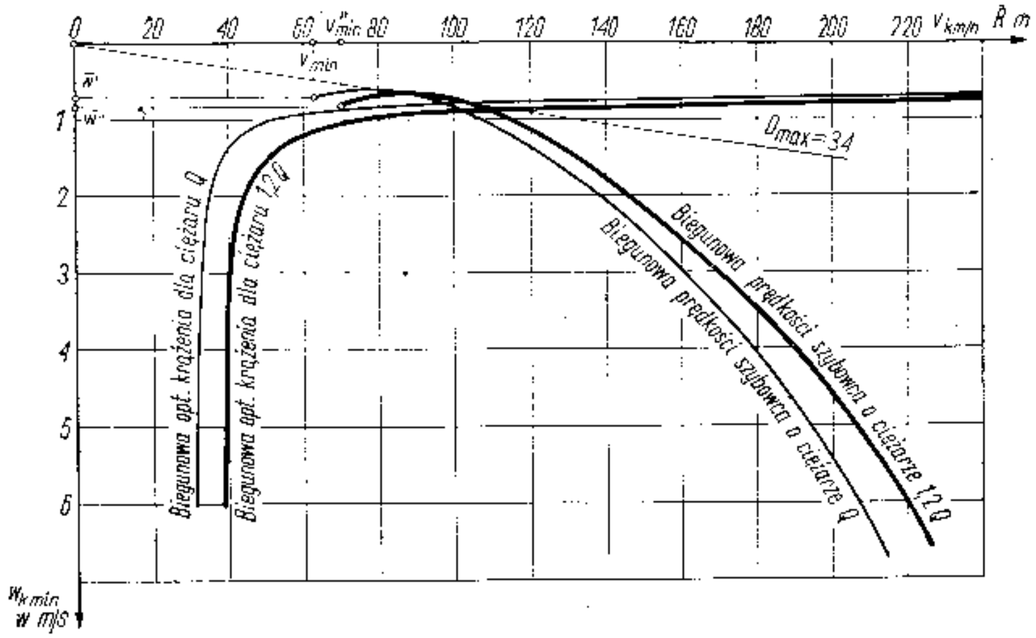
jeżeli podwyższymy ciężar szybowca o X%, to o $\frac{X}{2}$% zmienią się jego prędkości, w wyniku czego w optymalnym krążeniu wzrosną prędkości opadania $\frac{X}{2}$% przy równoczesnym wzroście promienia krążenia o X%.

Za pomocą tego właśnie prawa przeliczyliśmy i zestawiliśmy na rysunku 1—46 biegunowe optymalnego krążenia szybowca przed i po podwyższeniu jego ciężaru o 20%. Wykorzystaliśmy do tego biegunową z rysunku 1—45. Z zestawienia tego widzimy, jak drogo musimy opłacać poprawianie biegunowej prędkości w zakresie dużych prędkości na drodze podwyższania obciążenia jednostkowego skrzydeł.

Wspomnieliśmy poprzednio, że celem poprawienia własności szybowca w krążeniu stosuje się w przypadku dużych obciążeń jednostkowych tzw. klapy wysklepiające. Podwyższają one $c_{z\,\max}$, a więc obniżają najmniejszą prędkość lotu, ale równocześnie podwyższają opór szybowca, a więc podwyższają prędkość opadania $\overline{w}$.

Zastanówmy się, w jakim przypadku klapy będą korzystne?

Wyobraźmy sobie, że dla poprawienia krążenia szybowca, któremu podnieśliśmy ciężar w locie o 20% na rysunku 1—46, zastosowaliśmy klapy zmniejszające jego prędkość $v_{\min}$ o 10% — to jest do wielkości poprzedniej, gdy ciężar szybowca był mniejszy. Niestety nie potrafimy równocześnie zmniejszyć jego prędkości opadania $\overline{w}$. Będzie ona

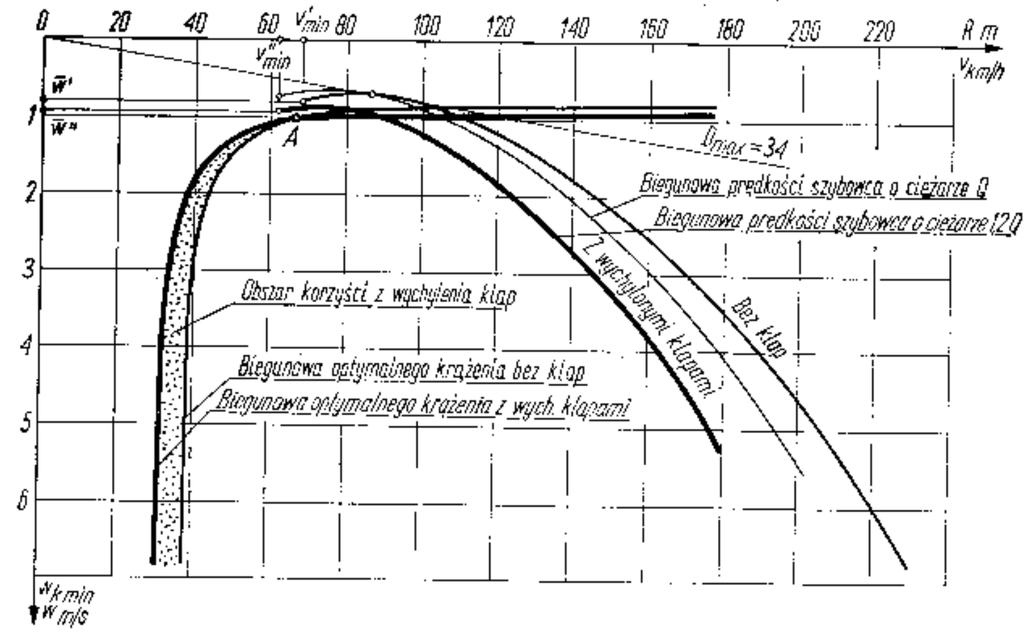


Rys. 1—46. Wpływ zmiany ciężaru szybowca na przebieg biegunowej jego optymalnego krążenia

większa od poprzedniej, nie tylko z powodu zwiększenia obciążenia, co spowodowało 10% wzrost, ale jeszcze z powodu wzrostu oporu wywołanego wychyleniem klap. Przyjmijmy, że ten dodatkowy przyrost prędkości opadania wyniesie 15%. W sumie więc prędkość opadania szybowca o zwiększonym ciężarze i z wychylonymi klapami będzie większa od prędkości opadania szybowca o mniejszym ciężarze i bez klap — o 25%. Wobec tego, przy tych samych promieniach krążenia — jak widać z zależności (28), prędkość opadania w optymalnym krążeniu obu szybowców będzie się różnić również o 25% na niekorzyść szybowca cięższego, co zresztą widać wyraźnie na rysunku 1—47.

Klapy nie są więc w stanie zrekompensować strat w krążeniu wywołanych powiększeniem ciężaru szybowca. Są one jedynie w stanie poprawić własności krążenia szybowca ciężkiego w porównaniu do tego samego szybowca bez klap — i to tylko w tym przypadku, gdy punkt A przecięcia się obu biegunowych krążenia — bez klap i z klapami — będzie się znajdował w obszarze możliwego względnie dopuszczalnego krążenia. Jak bowiem widzimy z rysunku 1—47, idąc od wspomnianego punktu począwszy w kierunku mniejszych promieni krążenia, prędkości opadania szybowca z wychylonymi klapami są mniejsze niż prędkości opadania szybowca bez klap. Dla promienia krążenia powyżej wspomnianego punktu przecięcia biegunowych szybowiec z wychylonymi klapami jest gorszy od szybowca bez klap.

W naszych rozważaniach o krążeniu przewijało się stale pojęcie dopuszczalnego współczynnika obciążenia w krążeniu. Im może on być



Rys. 1—47. Wpływ wychylenia klap wysklepiających na przebieg biegunowej optymalnego krążenia szybowca

wyższy, tym można danym szybowcom ciaśniej krążyć. Jego wielkość zależy od wielu czynników, które mają wpływ na zmęczenie pilota. Niestety nie możemy poświęcić tutaj temu zagadnieniu więcej miejsca. Ograniczymy się jedynie do stwierdzenia, że zależy on od:

— pozycji pilota w kabinie (im bardziej leżąca, tym lepiej);
— gradientu sił na sterownicy (im mniejsze, tym mniej męczą pilota);
— wrażliwości szybowca na przeciągnięcie;
— pobudliwości szybowca w burzliwym powietrzu;
— sterowności szybowca oraz wielu innych, pozornie drobnych spraw, jak np. wentylacji itp.

Wspomniane objawy zmęczenia pojawiają się w długotrwałym krążeniu już przy przechyleniu o 45°, co odpowiada współczynnikowi obciążenia $n = 1{,}4$. Za górną granicę można przyjąć $n = 2{,}0$, który to współczynnik odpowiada kątowi przechylenia około 60°.

16. Lot w zakresie nadkrytycznych kątów natarcia — — korkociąg

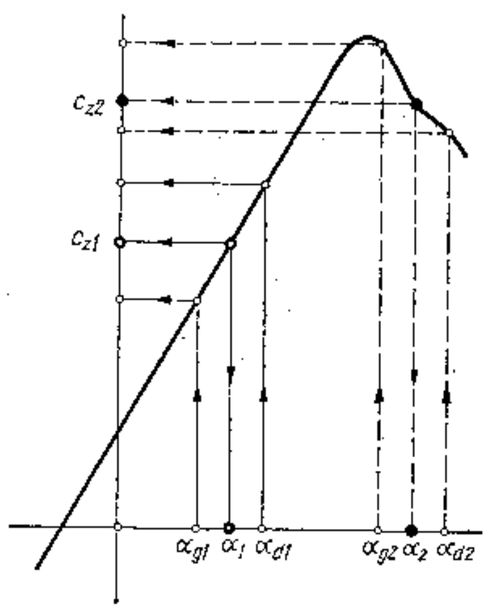
W dotychczasowych naszych rozważaniach omówiliśmy przypadki lotu szybowca, w których współczynnik siły nośnej skrzydła zmieniał się od $c_z = 0$ do $c_z = c_{z\,max}$. W pierwszym przypadku był to pionowy lot nurkowy, w drugim — lot z najmniejszą prędkością, a więc lądowa-

nie lub optymalne krążenie. Pomiędzy tymi granicznymi przypadkami znajdował się obszar krążenia i lotu ślizgowego.

Dla otrzymania pełnego obrazu musimy poświęcić kilka słów przypadkom lotu na kątach natarcia, dla których współczynnik siły nośnej jest mniejszy od zera oraz na kątach natarcia większych od kąta krytycznego α_{kr}, dla którego — jak już wspomnieliśmy na wstępie — współczynnik siły nośnej osiąga swą największą wartość.

Współczynniki siły nośnej mniejsze od zera — a więc wartości ujemne — występują w zakresie ujemnych kątów natarcia, jak widać to z wykresów na rysunku 1—10. Siła nośna jest wtedy skierowana w dół profilu. Lot jest więc możliwy jedynie w pozycji odwróconej, plecowej. Można dla takiego przypadku obliczyć i wykreślić biegunową prędkości lotu ślizgowego, obszar krążenia, biegunową optymalnego krążenia itd. Oczywiście wykonuje się to jedynie dla szybowców, dla których przewiduje się lot plecowy — np. dla szybowców akrobacyjnych. Im profil skrzydła bardziej odbiega od profilu symetrycznego, tym różnice pomiędzy własnościami szybowca w locie normalnym i plecowym są wyraźniejsze, ale przebieg zjawisk jest w obu przypadkach jednakowy.

Nieco inaczej przedstawia się sprawa w zakresie nadkrytycznych kątów natarcia. Wprawdzie tam również można, na podstawie biegunowej aerodynamicznej oraz za pomocą zależności (11) i (12), obliczyć prędkości lotu ślizgowego oraz towarzyszące im prędkości opadania — stosunkowo duże ze względu na wysoki opór szybowca — i lot taki można rzeczywiście kontynuować, ale nie jest to stan normalny.



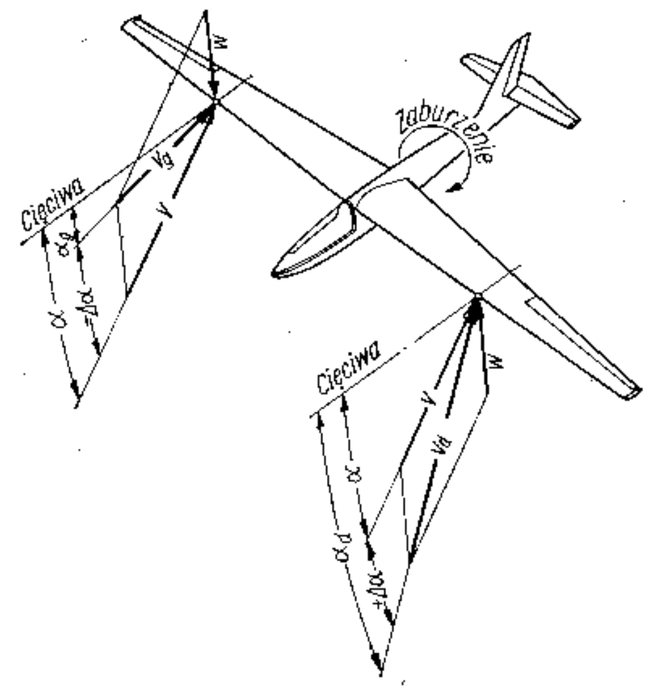
Rys. 1—48. Wpływ zmiany kąta natarcia skrzydła na wielkość jego współczynnika siły nośnej w zakresie pod- i nadkrytycznym

Aby zrozumieć na czym polega ta anormalność, musimy powrócić do zależności wielkości współczynnika siły nośnej od kąta natarcia przedstawionej ponownie na rysunku 1—48.

Wyobraźmy sobie, że szybowiec (rys. 1—49) lecąc lotem ślizgowym z prędkości v na kącie natarcia α zaczął pod wpływem podmuchu powietrza przechylać się w kierunku lewego skrzydła. Skrzydło prawe i lewe, które do tej pory odmuchiwane były strumieniem powietrza pod jednakowym kątem natarcia, zaczynają być odmuchiwane pod różnymi kątami — ponieważ skrzydło lewe jest dodatkowo odmuchiwane od dołu, zaś skrzydło prawe od góry.

Stan taki przedstawia właśnie rysunek 1—49. Widzimy na nim, że kąt natarcia skrzydła obniżającego się α_d wzrósł, natomiast zmalał kąt natarcia α_g skrzydła przechylającego się ku górze.

Zmiana kątów natarcia wywołuje oczywiście zmianę współczynników siły nośnej, a te zmieniają wielkość siły nośnej na skrzydle. Jak długo lot odbywa się w zakresie podkrytycznych kątów natarcia (np. α_1 na

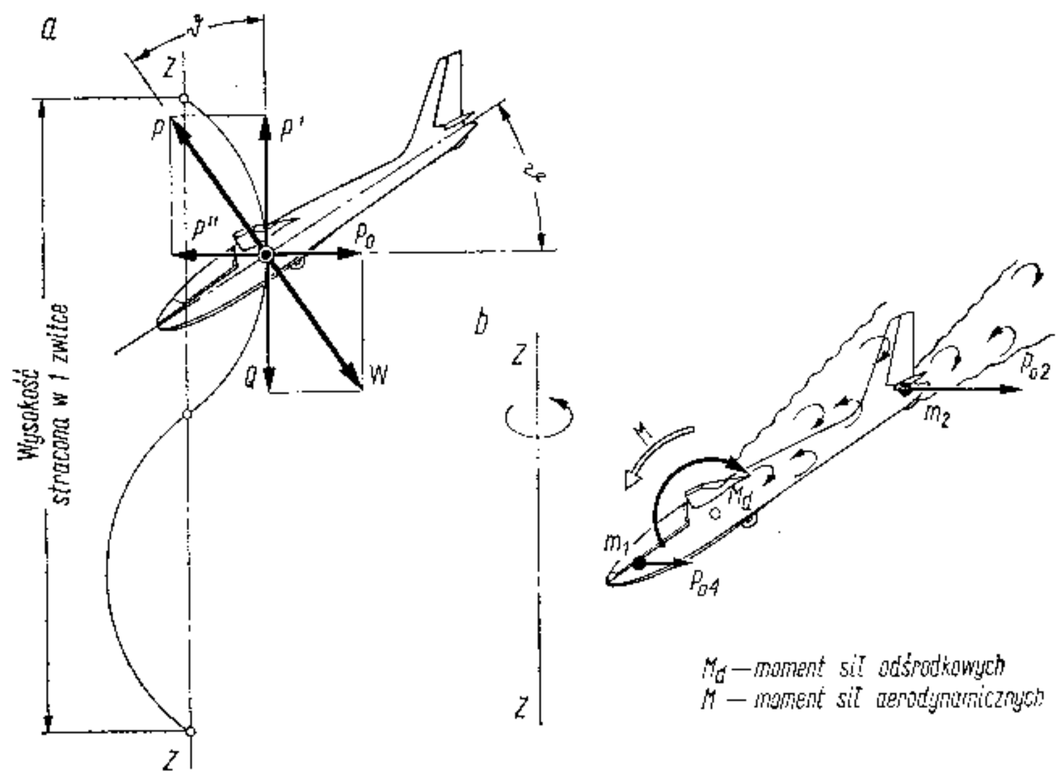


Rys. 1—49. Zjawisko pojawiania się różnych kątów natarcia na prawym i lewym skrzydle w wyniku przechylania się szybowca

rys. 1—48), tak długo zmiany te są korzystne. Zwiększający się kąt natarcia skrzydła obniżającego się zwiększa na nim siłę nośną, zmniejszający się kąt natarcia skrzydła przechylającego się ku górze zmniejsza jego siłę nośną. W efekcie występuje przeciwdziałanie przechylaniu się skrzydła bez współudziału pilota — szybowiec sam przeciwstawia się zaburzeniom równowagi poprzecznej.

Inaczej zachowuje się szybowiec w zakresie nadkrytycznych kątów (np. α_2 na rys. 1—48). Tutaj, z rosnącym kątem natarcia zmniejszają się współczynniki siły nośnej. Na skrzydle obniżającym się występuje zmniejszenie siły nośnej, natomiast na przechylającym się ku górze jej zwiększenie. Szybowiec nie tylko nie przeciwstawia się zaburzeniu, ale wytrącony z położenia poziomego doznaje dalszego impulsu do obracania się dokoła osi kadłuba. Występuje zjawisko tzw. autorotacji, któremu pilot musi przeciwdziałać.

Stanu tego nie można nazwać normalnym, ponieważ chwila nieuwagi pilota może doprowadzić do przejścia szybowca w tzw. korkociąg. Na skrzydle obniżającym się występuje bowiem nie tylko zmniejszenie się siły nośnej, ale równocześnie wzrasta opór tego skrzydła, ponieważ współczynnik oporu stale wzrasta z rosnącym kątem natarcia. Zwaleniu się szybowca na skrzydło towarzyszy więc zawsze impuls do zmiany kierunku lotu. Jeżeli pilot nie zareaguje dostatecznie szybko i skutecznie, szybowiec przejdzie w niekontrolowany lot wzdłuż stromego toru spiralnego (rys. 1—50) zwany korkociągiem.



Rys. 1—50. Szybowiec w korkociągu

a — siły działające na szybowiec, *b* — momenty sił działających na szybowiec

Opisane zjawiska zostały przez pilotów w swoisty sposób nazwane. Zbliżanie się do krytycznego kąta natarcia nazywa się przeciąganiem, lot w zakresie nadkrytycznych kątów natarcia nosi nazwę lotu przeciągniętego, a towarzysząca mu duża prędkość opadania jest tonięciem. Jeżeli w tym stanie szybowiec wykazuje małą skłonność do autorotacji, to tonie brzuchem, jeżeli dużą — to zwija się, w wyniku czego wali się w korkociąg.

Pomimo stosunkowo małych prędkości w korkociągu szybowiec traci

szybko wysokość, ponieważ porusza się wzdłuż stromego toru spiralnego. Wysokość utracona w jednej zwitce zależy od własności szybowca w korkociągu i wynosi około 50 do 70 m. Nic więc dziwnego, że niezamierzony przez pilota korkociąg — zwłaszcza na małej wysokości — bywa przyczyną wielu wypadków.

Można — oczywiście — tak skonstruować szybowiec, aby nie wykonywał on korkociągu w ogóle. Wystarczy np. ograniczyć wychylenie steru wysokości tak, aby szybowiec nie mógł przekroczyć krytycznego kąta natarcia, a więc aby nie mógł być spełniony konieczny warunek do powstawania omawianego stanu lotu. Nie stosuje się jednak tego, ponieważ praktyka wykazała, że:

— korkociąg nie jest niebezpieczny, jeżeli szybowiec daje się z niego łatwo wyprowadzić;
— pilot może łatwo nie dopuścić do korkociągu, jeżeli szybowiec ostrzega go przed przeciągnięciem;
— korkociąg może być wykorzystywany przez pilota do bezpiecznego opuszczania chmur w przypadku utraty panowania nad szybowcem.

Stopień trudności przy wyprowadzaniu szybowca z korkociągu zależy od wielu czynników, które mają wpływ na rodzaj wykonywanego wtedy przez szybowiec ruchu. Okazało się mianowicie, że szybowiec może wykonywać tzw. stromy korkociąg, w którym kąt pochylenia kadłuba względem ziemi jest duży, stosunkowo wysoka jest również prędkość wzdłuż toru, a mała prędkość obrotowa, albo może wykonywać tzw. korkociąg płaski, w którym kąt pochylenia i prędkość wzdłuż toru są małe, natomiast wyższa jest prędkość obrotowa. Wyprowadzenie szybowca z korkociągu płaskiego jest trudniejsze niż wyprowadzenie z korkociągu stromego, ponieważ mniejsza wtedy prędkość szybowca wzdłuż toru oraz zacienienie usterzeń szybowca wirami odrywającymi się ze skrzydeł zmniejsza ich skuteczność. Opóźnienie wyprowadzenia od momentu zareagowania pilota może dojść do kilku zwitek albo może nawet nie nastąpić w ogóle, tak że pilot musi ratować się za pomocą spadochronu.

Jak już wspomnieliśmy, na zachowanie się szybowca w locie przeciągniętym oraz w korkociągu ma wpływ wiele czynników. Omówimy teraz najważniejsze z nich.

Kształt profilu skrzydła ma wpływ na przebieg krzywej $c_z = f(\alpha)$ w nadkrytycznym zakresie kątów natarcia. U jednych profili spadek współczynnika siły nośnej powyżej $c_{z\,max}$ następuje gwałtownie, jak gdyby krzywa urywała się, u innych przebieg jest łagodny. Zależy to od promienia krzywizny krawędzi natarcia profilu, jego grubości, liczby *Re*, szorstkości powierzchni skrzydła itd. Im wspomniany przebieg jest łagodniejszy, tym mniejszą tendencję okazuje skrzydło do autorotacji oraz tym zjawiska związane z przeciągnięciem są łagodniejsze.

Obrys skrzydła ma wpływ na rozkład siły nośnej wzdłuż jego rozpiętości, a więc i na rozkład współczynników siły nośnej. Jedynie w przy-

padku obrysu eliptycznego rozkład siły nośnej jest taki, że wzdłuż całej rozpiętości skrzydła współczynniki siły nośnej są takie same. W przypadku najczęściej stosowanych obrysów trapezowych i prostokątno-trapezowych rozkład siły nośnej jest taki, że na końcach skrzydła współczynniki siły nośnej są wyższe niż w partiach przykadłubowych skrzydła. Końce skrzydła wchodzą więc pierwsze — w takim przypadku — w zakres nadkrytyczny, pojawia się tam skłonność do autorotacji przy równoczesnym zmniejszeniu się możliwości przeciwdziałania jej przez pilota, ponieważ lotki znajdują się w obszarze oderwania strug od skrzydła (patrz rys. 1—16). Szybowiec wykazuje dużą skłonność do „walenia" się w korkociąg i to oczywiście tym większą, im większa część końców skrzydła objęta jest oderwaniem.

Z w i c h r z e n i e m s k r z y d ł a nazywamy skręcenie jego końcowych profili względem profili przykadłubowych. Stosując zwichrzenie ujemne, to znaczy nadając końcowym profilom mniejsze kąty natarcia niż profilom przykadłubowym, możemy otrzymać taki rozkład współczynników siły nośnej wzdłuż rozpiętości skrzydła, że przykadłubowe partie skrzydła pierwsze wchodzą w zakres nadkrytyczny. Na końcach skrzydła nie występuje wówczas jeszcze tak duże oderwanie strug, aby lotki utraciły swą skuteczność, pilot może przeciwdziałać tendencjom do autorotacji i szybowiec przyjemnie „tonie brzuchem".

Wspomniany wyżej korzystny rozkład siły nośnej wzdłuż rozpiętości daje jeszcze dodatkową korzyść. Ponieważ w zakres nadkrytyczny wchodzą wpierw partie przykadłubowe skrzydła, a jak wiemy towarzyszy temu oderwanie się od niego strug, wiry wpadają na usterzenia i trzęsąc nimi ostrzegają pilota, że zbliża się możliwość zwalenia się szybowca w korkociąg (patrz b a f f e t i n g — rozdział 2, pkt 12).

Wspomnieliśmy poprzednio, że istnieje możliwość zabezpieczenia szybowca przed korkociągiem na drodze ograniczenia wychylenia steru wysokości do takiej granicy, że nie jest on w stanie nadać szybowcowi kąta natarcia większego od krytycznego.

Stwierdzenie to można jeszcze rozszerzyć: ograniczając kąt natarcia szybowca w korkociągu, możemy wpływać w pewnej mierze na charakter korkociągu.

Nie można jednak tego dokonać jedynie przez zamontowanie na szybowcu ogranicznika wychyleń steru. Jak bowiem dowiemy się w naszych dalszych rozważaniach, temu samemu kątowi wychylenia steru może odpowiadać różny kąt natarcia zależnie od położenia środka ciężkości szybowca. Im środek ciężkości jest bardziej przesunięty do tyłu, tym szybowiec łatwiej daje się przeciągnąć. Ponieważ — jak również dalej dowiemy się — wraz z przesuwaniem środka ciężkości do tyłu zmniejsza się stateczność podłużna szybowca, korkociąg szybowca z tylnym położeniem środka ciężkości jest bardziej płaski, a więc niebezpieczniejszy. W tym właśnie tkwi przyczyna, dla której każdy szybowiec ma określone przez konstruktora skrajne tylne położenie środka

ciężkości, którego nie można bezkarnie przekroczyć, pomimo że w podkrytycznym zakresie kątów natarcia nic niebezpiecznego jeszcze się nie stanie.

Szybowiec obracając się w korkociągu usiłuje pod wpływem sił odśrodkowych przyjąć położenie jak najbardziej płaskie. Widać to na rysunku 1—50b, na którym całą masę szybowca rozłożyliśmy na dwie masy. Jedną m_1 skupioną w przedniej części kadłuba, drugą m_2 skupioną w okolicy usterzeń. Ponieważ masa m_2 znajduje się dalej od osi obrotu niż masa m_1, działa na nią większa siła odśrodkowa, dając w wyniku tendencję do ustawienia szybowca poziomo.

Tendencji tej przeciwstawiają się siły aerodynamiczne, które dążą do tego, aby szybowiec przyjął takie położenie, jakie wynika z wychylenia steru wysokości. Im wspomniane siły odśrodkowe są większe, tym łatwiej pokonają siły aerodynamiczne i dadzą w wyniku bardziej płaski korkociąg. Wielkość ich zależy oczywiście od sposobu rozłożenia masy szybowca wzdłuż osi kadłuba. Im masa jest bardziej skupiona w pobliżu środka ciężkości, tym siły odśrodkowe są mniejsze i bardziej stromy korkociąg, im — natomiast — masy bardziej rozrzucone, tym siły są większe i bardziej płaski korkociąg.

Nie bez wpływu na korkociąg jest wzajemne usytuowanie usterzeń na szybowcu. Pozostawanie usterzeń w obszarach zawirowań wywołanych przez sąsiednie elementy zmniejsza ich skuteczność i opóźnia efekt reakcji pilota. Również stopień i kierunek wychylenia sterów, a szczególnie lotek, ma wpływ na charakter korkociągu. Wychylenia te wraz z obrysem kadłuba z boku wpływają na położenie szybowca względem osi spirali korkociągu, wskutek czego bryła szybowca jako całość opływana może być różnie, ułatwiając lub utrudniając wyprowadzenie z korkociągu. W przypadku szybowców — w odróżnieniu od samolotów — zgodne wychylenie lotek z kierunkiem korkociągu wpływa najczęściej na jego ustalenie się, natomiast niezgodne przeciwdziała korkociągowi.

Na zakończenie naszych rozważań o korkociągu musimy poświęcić kilka słów sposobom jego przerwania.

Ponieważ korkociąg jest zjawiskiem związanym z lotem w nadkrytycznym zakresie kątów natarcia, wyprowadzenie szybowca z niego polega na wprowadzeniu szybowca w zakres normalnych kątów natarcia. Dokonuje się to najczęściej przez:

— pełne wychylenie steru kierunku w stronę przeciwną do kierunku korkociągu, aby zwolnić nieco obracanie się szybowca;
— „oddanie" drążka sterowego od siebie z równoczesnym doprowadzeniem lotek do położenia neutralnego,
— przy czym ważna jest wyżej podana kolejność czynności.

W przypadku korkociągu płaskiego, w czasie którego szybowiec najczęściej cyklicznie podnosi i opuszcza łeb w dół, drążek należy od-

dać w czasie opuszczania łba w dół, a więc w okresie samoczynnego zmniejszania kąta natarcia przez szybowiec.

Dobre własności w zakresie przeciągnięcia są często dla szybowców wyczynowych ważniejsze, niż zachowanie się szybowca w samym korkociągu. Z korkociągu korzysta pilot raczej rzadko i da sobie zawsze z nim jakoś radę. Natomiast z krążenia korzysta pilot stale, a wiemy, że optymalne krążenie odbywa się na granicy przeciągnięcia. Szybowiec łatwo „walący" się w krążeniu wyczerpuje pilota i właściwie uniemożliwia optymalne krążenie ponieważ straty wysokości spowodowane „waleniem" się są często większe niż zyski z ciasnego krążenia. W tym właśnie tkwi przyczyna, dla której konstruktorzy większą wagę przywiązują do zachowania się szybowca w czasie przeciągania niż w samym korkociągu.

17. Pojęcie stateczności statycznej i dynamicznej

Rozpatrując w naszych rozważaniach różne przypadki lotu zaczepialiśmy na naszych rysunkach wszystkie siły działające na szybowiec w jego środku ciężkości. Było to oczywiście uproszczenie pozwalające na rozpatrywanie równowagi siły tylko z tego punktu widzenia, czy siły znoszą się wzajemnie. Nie interesowaliśmy się wtedy tym, czy siły te — znosząc się nawet wzajemnie — nie chcą szybowca obracać w którąś stronę. Wyrażając się technicznie nie rozpatrywaliśmy równowagi momentów sił działających na szybowiec.

Zagadnieniem tym zajmuje się dział mechaniki lotu zwany s t a t e c z n o ś c i ą. Najczęściej szukamy odpowiedzi na trzy pytania:

— czy momenty sił działających na szybowiec równoważą się?
— jeżeli równoważą się, to czy jest to równowaga trwała?
— jak zachowuje się szybowiec, a w szczególności jak wygląda ruch szybowca po wytrąceniu go z położenia równowagi?

Aby otrzymać odpowiedź na dwa pierwsze pytania, problem możemy rozpatrywać w oderwaniu od czasu — „statycznie". Wystarczy stwierdzić, czy suma momentów sił działających na szybowiec względem jego środka ciężkości jest równa zeru i jaki moment pojawi się po wytrąceniu szybowca z położenia równowagi — przywracający szybowcowi poprzednie położenie, czy też jeszcze bardziej wytrącający go z niego.

Aby móc odpowiedzieć na drugie pytanie, musimy rozpatrywać zjawisko w czasie. Musimy śledzić jak zmieniają się siły i ich momenty po wytrąceniu szybowca z położenia równowagi, jak pod ich wpływem zmienia się tor lotu szybowca i czy jest on zdolny do tego, aby samemu powrócić do poprzedniego stanu lotu. Zjawisko rozpatrujemy „dynamicznie" — w czasie.

Zgodnie z tym cały problem stateczności podzielono na dwie części:

— s t a t e c z n o ś ć s t a t y c z n ą — pozwalającą stwierdzić, czy szybowiec znajduje się w równowadze i czy ma tendencję do jej zachowania;
— s t a t e c z n o ś ć d y n a m i c z n ą — pozwalającą stwierdzić, czy szybowiec jest w stanie powrócić do położenia równowagi po wytrąceniu go z niego.

Aby w dalszych naszych rozważaniach móc mieć wspólny język, omówimy na prostym przykładzie wprowadzone wyżej pojęcia.

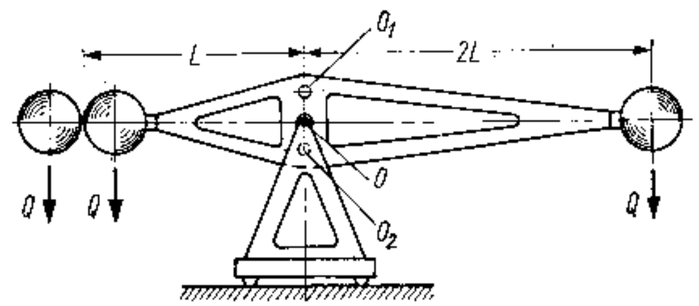
Wyobraźmy sobie pewnego rodzaju wagę (rys. 1—51), na której dłuższym ramieniu znajduje się kula o ciężarze Q, na końcu natomiast krótszego jej ramienia znajdują się dwie identyczne kule. W ramieniu wagi wykonane zostały trzy otwory dla jej zawieszania: pierwszy na linii łączącej środki ciężkości kul, drugi i trzeci — powyżej oraz poniżej tej linii.

Jeżeli waga ta ma być w stanie równowagi w pewnym położeniu, to wspomniane otwory muszą dzielić ramię wagi tak, aby ramię długie było dwukrotnie dłuższe od krótkiego, ponieważ tylko wtedy momenty ciężarów kul wzajemnie równoważą się. W ten sposób możemy stwierdzić, że układ znajduje się w równowadze. Nie wiemy jednak, czy jest to stan równowagi trwałej, obojętnej, czy też chwiejnej.

Wiemy z codziennego doświadczenia, że jeżeli podeprzemy taką wagę w otworze O przechodzącym przez środek ciężkości wszystkich kul, to będzie ona stale w równowadze — jakkolwiek ją się obróci. W takim przypadku będziemy mówili o równowadze obojętnej.

Jeżeli zawiesimy ją na otworze górnym O_1, jak są zawieszone normalne wagi, to ma ona zdecydowane położenie równowagi. Wytrącona z tego położenia, dąży do niego z powrotem. Jest to więc przykład równowagi trwałej.

Można sobie wyobrazić, że omawianą wagę zawiesiliśmy na otworze dolnym O_2. Przy odrobinie wprawy można ją ustawić poziomo w położeniu równowagi. Ale wystarczy najmniejsze drgnięcie, aby



Rys. 1—51. Waga o trzech położeniach osi wahania jako przykład różnych przypadków równowagi

oś O — równowaga obojętna, oś O_1 — równowaga trwała, oś O_2 — równowaga chwiejna

przewróciła się ona natychmiast „do góry nogami". Był to bowiem stan równowagi chwiejnej.

Jak widzimy, aby odpowiedzieć na pytanie dotyczące rodzaju równowagi, wystarczy w naszym przykładzie stwierdzić, gdzie znajduje się oś obrotu wagi w stosunku do jej środka ciężkości.

Gdybyśmy jednak chcieli odpowiedzieć na pytanie, co się dzieje z wagą mającą równowagę trwałą po wytrąceniu jej z położenia równowagi, musielibyśmy rozpatrzyć zjawisko w czasie. Spotykamy się z nim codziennie i w tym przypadku jest ono dla nas oczywiste. Każdy odpowie, że po kilku wahnięciach waga się sama uspokoi. Technik stwierdzi, że waga ma równowagę statyczną i dynamiczną, i że gdyby tłumienie wahań wagi było zwiększone, np. przez zanurzenie jej w oleju, to szybciej by się uspokoiła. Wyższa byłaby jej stateczność dynamiczna.

Ale problem nie zawsze jest taki prosty. W przypadku szybowca, który ma równowagę trwałą — co krótko stwierdzamy, że jest statycznie stateczny — może zajść przypadek tak energicznego powracania do położenia równowagi, że wahania nie tylko nie będą zanikać, ale mogą wzmagać się. Siły aerodynamiczne działają bowiem w bardziej złożony sposób niż omawiane wyżej siły ciężkości. Szybowiec taki, pomimo posiadania stateczności statycznej, jest dynamicznie niestateczny.

Ze względu na bezpieczeństwo lotu wymaga się od szybowca, aby bezwzględnie był stateczny statycznie i dąży się do tego, aby był również stateczny dynamicznie. Jeżeli z jakichś ważnych względów konstrukcyjnych nie można osiągnąć stateczności dynamicznej w pełnym zakresie prędkości, dopuszcza się najczęściej tylko małe objawy tej niestateczności. W dalszych naszych rozważaniach wspomnimy, kiedy możemy pójść na takie ustępstwo.

18. Stateczność statyczna szybowca

Ruch szybowca w przestrzeni jest najczęściej bardzo złożony. Gdybyśmy chcieli rozpatrywać go w całości, byłoby trudno ująć go w jakieś proste prawidła. Dlatego rozkładamy go na ruchy składowe. Tak na przykład, obrót szybowca w przestrzeni może być zawsze rozłożony na równoczesny obrót dokoła trzech wzajemnie prostopadłych osi, które przechodzą przez środek ciężkości szybowca (rys. 1-52). Obroty te nazwano:

— p r z e c h y l a n i e m — dokoła osi podłużnej *XX*,
— p o c h y l a n i e m — dokoła osi poprzecznej *YY*,
— o d c h y l a n i e m — dokoła osi pionowej *ZZ*.

Analogicznie rozdzielono problem stateczności statycznej na:

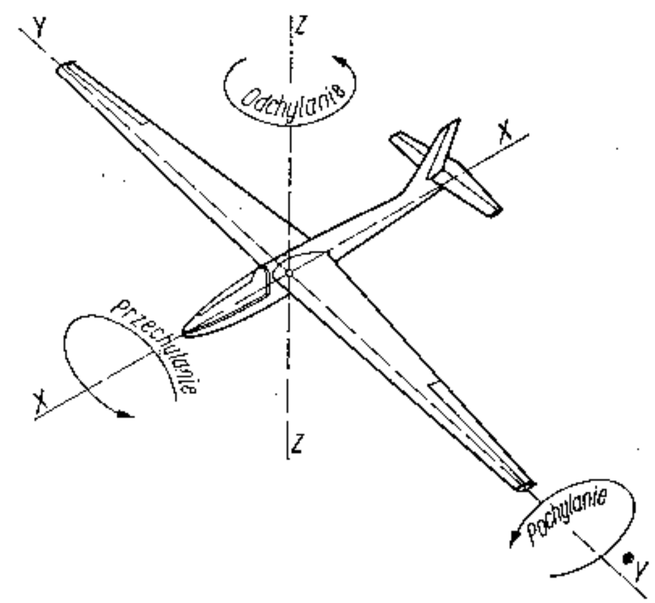
— stateczność statyczną p o p r z e c z n ą, zajmującą się przechylaniem,

— stateczność statyczną p o d ł u ż n ą, zajmującą się pochylaniem,
— stateczność statyczną k i e r u n k o w ą, zajmującą się odchylaniem szybowca w czasie jego lotu.

Poniżej omówimy warunki, które muszą być spełnione, aby szybowiec wykazywał każdą z wyżej wymienionych stateczności. Omówimy je kolejno, z tym że najpierw zajmiemy się statecznością statyczną poprzeczną i kierunkową, a na końcu omówimy stateczność statyczną podłużną, ponieważ jest ona najbardziej złożona.

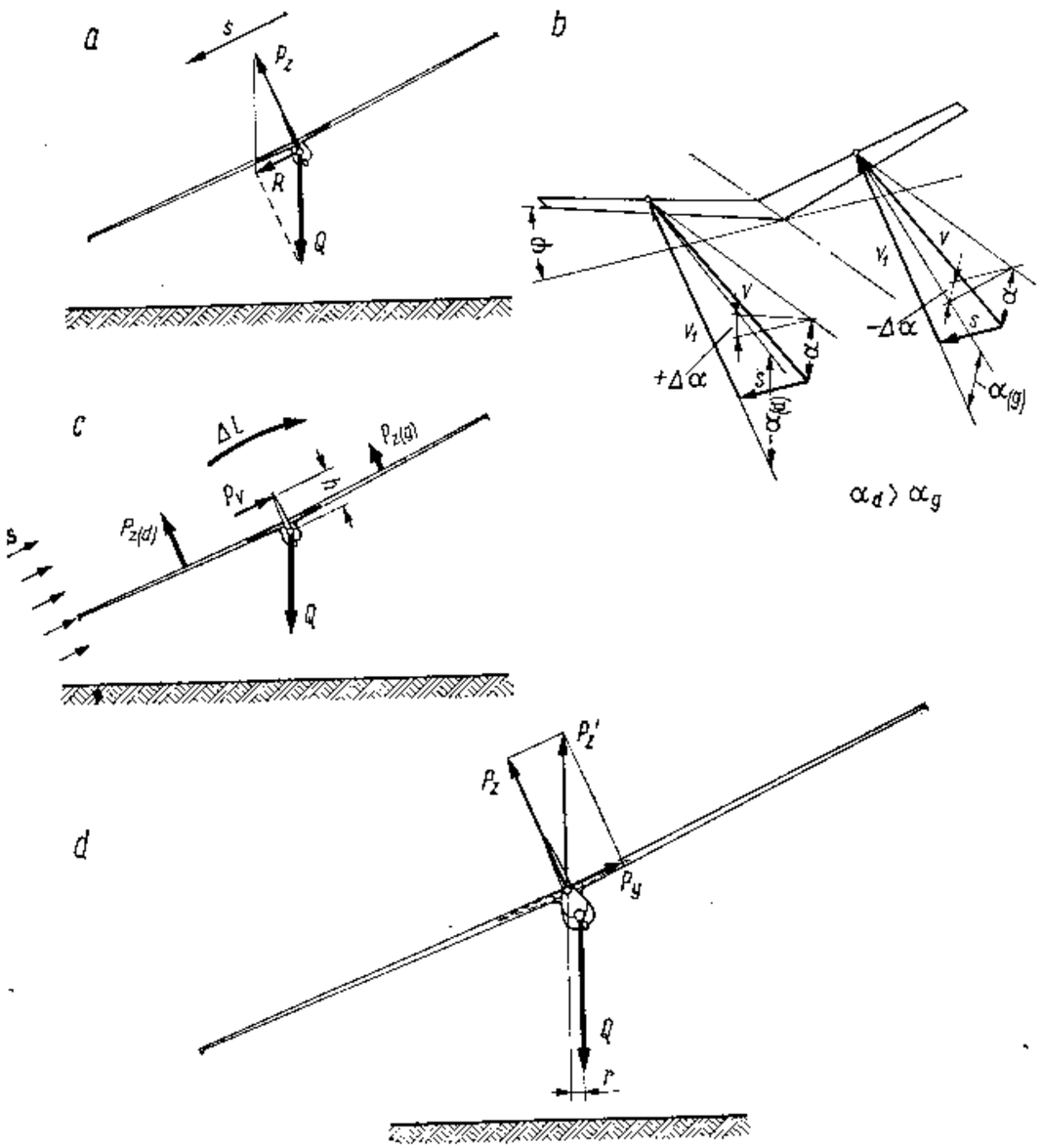
Każdy szybowiec wykazuje zdolność — w większym lub mniejszym stopniu — do samoczynnego powracania do poziomego położenia po wytrąceniu go z niego, np. wskutek podmuchu powietrza. Tę cenną właściwość uzyskuje szybowiec przede wszystkim dzięki zastosowaniu w z n i o s u s k r z y d e ł, zwanego dawniej u k ł a d e m V.

W momencie przechylenia się szybowca w locie prostoliniowym występuje jego ślizg w kierunku skrzydła przechylonego w dół. Do



Rys. 1—52. **Trzy osie XX, YY, ZZ, dokoła których szybowiec może obracać się w czasie lotu**

prędkości lotu dodaje się wtedy geometrycznie prędkość ślizgu, oznaczoną literą *s* (rys. 1—53a). Gdy skrzydło ma wznios, to wypadkowa prędkość powietrza v_1 tworzy z cięciwą profilu skrzydła przechylonego w dół większy niż przed ślizgiem kąt natarcia. Analogicznie dzieje się na skrzydle przechylonym do góry — kąt natarcia ulega na nim zmniejszeniu (rys. 1—53b). W efekcie otrzymujemy różnice siły nośnej na obu skrzydłach, które doprowadzają szybowiec do poziomego położenia (rys. 1—53c).



Rys. 1—53. Mechanizm samoczynnego powracania szybowca do poziomego położenia

a — przechylenie szybowca wywołuje ześlizg z prędkością *s*, *b* — wektor prędkości lotu v_1, otrzymanej z sumowania się prędkości lotu *v* z prędkością ześlizgu *s*, tworzy większy kąt natarcia z cięciwą skrzydła przechylonego w dół, a mniejszy kąt natarcia z cięciwą skrzydła przechylonego w górę, *c* — zmiana kątów natarcia wywołuje zmianę wielkości siły nośnej na obu skrzydłach, która wraz z siłą *Pv* na usterzeniu kierunku dąży do doprowadzenia szybowca do poziomego położenia, *d* — również 1 składowa siły nośnej *Pz'* działając na ramieniu *r* usiłuje doprowadzić szybowiec do położenia poziomego

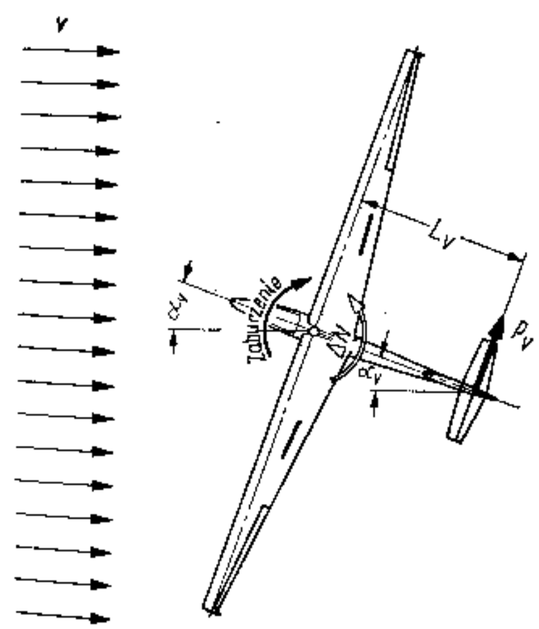
Nie bez wpływu na moment prostujący szybowiec w ślizgu jest również wysokie usterzenie kierunku. Boczny opływ tego usterzenia z prędkością *s* wywołuje na nim siłę P_v, która działając na pewnym ramieniu względem środka ciężkości szybowca „prostuje" go momentem ΔL (rys. 1—53c).

W przypadku górno- lub grzbietopłata dochodzi jeszcze do głosu „efekt wagi". Ponieważ szybowiec „wisi" na sile P_z' działającej w płaszczyźnie symetrii skrzydła, a ciężar szybowca Q działając na ramieniu *r* usiłuje doprowadzić go do położenia poziomego (rys. 1—53d).

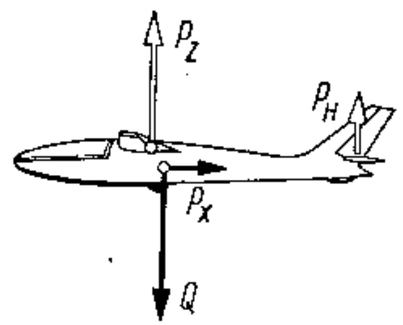
Usterzenie kierunku utrzymuje samoczynnie oś kadłuba szybowca w kierunku lotu, a więc zapewnia stateczność statyczną kierunkową szybowca. Gdyby bowiem jakieś zaburzenie odchyliło płaszczyznę symetrii szybowca od kierunku lotu — np. o kąt α_v (rys. 1—54), to usterzenie kierunku zacznie być opływane strumieniem powietrza pod tym samym kątem natarcia, wskutek czego na tym usterzeniu powstanie siła aerodynamiczna P_v, która działając na ramieniu L_v względem środka ciężkości szybowca, stworzy moment ustateczniający kierunkowo szybowiec usuwając wspomniane zaburzenie.

Rzut oka na rysunek 1—55, na którym pokazano sylwetkę boczną szybowca z siłami działającymi na niego w locie prostoliniowym ustalonym, pozwala stwierdzić, że siły te nie są rozłożone symetrycznie względem poprzecznej osi *YY* i że osiągnięcie podłużnej równowagi szybowca wymaga odpowiedniej proporcji tych sił i ich wzajemnej odległości.

Z czterech wykreślonych na wspomnianym rysunku sił siła nośna szybowca P_z, jego ciężar *Q* oraz siła na usterzeniu wysokości P_H mają



Rys. 1—54. Odchylenie szybowca od kierunku lotu wywołuje na usterzeniu kierunku siłę P_v dążącą do usunięcia tego odchylenia



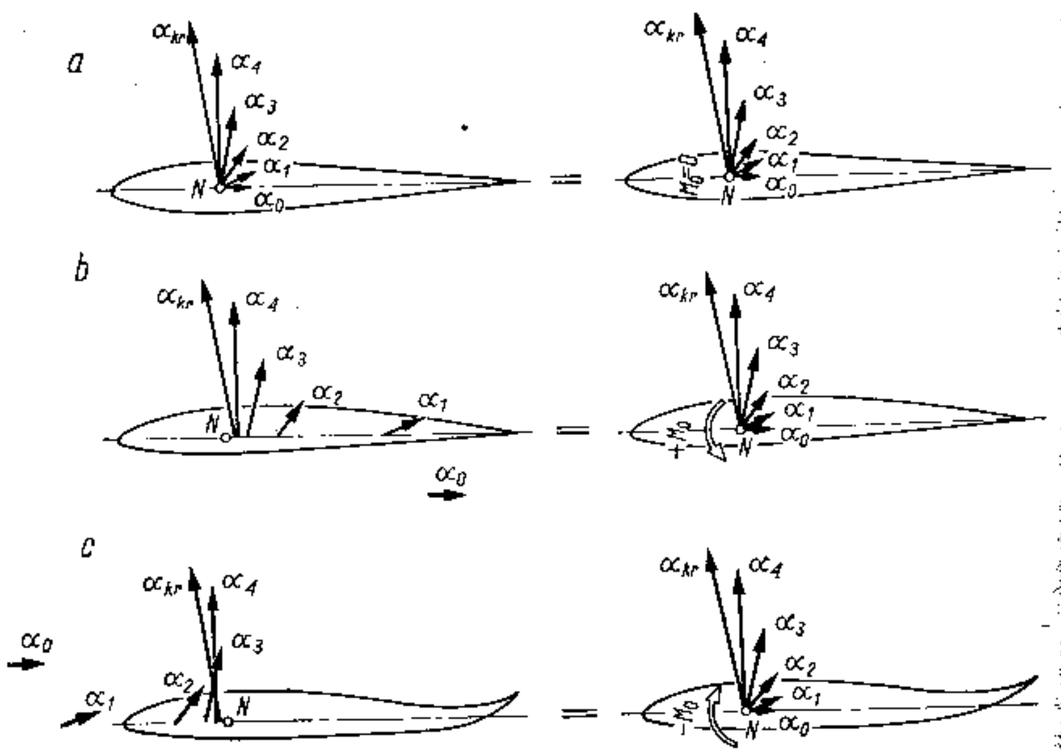
Rys. 1—55. Położenie na szybowcu sił mających wpływ na jego stateczność podłużną

decydujący wpływ na stateczność podłużną, ponieważ siła nośna i ciężar szybowca są siłami dużymi, a siła na usterzeniu jest wprawdzie mała, ale działa na dużym ramieniu względem środka ciężkości szybowca. Możemy natomiast w naszych uproszczonych rozważaniach zapomnieć o oporze szybowca P_x, ponieważ jest on stosunkowo mały i działa na małym ramieniu względem środka ciężkości szybowca, wywierając tym samym nieznaczny wpływ na jego równowagę podłużną.

Zagadnienie stateczności podłużnej jest nieco skomplikowane przez to, że jeżeli ciężar szybowca i siła na jego usterzeniu nie zmieniają w różnych stanach lotu swego położenia, to siła nośna skrzydła przesuwa się wzdłuż cięciwy skrzydła — w stosunkowo dużych granicach dla normalnie stosowanych profili — wraz ze zmianą jego kąta natarcia.

Pomiary przeprowadzone w laboratoriach aerodynamicznych pozwoliły podzielić profile lotnicze na trzy rodziny:

— profile symetryczne, u których siła aerodynamiczna nie przesuwa się wzdłuż cięciwy przy zmianie kąta natarcia;
— profile o normalnym łukowym kształcie linii szkieletowej, u których wraz ze wzrostem kąta natarcia siła aerodynamiczna przesuwa się do przodu;



Rys. 1—56. Wpływ kształtu profilu skrzydła na położenie na nim siły nośnej przy różnych kątach natarcia

a — profil symetryczny, *b* profil normalny, *c* — profil samostateczny

— profile o linii szkieletowej w kształcie litery *S*, u których wraz ze wzrostem kąta natarcia siła aerodynamiczna przesuwa się do tyłu.

Jak widać na rysunku 1—56, na którym przedstawiono po jednym profilu z każdej z wymienionych rodzin, największa wartość siły aerodynamicznej występuje przy kącie natarcia zbliżonym do kąta krytycznego. Jest ona wtedy prawie prostopadła do cięciwy profilu i przecina ją w okolicy 25% jej długości licząc od krawędzi natarcia. Najmniejsza zaś wartość siły aerodynamicznej występuje dla kąta natarcia zbliżonego do kąta, dla którego współczynnik siły nośnej staje się równy zeru, a kierunek jej staje się w przybliżeniu równoległy do cięciwy.

Punkt, w którym siła aerodynamiczna przecina cięciwę, nazywamy ś r o d k i e m p a r c i a. Profile symetryczne są więc profilami o stałym położeniu środka parcia, profile o łukowej linii szkieletowej wykazują tzw. n o r m a l n ą w ę d r ó w k ę środka parcia, natomiast profile o linii szkieletowej *S* wykazują tzw. o d w r o t n ą w ę d r ó w k ę środka parcia i nazywamy je niekiedy p r o f i l a m i s a m o s t a t e c z n y m i. Jak bowiem widać z rysunku 1—56c, w tej rodzinie profili zmianie kąta natarcia towarzyszy przesunięcie się siły aerodynamicznej — jak gdyby — przeciwdziałające wspomnianej zmianie, np. przy zmniejszaniu się kąta natarcia siła przesuwa się do przodu „podpierając" profil.

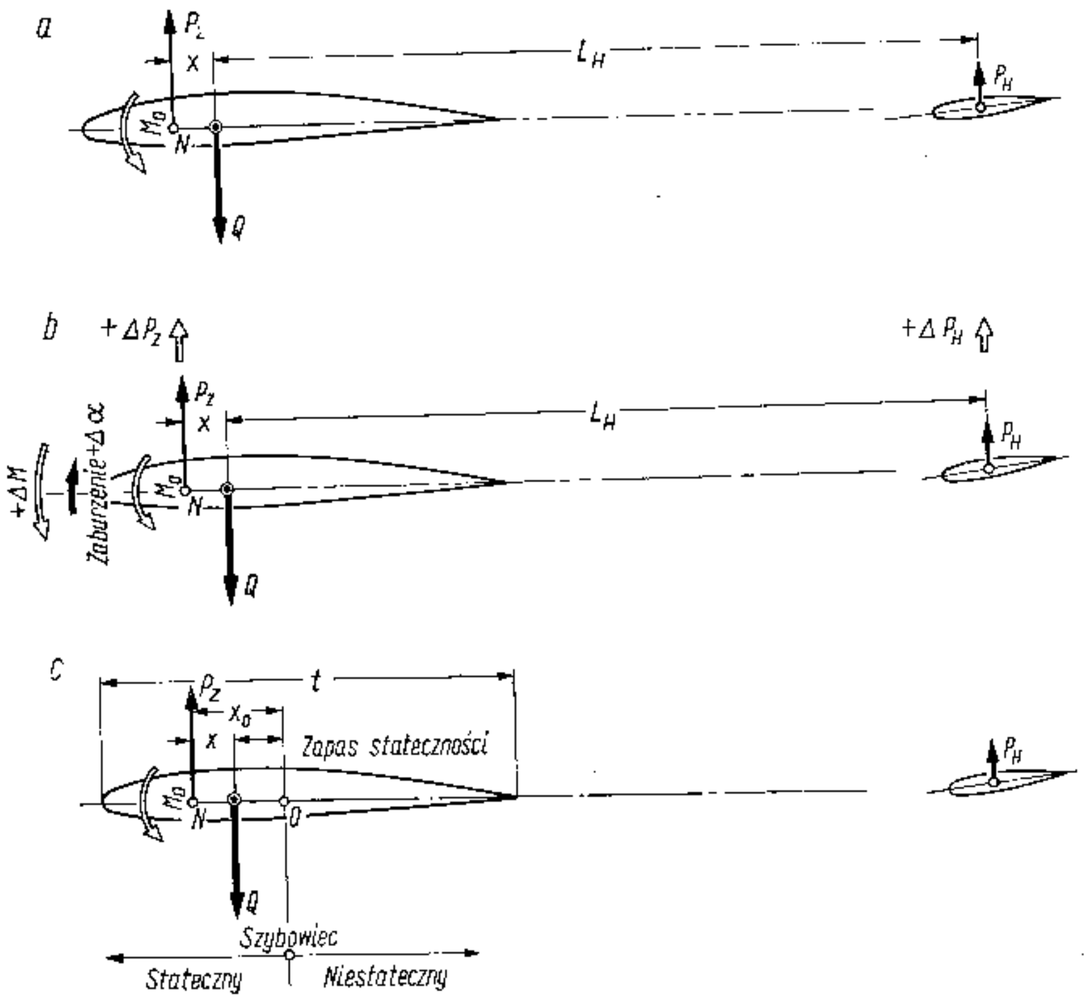
Położenie siły aerodynamicznej na profilu oraz jej wielkość są ze sobą związane. Okazuje się mianowicie, że dla każdego profilu można wyznaczyć charakterystyczny dla niego punkt, zwany p u n k t e m n e u t r a l n y m, względem którego moment siły aerodynamicznej w dużym zakresie kątów natarcia — oczywiście przy stałej prędkości lotu — jest wielkością stałą. To znaczy, że siła aerodynamiczna wędrując wzdłuż cięciwy profilu zmienia swą wielkość odwrotnie proporcjonalnie do jej odległości od punktu neutralnego. Prawidłowość ta pozwala na proste przedstawienie zagadnienia stateczności statycznej podłużnej.

Możemy mianowicie przyjąć, że bez względu na wielkość kąta natarcia i rodzaj profilu skrzydła siła aerodynamiczna zawsze przechodzi przez jego punkt neutralny, z tym że kształt profilu decyduje o wielkości i kierunku — towarzyszącemu sile — momentu aerodynamicznego usiłującego obrócić szybowiec.

Tak właśnie na rysunku 1—57a zmodyfikowaliśmy w porównaniu do rysunku 1—55 — obraz sił działających na szybowiec w locie prostoliniowym ustalonym.

Szybowiec znajduje się w równowadze podłużnej, gdy nie będzie miał tendencji do obracania się dookoła swego środka ciężkości, tzn. wówczas, gdy wspomniany poprzednio moment aerodynamiczny względem punktu neutralnego oraz momenty siły nośnej i siły na usterzeniu względem środka ciężkości szybowca wzajemnie się zrównoważą.

Przyjmując za dodatni moment usiłujący pochylić nos szybowca ku



Rys. 1—57. Równowaga podłużna szybowca

a — siły i moment podłużny działające w locie ustalonym, *b* — zmiany sił momentu podłużnego wywołane zaburzeniem równowagi, *c* — położenie środka ciężkości szybowca *Q* oraz jego środka równowagi obojętnej *O* określają wielkość zapasu stateczności

dołowi, sformułowany wyżej warunek równowagi można wyrazić za pomocą zależności:

$$M_0 - P_z \cdot x + P_H \cdot L_H = 0, \tag{29}$$

gdzie:

M_0 = moment aerodynamiczny towarzyszący sile earodynamicznej;
P_z = siła nośna szybowca;
P_H = siła aerodynamiczna na usterzeniu wysokości;
x = odległość środka ciężkości szybowca od punktu neutralnego,
L_H = odległość usterzenia wysokości od środka ciężkości szybowca.

Podana zależność określa nam konieczne proporcje pomiędzy siłami działającymi na szybowiec, aby spełniony był warunek równowagi podłużnej. Nic nam jednak nie mówi o tym, czy będzie to punkt równowagi trwałej, chwiejnej czy też obojętnej.

Aby odpowiedzieć na to pytanie, przeprowadźmy następujące rozumowanie.

Jeżeli z położenia równowagi określonego zależnością (29) i pokazanego na rysunku 1—57b zostanie szybowiec wytrącony jakimś zaburzeniem (np. podmuchem), to ulegną zmianie wielkości siły nośnej i na usterzeniu. Nie ulegnie natomiast zmianie wielkość momentu M_0, ponieważ — jak stwierdziliśmy poprzednio — jego wielkość nie zależy od kąta natarcia, a jedynie od kształtu profilu i prędkości lotu. Jeżeli zaburzenie wywołało wzrost kąta natarcia, to przyrosty siły nośnej i na usterzeniu wywołują względem środka ciężkości szybowca moment podłużny o wielkości:

$$\Delta M = \Delta P_H \cdot L_H - \Delta P_z \cdot x \tag{30}$$

Jeżeli moment ten będzie dążył do zmniejszenia kąta natarcia, to szybowiec będzie statycznie podłużnie stateczny. Jeżeli natomiast będzie dążył do jeszcze większego powiększenia kąta natarcia, to szybowiec będzie podłużnie niestateczny.

Pamiętając o przyjętym poprzednio — umownie — znaku momentu widzimy, że warunkiem stateczności statycznej podłużnej jest pojawianie się dodatniego momentu ΔM w przypadku zaburzenia powiększającego kąt natarcia.

Znak wspomnianego momentu zależy — jak widzimy z zależności (30) — od ramion sił, a szczególnie od wielkości x, ponieważ siła nośna jest wielokrotnie większa od siły na usterzeniu. Gdy x jest małe, to znak momentu wywołanego zaburzeniem jest dodatni. Przy pewnej wartości x moment staje się równy zeru, a przy większej ma znak ujemny.

O stateczności statycznej podłużnej szybowca decyduje więc położenie jego środka ciężkości. Przy przednim położeniu środka ciężkości szybowiec jest stateczny, przesuwając środek ciężkości do tyłu można osiągnąć stateczność obojętną, a przy jeszcze bardziej tylnym położeniu środka ciężkości szybowiec staje się niestateczny (rys. 1—57c).

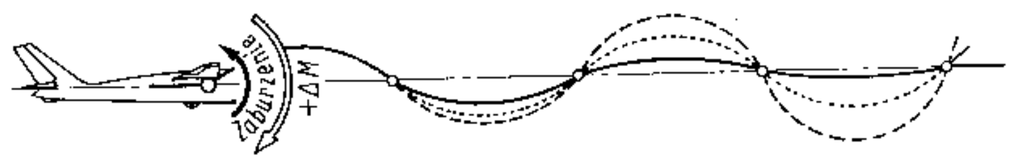
Punkt *O*, w którym znajduje się środek ciężkości szybowca, gdy wykazuje on równowagę obojętną nazywamy środkiem równowagi obojętnej. Im środek ciężkości szybowca przesunięty jest bardziej do przodu od środka równowagi obojętnej *O*, tym szybowiec jest bardziej stateczny. Doświadczenia wykazały przy tym, że dla normalnego szybowca stateczność jest wystarczająca, gdy jego środek ciężkości znajduje się w okolicy 25—30% średniej cięciwy skrzydła, mierząc od krawędzi natarcia.

19. Stateczność dynamiczna szybowca

Zagadnienia stateczności dynamicznej szybowca nie można podzielić — podobnie, jak zrobiliśmy to przy stateczności statycznej — na trzy części, rozpatrując oddzielnie obroty szybowca dookoła trzech osi, ale ze względu na sprzężenie zjawisk związanych z przechylaniem i odchylaniem szybowca możemy podzielić jedynie na dwie części, a mianowicie na:

— problem stateczności dynamicznej podłużnej,
— problem stateczności dynamicznej bocznej.

Rysunek 1—58 pokazuje nam tor lotu szybowca po wytrąceniu go jakimś zaburzeniem z położenia równowagi podłużnej. Gdy na przykład jakiś symetryczny podmuch pochyli nos szybowca do góry, to w przypadku szybowca podłużnie statecznego statycznie pojawi się — jak już wiemy — dodatni moment ustateczniający $+\Delta M$, dążący do pochylenia nosa szybowca w dół. Ponieważ jednak szybowiec ma pewną bezwładność, powracając pod wpływem wspomnianego momentu do



Rys. 1—58. Tor lotu szybowca po zaburzeniu jego równowagi

—— szybowiec podłużnie dynamicznie stateczny, ····· szybowiec podłużnie dynamicznie obojętny, - - - - szybowiec podłużnie dynamicznie niestateczny

poprzedniego położenia równowagi nie zatrzyma się w nim, lecz opuści z kolei nos nieco ku dołowi. Wtedy pojawi się ustateczniający moment podłużny ze znakiem ujemnym, starający się podnieść nos szybowca do góry itd.

Szybowiec, dążąc do położenia równowagi, waha się więc dookoła swego środka ciężkości, wskutek czego tor jego lotu staje się linią falistą. Gdy po kilku wahnięciach fale te zanikają bez reakcji ze strony pilota, to mówimy, że szybowiec jest dynamicznie podłużnie stateczny. Gdy amplituda tych wahań nie zmienia się, to znaczy że fale ani nie zmniejszają ani nie zwiększają się — mówimy wówczas, że szybowiec jest dynamicznie obojętny. Gdy fale wzrastają, to szybowiec jest podłużnie dynamicznie niestateczny, pomimo że był stateczny statycznie.

Jak widzimy, stateczność statyczna jest koniecznym, ale niewystarczającym warunkiem jego stateczności dynamicznej. Aby szybowiec był dynamicznie podłużnie stateczny, jego wahania muszą być intensywnie tłumione. Ponieważ głównym elementem tłumiącym takie wahania jest usterzenie wysokości, jego odpowiedni dobór jest poważną troską konstruktora.

Gdy jakieś zaburzenie przechyli szybowiec na skrzydło, to zacznie on wykonywać ślizg. Zjawią się wtedy dwa ustateczniające momenty. Jeden usiłujący doprowadzić szybowiec do położenia poziomego, dzięki jego stateczności statycznej poprzecznej, drugi — usiłujący ustawić płaszczyznę symetrii szybowca równolegle do wypadkowego kierunku strug powietrza, otrzymanego ze złożenia prędkości lotu i prędkości ślizgu. Ten moment jest wynikiem stateczności statycznej kierunkowej szybowca.

Mogą teraz zajść dwa przypadki. Jeżeli stateczność statyczna kierunkowa szybowca jest zdecydowanie większa od jego stateczności statycznej poprzecznej, to zanim moment poprzeczny zdąży doprowadzić szybowiec do położenia poziomego, silniejszy moment kierunkowy obróci szybowiec w kierunku ślizgu i wprowadzi go w lot wzdłuż spiralnego, coraz bardziej zacieśniającego się toru. Przypadek taki nazywamy n i e s t a t e c z n o ś c i ą s p i r a l n ą s z y b o w c a.

Jeżeli natomiast stateczność statyczna poprzeczna będzie zdecydowanie większa od stateczności statycznej kierunkowej, to silny moment poprzeczny doprowadzi szybowiec do poziomego położenia, ale słaby moment kierunkowy nie zlikwiduje dostatecznie energicznie odchylenia szybowca od kierunku lotu i zacznie on wykonywać dookoła osi pionowej wahania, leżące wzdłuż falistego kierunkowo toru. Taki przypadek niestateczności dynamicznej bocznej nazywamy h o l e n d r o w a n i e m — od zachodzącego wtedy podobieństwa ruchu szybowca do holendrowania przez łyżwiarzy na lodzie.

Jak widzimy, jedynie ściśle określona harmonia pomiędzy statecznością statyczną poprzeczną i kierunkową szybowca może zapewnić jego dynamiczną stateczność boczną. Osiągnąć to można przez odpowiedni dobór wzniosu skrzydeł oraz wielkości powierzchni usterzenia kierunku szybowca.

Pomimo że zagadnienie stateczności dynamicznej jest dostatecznie już dzisiaj konstruktorom znane, w wielu przypadkach rezygnują oni z osiągnięcia pełnej stateczności dynamicznej w całym zakresie eksploatacji szybowca, nie chcąc okupić jej osiągami czy też własnościami eksploatacyjnymi. Parametry konstrukcyjne szybowców wyczynowych zmuszają najczęściej do następujących — w tej dziedzinie — kompromisów:

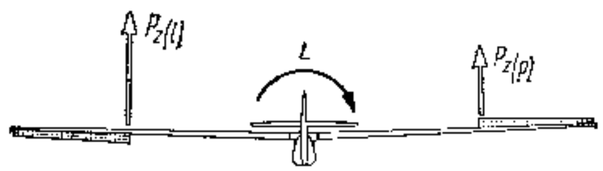
— w zakresie normalnych i przednich położeń środka ciężkości wymagana jest stateczność dynamiczna podłużna;
— w zakresie tylnych położeń środka ciężkości (pilot lekki) dopuszczalna jest podłużna dynamiczna obojętność (labilność);
— w zakresie prędkości krążenia dopuszczalna jest lekka niestateczność spiralna.

20. Działanie usterzeń szybowca

Dowolne położenie szybowca w przestrzeni osiąga pilot przez obrócenie go dookoła trzech pokazanych na rysunku 1—52 osi. Dokonuje on tego za pomocą usterzeń szybowca. Działać one mogą na różnych zasadach, z tym że w szybowcach stosowane są z reguły rozwiązania konwencjonalne, a mianowicie: lotki, usterzenie wysokości oraz usterzenie kierunku.

Usterzenie pozwalające na przechylanie szybowca dookoła osi XX nosi nazwę usterzenia poprzecznego, zwanego popularnie l o t k a m i.

Lotki są ruchowymi elementami przy krawędzi spływu końcowych partii skrzydeł. Sprzężone są one ze sobą i połączone z drążkiem sterownicy. Przechylenie drążka na przykład w prawo (rys. 1—59) wychyla lotkę prawego skrzydła w górę, lewego zaś w dół. Wychylenia te zmniejszają wysklepienie profilu skrzydła prawego, powiększają natomiast wysklepienie profilu skrzydła lewego. Zmiana wysklepień wywołuje zmiany w wielkości sił nośnych skrzydła prawego i lewego, w wyniku których szybowiec przechyla się w kierunku skrzydła prawego.

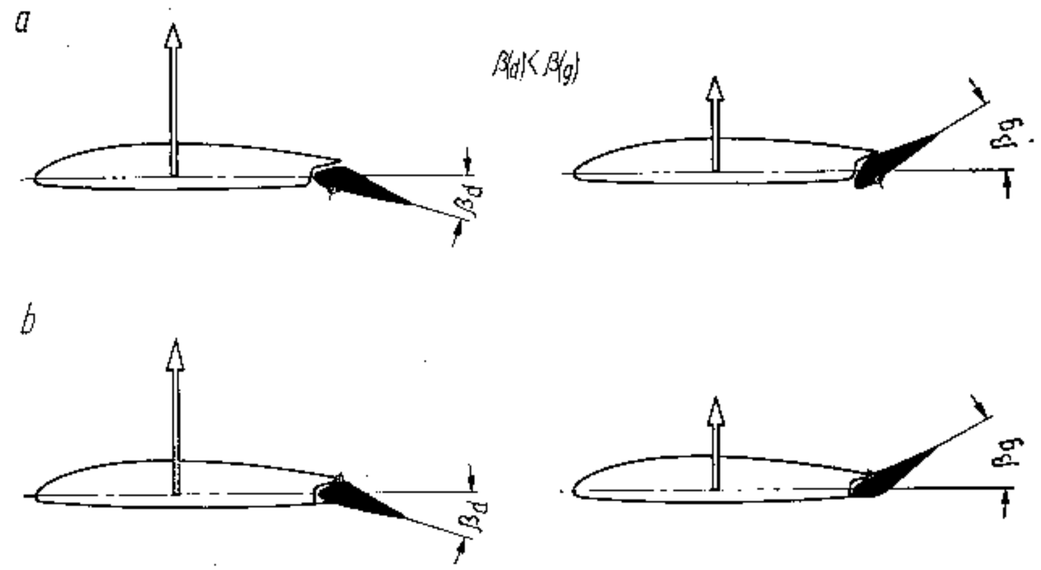


Rys. 1—59. Przechylenie drążka sterownicy wywołuje niesymetryczne wychylenie lotek, w wyniku czego ulega zmianie wielkość siły nośnej na obu skrzydłach, wywołując w efekcie przechylenie szybowca w kierunku przechylenia drążka

W przypadku jednakowych kątów wychyleń lotek w dół i górę, opór skrzydła z lotką wychyloną w dół jest większy od oporu skrzydła z lotką wychyloną do góry, ze względu na różnicę w oporze indukowanym i profilowym skrzydeł. Występuje w takim przypadku moment kierunkowy, który usiłuje obrócić szybowiec w kierunku skrzydła uniesionego do góry, a więc odwrotnie niż potrzeba dla prawidłowego wykonania zakrętu, jeżeli w tym właśnie celu został przez pilota szybowiec przechylony.

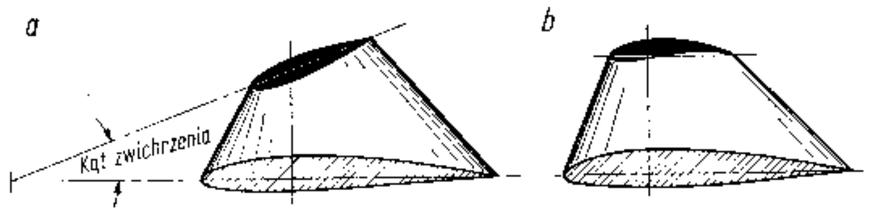
Aby wyeliminować ten niekorzystny moment kierunkowy lotek symetrycznie wychylanych, stosuje się najczęściej tzw. r ó ż n i c o w e w y c h y l a n i e l o t e k. Polega ono na tym, że lotka wychyla się w dół zawsze o mniejszy kąt niż przeciwna lotka w górę — jak widać to na rysunku 1—60.

Dawniej, dla zwiększenia tego efektu stosowano tzw. l o t k i z n o s k i e m, który wychylając się w dół z obrysu profilu skrzydła zwiększał dodatkowo opór skrzydła z lotką wychyloną do góry. Dzisiaj, dążąc do jak największego zmniejszenia oporu szybowca, konstruktorzy stosują najczęściej tzw. l o t k i b e z s z c z e l i n o w e, wychylane różnicowo. Oba wspomniane typy lotek pokazuje rysunek 1—60.

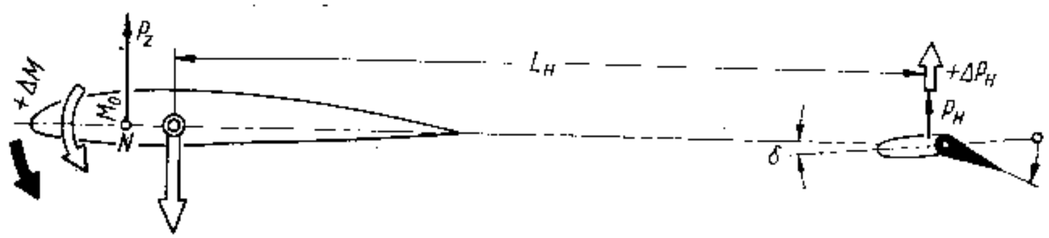


Rys. 1—60. Kształt lotek najczęściej stosowanych w szybowcach
a — lotka z noskiem, *b* — lotka bezszczelinowa

Lotki tak długo działają skutecznie, jak długo opływ końców skrzydła jest poprawny. W przypadku oderwania się strug powietrza w okolicy końców skrzydła — np. przez osiągnięcie dużych kątów natarcia — lotki przestają reagować i szybowiec traci swą poprzeczną sterowność. Jak przypominamy sobie z opisu korkociągu, stan taki byłby bardzo niebezpieczny. Dlatego też, dla przeciwdziałania tendencjom do odrywania się strug powietrza w lotkowych partiach skrzydła, konstruktorzy stosują tzw. z w i c h r z e n i e s k r z y d ł a. Polega ono bądź na geometrycznym zwichrzeniu końców skrzydła przez nadanie przekrojom końcowym skrzydła mniejszych kątów natarcia, bądź przez zastosowanie na końcach skrzydła bardziej nośnych profili, u których trudniej występuje oderwanie strug na dużych kątach natarcia. W pierwszym przypadku mówi się o z w i c h r z e n i u g e o m e t r y c z n y m, w drugim natomiast o z w i c h r z e n i u a e r o d y n a m i c z n y m. Różnice pomiędzy nimi pokazuje rysunek 1—61.



Rys. 1—61. Zwichrzenie skrzydła
a — geometryczne, *b* — aerodynamiczne

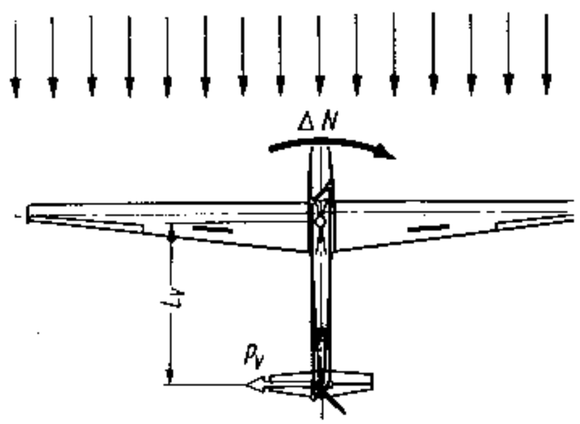


Rys. 1—62. Oddanie (odchylenie) drążka sterownicy wywołuje wychylenie steru wysokości, w wyniku czego powstaje niezrównoważona siła ΔP_H pochylająca nos szybowca w dół

Zależność (29) pozwala nam na obliczenie wielkości siły działającej na u s t e r z e n i e w y s o k o ś c i, potrzebnej dla osiągnięcia równowagi podłużnej szybowca na danym kącie natarcia. Dla otrzymania tej siły konstruktor z a k l i n o w u j e usterzenie pod odpowiednim kątem względem cięciwy skrzydła. Kąt ten, oznaczony na rysunku 1—62 przez δ, nosi nazwę kąta zaklinowania statecznika wysokości — ponieważ usterzenie to składa się dwu elementów: s t a t e c z n i k a połączonego sztywno z kadłubem oraz s t e r u, który pilot może dowolnie wychylać przez odpowiednie pochylanie drążka sterownicy.

Gdy ster nie jest wychylony, wówczas tworzy on najczęściej ze statecznikiem profil symetryczny. Wychylenie steru wywołuje dodatnie lub ujemne wysklepienie tego profilu, wpływając — oczywiście — tym samym na wielkość siły aerodynamicznej na tym usterzeniu.

Wspomniane zmiany siły, działając na ramieniu L_H względem środka ciężkości szybowca (rys. 1—62), pochylają nos szybowca w dół lub w górę, zwiększając względnie zmniejszając — tym samym — prędkość jego lotu.



Rys. 1—63. Wciśnięcie prawego pedału wychyla ster kierunku w prawo, w wyniku czego pojawia się na usterzeniu siła P_v odchylająca szybowiec w prawo

Odchylenie płaszczyzny symetrii szybowca od kierunku lotu osiąga pilot przez odpowiednie wychylenie s t e r u k i e r u n k u, będącego — podobnie jak ster wysokości — ruchomą częścią usterzenia kierunku. Statecznik kierunku, na którym zawieszony jest za pomocą zawiasów ster, tworzy najczęściej jedną całość z kadłubem szybowca.

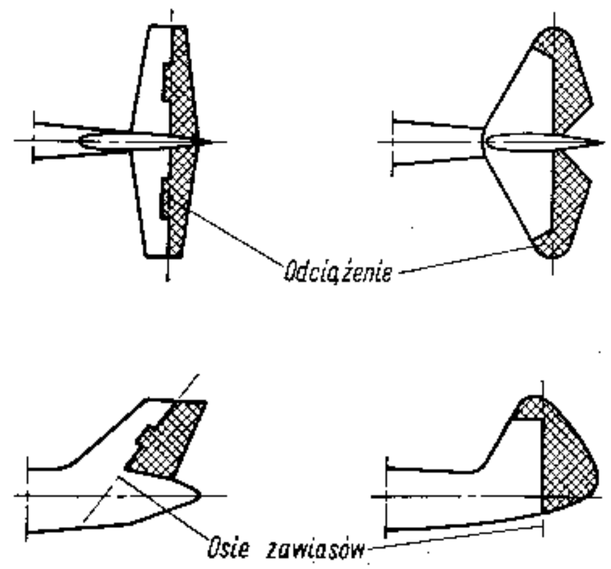
Ster kierunku połączony jest z tzw. p e d a ł a m i. Wciśnięcie do przodu nogą — na przykład prawego pedału — wychyla ster kierunku w prawo (rys. 1—63), wskutek czego symetryczny do tej pory profil usterzenia staje się profilem wysklepionym i pojawia się na nim siła aerodynamiczna P_v skierowana w lewo, która odchyla nos szybowca w prawo, działając na ramieniu L_v względem środka ciężkości szybowca.

Jak widzimy, obrót szybowca dookoła trzech osi może być dokonany przez pilota przechylaniem i pochylaniem drążka sterownicy oraz wciśnięciem jednego z pedałów. Ruchy te wywołują odpowiednie wychylenia sterów, które wywołują żądane przez pilota zmiany sił aerodynamicznych na usterzeniach. Im usterzenia są większe oraz większe wychylenia sterów i większa jest prędkość lotu, tym wspomniane zmiany sił są większe. Ale wzrasta również wtedy i wysiłek pilota potrzebny do sterowania szybowcem.

Aby zmniejszyć wspomniany wysiłek i zmęczenie pilota, stosuje się — gdy zachodzi tego potrzeba — tzw. o d c i ą ż e n i a s t e r ó w. Polegają one przede wszystkim na:

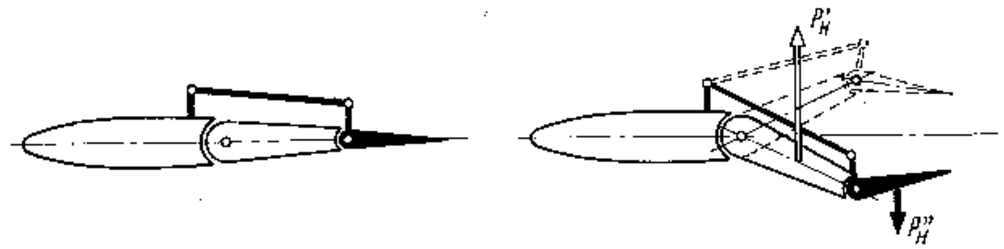
— wysunięciu części powierzchni steru przed jego oś obrotu,
— zastosowaniu tzw. k l a p k i o d c i ą ż a j ą c e j.

Wysuwając część powierzchni steru przed jego oś obrotu zmniejszamy jego moment zawiasowy, ponieważ siła aerodynamiczna działająca na tę część równoważy częściowo siłę działającą na pozostałą część steru, leżącą poza zawiasem. Odciążone więc są na przykład lotki z noskiem oraz stery pokazane na rysunku 1—64.



Rys. 1—64. Przykłady odciążenia sterów przez przesunięcie ich nosków przed oś obrotu

Zasada działania k l a p k i o d c i ą ż a j ą c e j, zwanej popularnie f l e t t n e r e m, została pokazana na rysunku 1—65. Ponieważ dźwi-



Rys. 1—65. Działanie klapki odciążającej

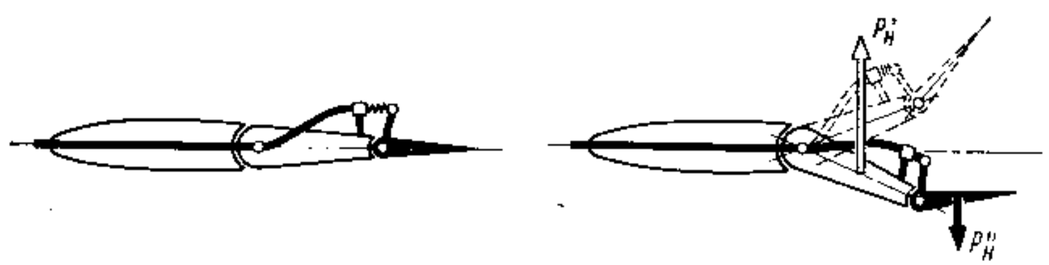
gienka klapki połączona jest ze stałym punktem na stateczniku za pomocą popychcza, wychylenie steru wywołuje automatycznie wychylenie klapki w przeciwnym niż ster kierunku. Siła aerodynamiczna działająca na klapkę równoważy częściowo siłę działającą na ster, zmniejszając — tym samym — jego moment zawiasowy, a więc i wysiłek pilota.

Podobna w wyglądzie do klapki odciążającej jest tzw. klapka wyważająca, zwana popularnie trymerem. Cel tej klapki jest jednak nieco inny i nie należy tych klapek utożsamiać. Klapka wyważająca nie służy bowiem do zmniejszania momentu zawiasowego steru, ale do całkowitego jego zrównoważenia przy dowolnie wybranym przez pilota wychyleniu steru.

Wspomnieliśmy poprzednio, że konstruktor tak dobiera kąt zaklinowania statecznika wysokości, aby podłużna równowaga szybowca z niewychylonym sterem wysokości zachodziła przy obranej przez niego prędkości. Jest to najczęściej prędkość optymalna. Inną prędkość lotu osiąga pilot przez odpowiednie wychylenie steru wysokości. Musi on jednak wywierać na drążek sterownicy pewną siłę, która go wyczerpie w dłuższym locie.

Dlatego też w niektórych szybowcach stosowano przestawialne w locie stateczniki wysokości, które pozwalały na zmianę prędkości lotu przy niewychylonym sterze wysokości. Ale rozwiązanie takie jest konstrukcyjnie skomplikowane i ciężkie.

Wad tych nie ma klapka wyważająca. Połączona jest ona jakimś cięgłem (rys. 1—66) z kabiną pilota, z której można dowolnie ją ustawiać w stosunku do steru. Przy wolno puszczonym drążku sterownicy ster z wychyloną klapką nie pozostaje w położeniu neutralnym (profil symetryczny), ale wychyli się tak, aby jego moment zawiasowy był zerem. Profil usterzenia przestaje być symetryczny, na usterzeniu pojawia się siła aerodynamiczna, a prędkość lotu ustala się — przy wolno puszczonym drążku — na wymaganej przez pilota wartości.



Rys. 1—66. Działanie klapki wyważającej

Ponieważ położenie klapki w stosunku do steru nie ulega zmianie przy jego ruchach, nie jest ona klapką odciążającą, dla przykładu bowiem — wychylenie steru w górę z klapką wychyloną również w górę zwiększa wysiłek pilota w stosunku do wychylenia steru z klapką w neutralnym położeniu.

21. Sterowność

O opinii, jaką cieszy się szybowiec wśród pilotów, decyduje nie tylko kształt jego biegunowej czy charakterystyki w krążeniu, ale w dużym stopniu zespół cech, które noszą ogólną nazwę: sterowność.

Ścisłe zdefiniowanie tego pojęcia jest stosunkowo trudne. Jest ono mianowicie miarą możliwości wykonania przez pilota zamierzonego przez niego manewru szybowca w czasie i w przestrzeni bez nadmiernego wysiłku fizycznego i psychicznego.

Już sama definicja mówi o tym, że sterowność jest problemem bardzo złożonym i że składa się na nią szereg zagadnień, a mianowicie:

— ukształtowanie i rozplanowanie kabiny pilota;
— dobór wielkości ruchów urządzeń sterowych w kabinie;
— dobór proporcji i wielkości sił potrzebnych do uruchamiania poszczególnych urządzeń sterowych;
— statyczna zdolność usterzeń do wywołania wystarczających przechyleń, pochyleń i odchyleń szybowca;
— średnie prędkości kątowe wymienionych powyżej obrotów;
— efekty dynamiczne wychyleń sterów;
— czas początku reakcji szybowca na wychylenie sterów;
— nieprawidłowości reakcji usterzeń;
— sprężenie efektów ruchu sterów.

Zakres tego podręcznika nie pozwala na bardziej szczegółowe zajęcie się tym problemem. Ograniczymy się jedynie do podania kilku zasadniczych wymagań, których spełnienie pozwala na osiągnięcie poprawnej sterowności.

Pozycja pilota powinna być wygodna, najlepiej półleżąca, zmniejszająca znużenie pilota wywoływane przyspieszeniami w krążeniu i lotach w burzliwej atmosferze. Limuzyna — o dobrej widoczności, nie męcząca wzroku.

Urządzenia sterownicze powinny znajdować się w zasięgu kończyn, bez konieczności poruszania korpusem ciała. Ruchy urządzeń — możliwie małe, ale nie sprawiające wrażenia zbytniej czułości usterzeń. Siły potrzebne do sterowania — możliwie małe, ale nie pozbawiające pilota „czucia" szybowca: najmniejsze — dla wychylania lotek, największe — dla wychylania steru kierunku. Przyrosty tych sił z prędkością lotu lub przyspieszeniem — powinny pilota ostrzegać przed przekroczeniem ich dopuszczalnych wielkości.

Ograniczniki wychyleń sterów powinny pozwalać na osiągnięcie pełnego zakresu kątów natarcia oraz kątów przechyleń i odchyleń w ślizgu w całym zakresie dopuszczalnych położeń środka ciężkości.

Średnie prędkości kątowe obrotu szybowca — w szczególności wywołane wychyleniem lotek — powinny spełniać co najmniej minimum wymagań odpowiednich przepisów.

Efekt wywołany ruchem urządzenia sterowego nie powinien zaskakiwać pilota. Przebieg ruchu szybowca po pobudzeniu go sterem przez pilota powinien być — oczywiście przez pilota doświadczonego — w każdym przypadku i w każdej sytuacji znany i oczekiwany.

Szybowiec nie powinien leniwie reagować na ruchy sterów. Jakiekolwiek wcześniejsze „zamawianie" przez pilota ruchu jest niewskazane.

Nieprawidłowości reakcji usterzeń w postaci „załamywania" się siły na urządzeniu sterowym, „odbijania" sterów, drgania itp. są niedopuszczalne.

Sprzężenie efektów wychyleń steru — jak np. wspomniany moment kierunkowy lotek — lub sprzężenie efektu kierunkowego z wysokościowym usterzenia motylkowego albo kierunkowego ze skosem, powinno być w miarę możliwości sprowadzone do minimum.

Mgr inż. *Irena Kaniewska*

Rozdział drugi

Obciążenia i wytrzymałość szybowca

Dla pilota latającego na szybowcach zasadniczą sprawą jest znajomość warunków użytkowania sprzętu, któremu powierza on swoją osobę. Dobry pilot potrafi do maksimum wykorzystać możliwości szybowca nie przekraczając równocześnie zakresu obciążeń, na jakie był on zaprojektowany.

Pierwszym obowiązkiem pilota przed lotem, zwłaszcza na typie jeszcze mu nie znanym, jest zaznajomienie się z zakresem użytkowania, tj. z maksymalnymi prędkościami oraz z maksymalnymi współczynnikami obciążenia, do jakich jest dopuszczony dany szybowiec.

Dane te są zawsze wpisane w instrukcji użytkowania szybowca (książce pokładowej) i każdy pilot, nawet zaznajomiony już z danym typem, powinien bezwzględnie sprawdzić, czy dany egzemplarz szybowca, na którym ma lecieć, nie ma jakichś dodatkowych ograniczeń bądź z powodu zużycia lub wykonanych remontów po uszkodzeniach, bądź też z powodu pewnych nieprawidłowości, np. w położeniu środka ciężkości itp.

Ponieważ konstrukcja szybowca ma stosunkowo nieduży zapas bezpieczeństwa, o którym to zagadnieniu będzie mowa w dalszej części niniejszego rozdziału, pilot musi bardzo uważać, aby w czasie użytkowania nie przekroczyć zakresu dopuszczalnych obciążeń szybowca, na które został on zaprojektowany i wytrzymałościowo obliczony.

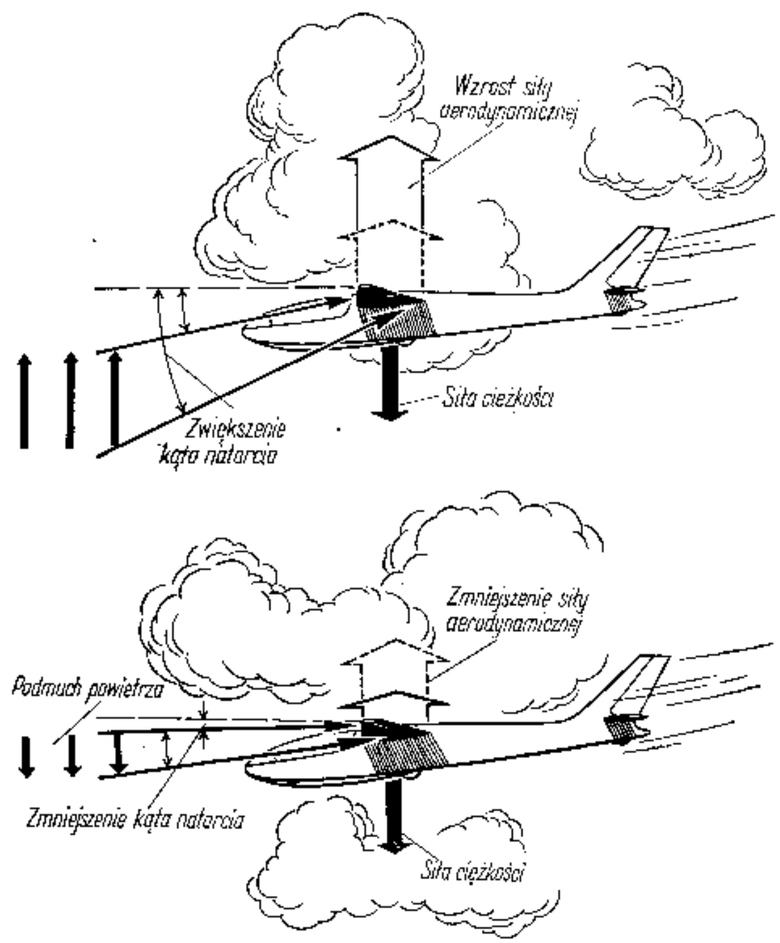
Dobry pilot powinien „wczuwać" się w szybowiec, na którym leci, powinien „rozumieć" jego zachowanie się oraz granicę jego możliwości. A ponieważ „zrozumieć", to znaczy „poznać" — więc w tekście niniejszym zapoznamy Czytelnika z różnymi rodzajami obciążeń, na jakie jest narażony szybowiec w czasie swojej służby w powietrzu i na ziemi.

1. Powstawanie obciążeń

Poszczególne części szybowca — czy to na ziemi, czy też w locie — przenoszą różnie działające siły. Wypadkowa tych sił zależy nie tylko od ciężaru szybowca, jak to ma miejsce w ustalonym locie ślizgowym, lecz również od bezwładności mas szybowca występujących przy gwałtownym hamowaniu i przyspieszaniu lub też przy zmianie kierunku lotu.

Siły te zależne są w decydującym stopniu od prędkości lotu.

W czasie lotu prostoliniowego w spokojnym powietrzu na szybowiec działa siła aerodynamiczna obciążająca skrzydło równa całkowitemu ciężarowi szybowca. Jeżeli szybowiec dostanie się nagle we wstępujący lub też opadający prąd powietrza, to obciążenie szybowca momentalnie ulegnie zmianie. Zmiana obciążenia spowodowana będzie tym, że po natrafieniu na poruszające się pionowo masy powietrza, kąt natarcia skrzydła szybowca nagle się zmieni, co pociągnie za sobą również zmianę wielkości siły aerodynamicznej.



Rys. 2—1. Wpływ podmuchów na obciążenie szybowca

Wpływ podmuchów na obciążenia szybowca przedstawiony został na rysunku 2—1.

W przypadku, gdy szybowiec wleci w strefę wstępującego prądu powietrza, kąt natarcia skrzydła zwiększy się. Dzieje się to dlatego, ponieważ wznoszące się do góry powietrze napotyka cięciwę profilu skrzydła pod kątem większym niż dotychczas. Zwiększenie kąta natarcia spowoduje natychmiastowy przyrost siły aerodynamicznej, która stanie się wówczas większa od ciężaru szybowca. Fakt ten naruszy równowagę sił i wywoła przyspieszony ruch szybowca do góry, co spowoduje zakrzywienie toru lotu i wystąpienie sił masowych, zwanych również siłami bezwładności, równoważących siłę aerodynamiczną.

Rozpatrzmy teraz przypadek, gdy szybowiec znajdzie się nagle w prądzie opadającym. Wystąpi wówczas natychmiastowe zmniejszenie kąta natarcia skrzydła, ponieważ opadające powietrze napotka cięciwę profilu pod mniejszym kątem natarcia niż w chwili poprzedzającej podmuch. Zmniejszenie kąta natarcia skrzydła prowadzi naturalnie do zmniejszenia się siły aerodynamicznej, co pociąga za sobą naruszenie równowagi sił działających na szybowiec i wywołuje jego opadanie. Pojawiające się przy tym obciążenie jest ujemne, bowiem siła aerodynamiczna staje się nagle mniejsza od ciężaru szybowca.

W czasie lotu w niespokojnej atmosferze występują bezustannie, następujące bezpośrednio po sobie, o b c i ą ż e n i a d o d ä t n i e i u j e m n e, które dają się odczuć jako r z u c a n i e szybowca. Rzucanie to występuje dlatego, że szybowiec znalazłszy się we wstępującym lub opadającym prądzie powietrza zostaje w pierwszej chwili podrzucony do góry lub też odpowiednio rzucony w dół, lecz następnie zaraz po tym kontynuuje już wznoszenie z jednostajną prędkością wraz z otaczającym go powietrzem i odzyskuje zaburzoną równowagę sił.

Podobne zjawisko możemy zauważyć jadąc windą. W pierwszej chwili, gdy winda rusza do góry, odczuwamy jej wznoszenie w postaci zwiększonego nacisku na stopy, lecz gdy prędkość windy ustali się, wznoszenia już nie zauważamy. Podobnie się dzieje, gdy windą zjeżdżamy w dół. W pierwszej chwili zdaje się, że ziemia ucieka nam spod nóg, jednak wrażenie to znika, gdy winda przestanie przyspieszać i prędkość jej ustali się.

Porywisty wiatr może również stać się przyczyną powstawania obciążeń szybowca. Jeżeli wzrośnie prędkość przeciwnego wiatru, spowoduje to zwiększenie siły aerodynamicznej i pojawienie się dodatniego obciążenia szybowca. Jeżeli zaś prędkość czołowego wiatru zmniejszy się, wywoła to spadek wyporu skrzydeł szybowca i wystąpi obciążenie ujemne.

Obciążenia szybowca w locie mogą powstać nie tylko wskutek działania podmuchu, lecz również mogą być związane ze sterowaniem szybowca przez pilota.

Pilot, wychylając ster wysokości do góry, powoduje wzrost kąta natarcia skrzydła i — co za tym idzie — powiększenie siły aerodynamicznej. Na odwrót — wychylenie steru wysokości w dół prowadzi do pojawienia się obciążeń ujemnych.

Przy lądowaniu, w momencie zetknięcia się szybowca z ziemią, następuje nagłe zahamowanie ruchu pionowego, czyli opadania szybowca, co pilot odczuwa jako pewnego rodzaju uderzenie będące rezultatem działania siły masowej, pojawiającej się przy gwałtownym hamowaniu. Jeżeli szybowiec wyposażony jest w kółko i amortyzator, pionowa prędkość opadania szybowca będzie wyhamowana na drodze równej ugięciu amortyzatora.

Im prędkość opadania szybowca w chwili zetknięcia się z ziemią będzie większa, tym obciążenie szybowca siłami masowymi będzie większe, gdyż energia kinetyczna szybowca jest proporcjonalna do kwadratu prędkości. A więc, im szybowiec będzie miał bardziej „miękką" amortyzację, tzn. amortyzatory kółka będą pozwalały na większe ugięcie, tym energia lądującego szybowca będzie „wytracana" na dłuższej drodze ugięcia amortyzatorów i w związku z tym obciążenia szybowca spowodowane uderzeniem o ziemię będą mniejsze.

2. Obciążenia dopuszczalne

Pojęcie obciążenia dopuszczalnego należy — ze względu na ważność zagadnienia — dokładnie wyjaśnić. Szybowiec zaprojektowany jest na obciążenia, jakie mogą wystąpić w czasie normalnego jego użytkowania w całym zakresie prędkości i ewolucji przewidzianych dla danego typu i kategorii. Maksymalne obciążenia od sił zewnętrznych (sił aerodynamicznych, sił masowych uderzenia przy lądowaniu, sił wywieranych przez obsługę itp.), zdarzające się przy normalnej eksploatacji szybowca nazywają się o b c i ą ż e n i a m i d o p u s z c z a l n y m i i te właśnie obciążenia szybowiec musi być w stanie znieść bez jakichkolwiek uszkodzeń oraz zbyt dużych deformacji konstrukcji.

W ustalonym locie ślizgowym siła aerodynamiczna jest równa ciężarowi szybowca. Nazywając stosunek siły działającej na szybowiec do jego ciężaru w s p ó ł c z y n n i k i e m o b c i ą ż e n i a i oznaczając go literą n można napisać, że w ustalonym locie ślizgowym współczynnik obciążenia:

$$n = \frac{P\ (siła)}{Q\ (ciężar)} = 1\,.$$

Jeżeli jednak pilot wychyli ster wysokości do góry, szybowiec zakrzywi swój tor lotu i w związku z tym pojawi się siła masowa, często zwana również siłą odśrodkową. Tę siłę bezwładności pilot odczuwa

jako pozorne zwiększenie ciężaru i dlatego właśnie przyjęte jest wyrażenie jej w wielokrotności ciężaru ciała znajdującego się w spoczynku (lub też w ustalonym ruchu prostoliniowym).

Jeżeli na ciało o masie m działać będzie przyspieszenie a, to siła masowa działająca na to ciało będzie wynosić:

$$P = m \cdot a\,.$$

Ponieważ ciężar ciała Q jest również rezultatem działania przyspieszenia ziemskiego $g = 9{,}81$ m/sek^2 na masę ciała m, więc możemy napisać, że:

$$Q = m \cdot g$$

i współczynnik obciążenia można wyrazić następująco:

$$n = \frac{P}{Q} = \frac{m \cdot a}{m \cdot g} = \frac{a}{g}.$$

To pozorne zwiększenie ciężaru szybowca musi być naturalnie zrównoważone odpowiednim wzrostem aerodynamicznej siły nośnej działającej na skrzydło szybowca.

Tak więc siły, aerodynamiczna i masowa, pomimo wzrostu ich wielkości spowodowanego zakrzywieniem toru lotu, równoważą się wzajemnie. Siła nośna działa prawie wyłącznie na skrzydło, zaś siły masowe są związane — jak sama nazwa wskazuje — z rozkładem mas szybowca i działają również na kadłub szybowca. Tak więc, pomimo równoważenia się wypadkowej siły aerodynamicznej z wypadkową siłą masową, siły nie są rozłożone na szybowcu równomiernie i niejednakowo obciążają poszczególne części jego konstrukcji.

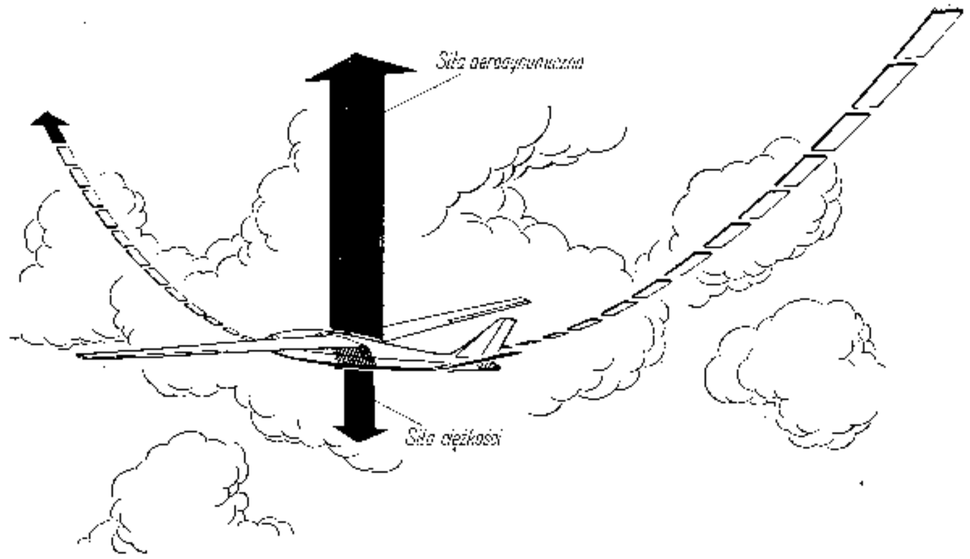
Obciążenia działające na szybowiec przy wykonywaniu ewolucji w powietrzu lub też w czasie lotu w burzliwej atmosferze nie powinny, ze względu na wytrzymałość szybowca, przekroczyć w a r t o ś c i d o p u s z c z a l n y c h.

3. Sterowanie

Rozpatrzmy kilka przypadków obciążenia szybowca w powietrzu, jakie pilot może zrealizować w locie symetrycznym, to jest sterując jedynie samym sterem wysokości.

Pilot, ś c i ą g a j ą c d r ą ż e k sterowy na siebie, wychyla ster wysokości do góry i powoduje zwiększenie kąta natarcia szybowca oraz zakrzywienie toru do góry, co z kolei pociąga za sobą pojawienie się sił masowych równoważących zwiększoną siłę nośną skrzydła wywołaną wzrostem kąta natarcia. Taki manewr wykonywany przez pilota nazywa się w y r w a n i e m.

Analogiczny przebieg będzie miało zachowanie się szybowca, jeżeli



Rys. 2—2. Obciążenia szybowca w przypadku wyrwania na małej prędkości lotu

pilot odda drążek i wychyli ster wysokości w dół, co spowoduje zakrzywienie toru lotu szybowca w dół i pojawienie się tzw. obciążeń ujemnych.

Nie jest oczywiście obojętne, na jakiej prędkości lotu pilot wykonuje manewr wyrwania. Jeżeli pilot ściągnie gwałtownie drążek na małej prędkości lotu, wówczas nie ma obawy o zbytnie przeciążenie szybowca, gdyż dzięki małej prędkości szybowiec prędko osiągnie krytyczny kąt natarcia i zwali się w korkociąg, zaś siła aerodynamiczna — proporcjonalna do kwadratu prędkości lotu — nie przekroczy wartości dopuszczalnej. Na rysunku 2—2 przedstawiony jest właśnie taki przypadek wyrwania na małej prędkości lotu.

Wraz ze wzrostem prędkości v, przy której pilot będzie ściągał gwałtownie drążek, występować będzie coraz większy współczynnik obciążenia w myśl niżej podanej zależności:

$$n = \left(\frac{v}{v_{min}}\right)^2$$

gdzie:

v_{min} = minimalna prędkość lotu szybowca.

Ponieważ każdy szybowiec ma określoną wytrzymałość, tzn. został zaprojektowany i zbudowany tak, aby był w stanie wytrzymać obciążenia dopuszczalne bez obawy uszkodzenia, istnieje więc pewna prędkość lotu, powyżej której wyrwanie może spowodować zbyt duże obciążenie szybowca, niebezpieczne dla jego konstrukcji.

Ta maksymalna prędkość, powyżej której istnieje niebezpieczeństwo

przeciążenia szybowca ponad obciążenia dopuszczalne nazywana jest prędkością brutalnego sterowania i oznaczana symbolem v_A. Jeżeli przy tym maksymalny współczynnik obciążenia, jaki jest dopuszczalny dla danego szybowca, oznaczymy przez n_{max}, to prędkość brutalnego sterowania wyrazi się zależnością:

$$v_A = v_{min} \cdot \sqrt{n_{max}}\ .$$

Prędkość v_A będzie więc maksymalną prędkością lotu, przy której pilot może gwałtownie manewrować sterami (w tym przypadku sterem wysokości) bez obawy przekroczenia dopuszczalnych obciążeń.

Dla szybowców treningowych i wyczynowych maksymalny dopuszczalny współczynnik obciążenia wynosi zwykle $n_{max} = 6$, a dla szybowców akrobacyjnych $n_{max} = 7$. Na przykład przy $n = 7$ siła aerodynamiczna działająca na szybowiec, np. o ciężarze 300 kG, będzie wynosić:

$P_{aerod.} = Q \cdot n = 300 \cdot 7 = 2100$ kG, a więc przeszło dwie tony!

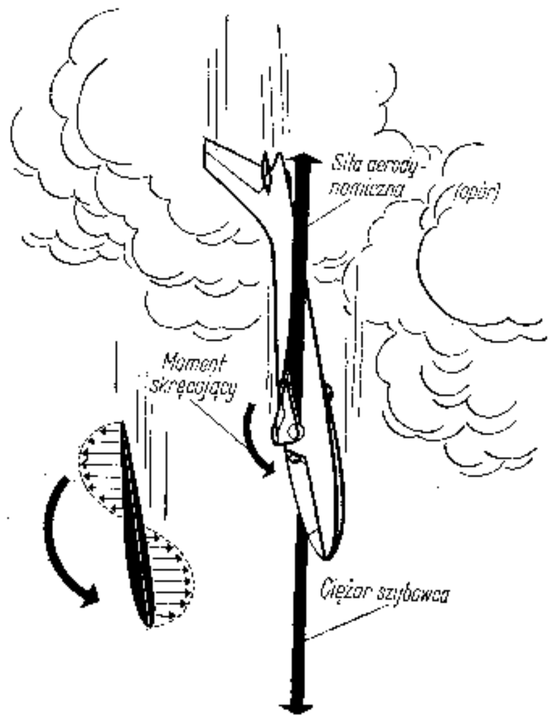
Sam pilot ważący 80 kG będzie odczuwał swój pozorny ciężar wynoszący $80 \cdot 7 = 560$ kG. Nic więc dziwnego, że przy takim przeciążeniu pilot nie jest w stanie nawet poruszyć ręką, a w oczach robi mu się ciemno wskutek braku dopływu krwi do mózgu. Krew w takiej chwili waży również siedem razy więcej i serce nie jest w stanie normalnie pracować.

Przy prędkości większej od v_A pilotowi nie wolno już gwałtownie wychylać sterów, musi to robić powoli, czyli jak to mówią „z czuciem". Przy dużych prędkościach pilot jest w stanie wychylając gwałtownie ster wysokości przeciążyć szybowiec, przekroczyć dopuszczalną wartość n_{max} i połamać go w powietrzu, nie mówiąc już o tym, że sam może stracić przytomność w czasie takiej ewolucji.

Niezależnie od powyższego, możliwości szybowca do znoszenia obciążeń maleją wraz ze wzrostem prędkości lotu ze względu na pojawiające się skręcanie skrzydła w locie na dużej prędkości, co będzie omówione w dalszej części rozdziału. Przy maksymalnej prędkości v_{max}, do której dopuszczony jest szybowiec, wszelkie ewolucje należy wykonywać więc bardzo łagodnie. Maksymalna prędkość lotu v_{max} jest zresztą przeważnie ograniczona na szybowcach za pomocą hamulców aerodynamicznych.

Ponieważ szybowiec ma kształty opływowe, więc w pionowym locie nurkowym, gdy zanika siła nośna, stawiałby bardzo mały opór aerodynamiczny i mógłby osiągnąć znaczne prędkości lotu, rzędu 500 a nawet 600 km/h..., gdyby się przed tym nie rozleciał.

W locie nurkowym siły aerodynamiczne działające na skrzydło szybowca są małe, jednakże dochodzi w tym stanie lotu silny moment skręcający skrzydło, który w przypadku zbyt dużej prędkości



Rys. 2—3. Obciążenia szybowca w locie nurkowym

może je po prostu ukręcić. Siły i momenty działające na szybowiec w locie nurkowym zostały przedstawione na rysunku 2—3.

Maksymalne prędkości lotu szybowców wyczynowych potrzebne w eksploatacji zawierają się, jak wykazuje praktyka, z reguły poniżej 250 km/h. Prędkość ta zostaje przeważnie uznana za maksymalną dopuszczalną dla szybowców treningowych i wyczynowych. Aby mieć przy tym gwarancję, że szybowiec nie rozpędzi się w locie nurkowym powyżej tej prędkości, stosuje się hamulce aerodynamiczne, które stawiając duży dodatkowy opór, nie pozwalają rozpędzić się szybowcowi ponad v_{max}, nawet w przypadku, jeśli pilot straci panowanie nad szybowcem, np. w czasie lotu chmurowego. Naturalnie pilot musi zachować tyle przytomności umysłu, aby otworzyć hamulce jeszcze przed nadmiernym rozpędzeniem się szybowca.

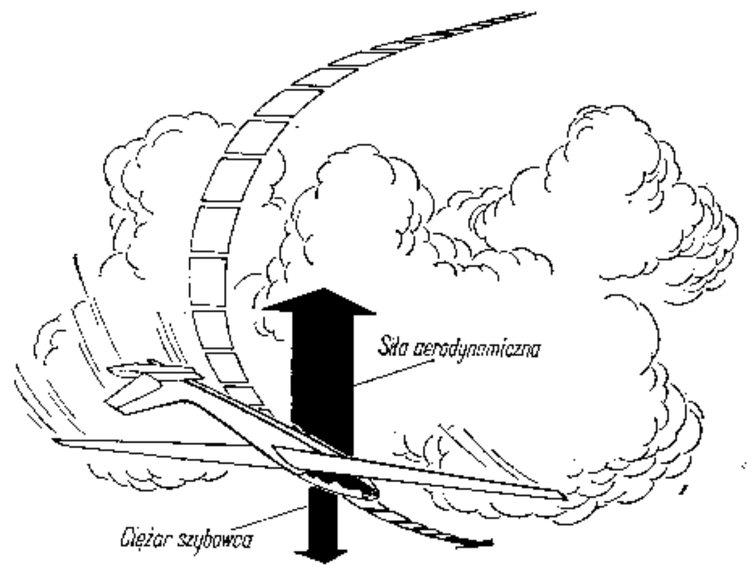
Jak już zaznaczyliśmy, czynnikiem decydującym o wielkości maksymalnej dopuszczalnej prędkości lotu jest skręcanie skrzydła. Zbadajmy więc przyczynę powstawania momentów skręcających na skrzydle.

Profile lotnicze stosowane w szybownictwie są przeważnie mniej lub więcej wysklepione. Oprócz dużej doskonałości aerodynamicznej oraz wysokiego współczynnika wyporu $c_{z\,max}$, walorów tak cennych dla szybownictwa, profile te niestety odznaczają się dużą wędrówką środka parcia.

Oznacza to, że przy zmianie kąta natarcia nie tylko zmienia się wielkość siły aerodynamicznej, ale również przesuwa się punkt, w którym działa ona na profil skrzydła. Punkt ten „wędruje" wzdłuż cięciwy profilu — przy zwiększaniu kąta natarcia przesuwa się do przodu, zaś przy zmniejszaniu kąta natarcia cofa się do tyłu.

Taka wędrówka środka parcia na typowych profilach szybowcowych została przedstawiona już poprzednio na rysunku 1—56 (patrz rozdz. 1).

Gdy siła aerodynamiczna działa w okolicy dźwigara (ściśle mówiąc w osi elastycznej skrzydła, o której będziemy mówić w dalszej części



Rys. 2—4. Wyrwanie szybowca w locie odwróconym

niniejszego rozdziału), to wówczas skrzydło przenosić będzie tylko zginanie. Jeżeli jednak siła przesunie się do przodu lub do tyłu, wystąpi dodatkowo skręcanie skrzydła. Ponieważ, jak wiemy, wszystkie siły i momenty aerodynamiczne rosną z kwadratem prędkości, tak więc w locie z maksymalną prędkością skręcanie skrzydła będzie największe.

Należy zwrócić uwagę, że wychylenie klap wyporowych, oprócz przyrostu siły nośnej, powoduje również dzięki zwiększeniu wysklepienia profilu duży wzrost momentów skręcających skrzydło. Z tego widać jasno przyczynę, dlaczego pilotowi nie wolno po wychyleniu klap wyporowych lecieć z prędkością większą od v_K (maksymalna dopuszczalna prędkość lotu na wychylonych klapach, podawana w instrukcji użytkowania).

Piloci powinni przeto pamiętać, że klapy wyporowe nie służą do wyhamowywania prędkości lotu i nie mogą zastępować hamulców aerodynamicznych, a więc np. latanie w chmurach na wychylonych klapach może łatwo doprowadzić do ukręcenia skrzydła.

Szybowiec można „wyrwać" z ustalonego lotu również przez oddanie drążka sterowego, tzn. przez wychylenie steru wysokości w dół. Z takim wyrwaniem ujemnym mamy do czynienia przy wykonywaniu akrobacji odwróconej, np. przy odwróconej pętli itp. Siły działające na szybowiec w przypadku wyrwania odwróconego przedstawione zostały na rysunku 2—4.

Należy tu zaznaczyć ponadto, że maksymalny dopuszczalny ujemny współczynnik obciążenia jest przeważnie dwukrotnie mniejszy w swojej wartości bezwzględnej od odpowiedniego współczynnika dodat-

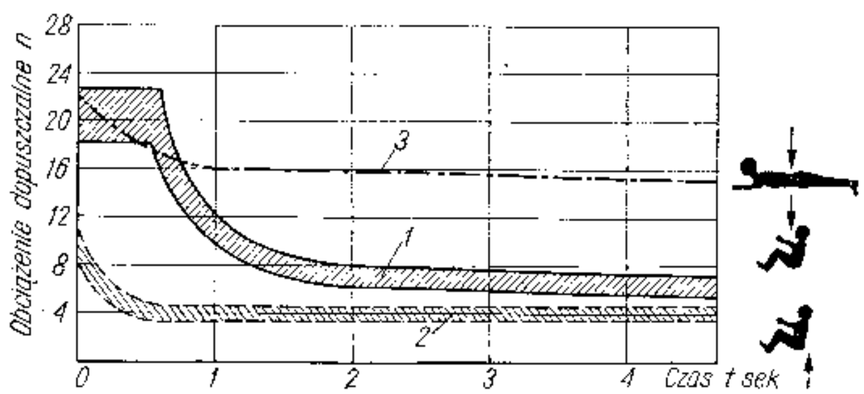
niego n_{max}. Dwukrotnie niższa wartość liczbowa ujemnego współczynnika obciążenia uzasadniona jest przede wszystkim tym, że pilot jest bardziej wrażliwy na przyspieszenia ujemne niż na dodatnie, gdyż organizm ludzki nie jest przystosowany do tego rodzaju obciążeń.

Wykresy przedstawione na rysunku 2—5 podają wyniki badań nad wytrzymałością organizmu ludzkiego. Jak widać, dopuszczalne obciążenia, jakim człowiek może być poddany, są w dużym stopniu zależne od czasu ich działania. Jeżeli rozważać będziemy obciążenia trwające parę sekund, które właśnie wchodzą w rachubę przy wykonywaniu różnego rodzaju ewolucji na szybowcach, to musimy stwierdzić, że pilot najlepiej znosi je w pozycji leżącej (patrz również rozdział 1, pkt 15).

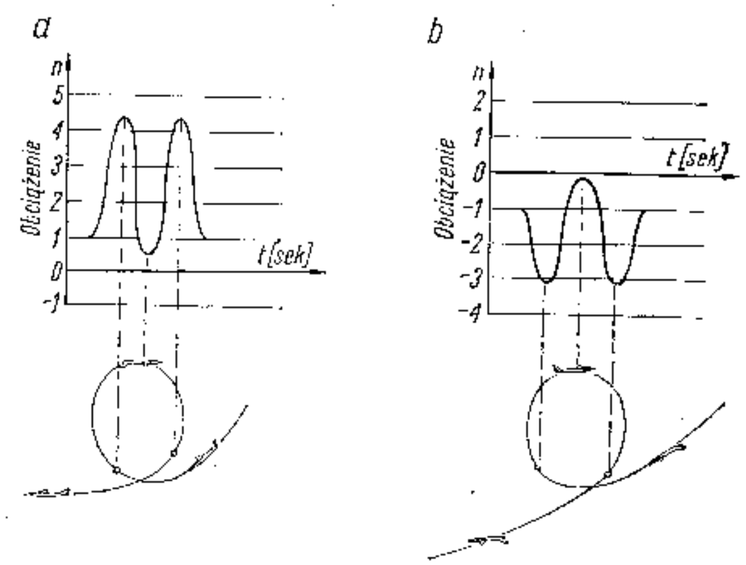
Pilot w pozycji siedzącej posiada różną odporność organizmu zależnie od kierunku działania przyspieszeń. Dopuszczalne są dwukrotnie większe obciążenia dodatnie, to jest skierowane od głowy do tułowia niż obciążenia ujemne, działające od tułowia w kierunku głowy pilota, bowiem powodują one nadmierny napływ krwi do mózgu i grożą uszkodzeniem tkanki tego delikatnego organu.

Szybowce akrobacyjne, specjalnie przystosowane do lotów odwróconych, mają profile skrzydła zbliżone do symetrycznego. Takie profile dają małe skręcanie skrzydła nawet przy dużych prędkościach lotu oraz odznaczają się stosunkowo wysokim ujemnym współczynnikiem wyporu, co gwarantuje szybowcowi dobre własności lotne przy wykonywaniu pełnej akrobacji, obejmującej między innymi wszystkie figury w locie plecowym. Szybowce tego typu mają konstrukcję skrzydła specjalnie przystosowaną do przenoszenia dużych obciążeń ujemnych.

W celu zobrazowania wielkości i rodzaju przyspieszeń realizowanych w czasie wykonywania akrobacji, na rysunku 2—6 przedstawiono wykresy wspomnianych obciążeń szybowca występujących w czasie wykonywania różnych ewolucji.



Rys. 2—5. Wytrzymałość organizmu ludzkiego na obciążenie
1 — głowa-tułów, *2* — tułów-głowa, *3* — plecy-piersi



Rys. 2—6. Obciążenia występujące przy wykonywaniu akrobacji

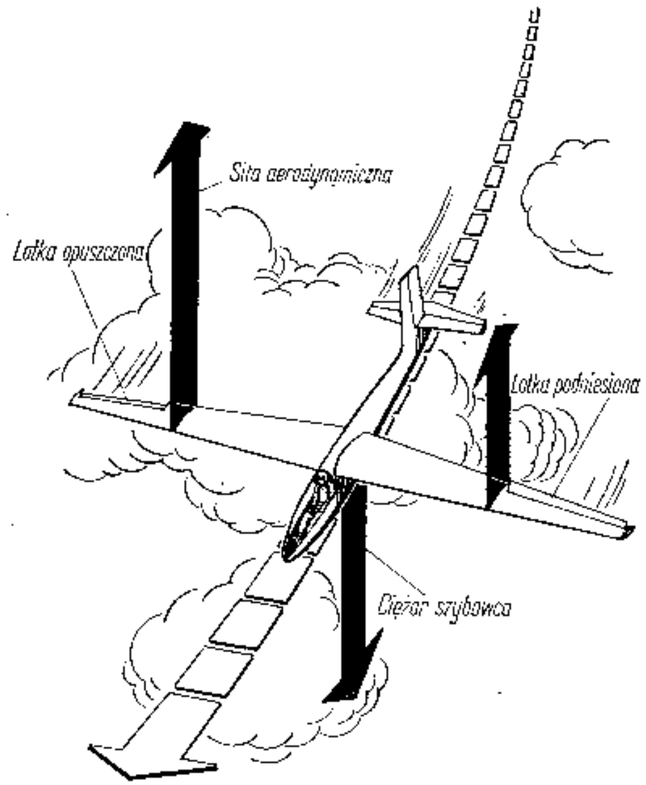
Krzywa na rysunku 2—6a odpowiada obciążeniom występującym przy wykonywaniu pętli normalnej. Minimum obciążenia w środkowej części wykresu odpowiada górnemu położeniu szybowca w pętli. W punkcie tym prędkość lotu jest najmniejsza, co wpływa na zmniejszenie sił aerodynamicznych (poza tym od przyspieszenia działającego na szybowiec odejmuje się jeszcze przyspieszenie ziemskie). Krzywa wykresu może nawet w tej części przejść poniżej linii zerowej. Będzie to wówczas znaczyło, że pilot „zawiesił" szybowiec w górnej fazie pętli i leci na plecach.

Rysunek 2—6b przedstawia z kolei wykres obciążeń działających na szybowiec przy wykonywaniu pętli zewnętrznej, nazywanej też pętlą „odwróconą". Charakter krzywej jest taki sam, jedynie obciążenia mają znak ujemny.

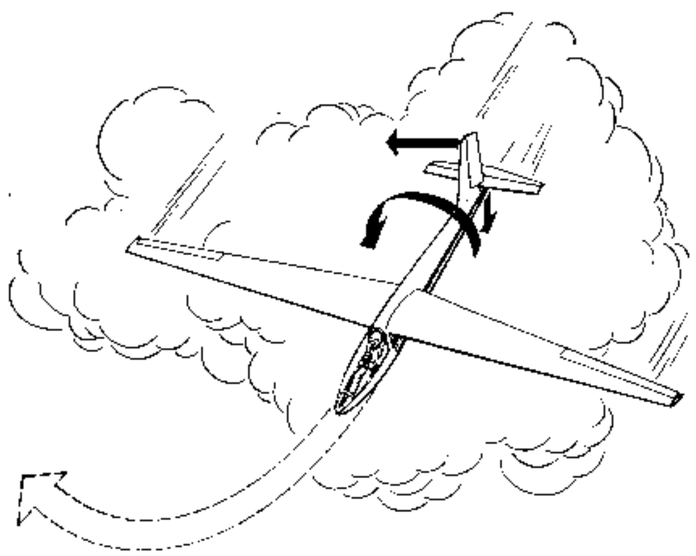
4. Obciążenia niesymetryczne

Poprzednie rozważania dotyczyły jedynie obciążeń symetrycznych, to znaczy wywołanych wychyleniem samego tylko steru wysokości.

Jak stwierdziliśmy poprzednio, nawet gwałtowne wychylenie steru wysokości przy prędkości v_A, zwanej prędkością brutalnego stero-



Rys. 2—7. Obciążenia szybowca od gwałtownego wychylenia lotek



Rys. 2—8. Obciążenia szybowca od gwałtownego wychylenia steru kierunku

wania, nie jest w stanie obciążyć szybowca powyżej dopuszczalnej wartości n_{max}. Ze względu jednak na to, że pilot ma do dyspozycji nie tylko ster wysokości, ale także i inne stery, szybowiec zaprojektowany jest w ten sposób, aby przy prędkości brutalnego sterowania wykonywał również i gwałtowne pełne wychylenie steru kierunkowego lub lotek.

Dzięki temu można powiedzieć, że szybowiec ma równomierną wytrzymałość konstrukcji.

Rysunki 2—7 i 2—8 pokazują, w jaki sposób gwałtowne wychylenie sterów obciąża skrzydła i kadłub szybowca.

5. Podmuchy

Wróćmy obecnie do „podmuchów", którymi zajmowaliśmy się na początku niniejszego rozdziału. Jak zostało udowodnione, podmuchy występujące w burzliwej atmosferze mogą powodować znaczne obciążenia szybowca, a nawet być dla niego bardzo niebezpieczne. Nie powinno to nikogo dziwić, bowiem w warunkach bardzo burzliwych (np. w wypiętrzonej chmurze burzowej lub w rotorach w czasie lotu falowego) szybowiec może napotkać podmuchy pionowe o prędkości nawet 30 m/sek, co odpowiada prędkości wznoszenia około 100 km/h, czyli prędkości jazdy pospiesznego pociągu.

Należy dodać, że te pionowe prądy powietrza — raz wznoszące, raz znów opadające — sąsiadują często dość blisko siebie, zwłaszcza w wysoko na parę kilometrów wypiętrzonych chmurach Cumulonimbus (Cb). Szybowiec przelatujący z dużą prędkością przez takie dwa sąsiadujące ze sobą obszary dostaje się po prostu w pewnego rodzaju gigantyczne powietrzne nożyce. Zdarzały się nieraz wypadki, że w takich warunkach kadłub lub skrzydła szybowca łamały się, a pilot zmuszony był ratować się na spadochronie.

Wiemy z poprzednich rozważań, że wszelkie aerodynamiczne siły rosną z kwadratem prędkości lotu. Dlatego też zależnie od stopnia burzliwości atmosfery ogranicza się maksymalną dopuszczalną prędkość lotu, co daje gwarancję, że szybowiec nie „rozsypie" się w chmurze. Prędkość ta jest wpisana w instrukcji użytkowania szybowca (książce pokładowej) i powinna być bezwzględnie przestrzegana przez pilotów.

Nie wszystkie jednak szybowce mają wytrzymałość dostatecznie dużą, aby mogły oprzeć się tak wysokim obciążeniom, jakie występują w chmurach i dlatego loty chmurowe oraz loty halniakowe można wykonywać tylko na tych egzemplarzach szybowców, które mają wpisane odpowiednie zezwolenie w instrukcji użytkowania (w książce pokładowej). Zdarzyć się bowiem może, że pomimo iż dany

typ szybowca dopuszczony jest do lotów chmurowych, to jednak usterki lub też zużycie danego egzemplarza mogą wypłynąć na ograniczenie zakresu jego użytkowania.

Należy przy tym pamiętać, że jakkolwiek najsilniejsze podmuchy występują w chmurach lub rotorach, to jednakże zwykłe podmuchy o prędkości do 10 m/sek zdarzają się również poza chmurami. W związku z tym w czasie pogody silnie termicznej nie należy latać z dużą prędkością, a maksymalną prędkość v_{max} można rozwijać tylko w warunkach spokojnych oraz przy słabym wietrze.

6. Lot holowany za samolotem

Dotychczas rozpatrywaliśmy obciążenia szybowca w locie swobodnym, obecnie zajmiemy się lotami holowanymi.

W czasie lotu holowanego szybowiec jest wleczony za samolotem za pomocą linki konopnej lub steelonowej. Zależnie od stanu atmosfery oraz umiejętności pilota lot taki może być zupełnie spokojny i siła w lince nie będzie wówczas przekraczała kilkunastu kilogramów. Rzucania termiczne natomiast lub też nieprawidłowy pilotaż siedzącego w szybowcu pilota powodują szarpania linką holowniczą, a nawet mogą doprowadzić do jej zerwania. Trzeba przy tym zaznaczyć, że linka taka ma wytrzymałość około 700 kG, a dla szybowców dwumiejscowych nawet ponad 1000 kG.

Należy się również liczyć z tym, że linka holownicza może się odchylać pod pewnym, czasem nawet dość znacznym, kątem od kierunku lotu szybowca. W związku z tym mogą powstać duże siły pionowe i boczne obciążające szybowiec.

Reasumując powyższe rozważania należy stwierdzić, że szybowiec lecący na holu za samolotem w burzliwych warunkach atmosferycznych jest jak gdyby podwójnie „narażony" na obciążenia. Po pierwsze, analogicznie jak w locie swobodnym, występują nagłe obciążenia szybowca wskutek działania podmuchów. Po drugie, należy jeszcze uwzględnić dodatkowe siły obciążające szybowiec przy szarpnięciach linki holowniczej. Dlatego też maksymalne dopuszczalne prędkości lotu holowanego są niższe niż analogiczne prędkości lotu swobodnego określone dla danego stopnia burzliwości atmosfery. W lotach „na falę", gdy zespół może napotkać rotory, prędkość holowania nie powinna przekraczać prędkości brutalnego sterowania v_A.

Loty holowane w chmurach są oczywiście zgodnie z obowiązującymi przepisami zabronione.

7. Start za wyciągarką

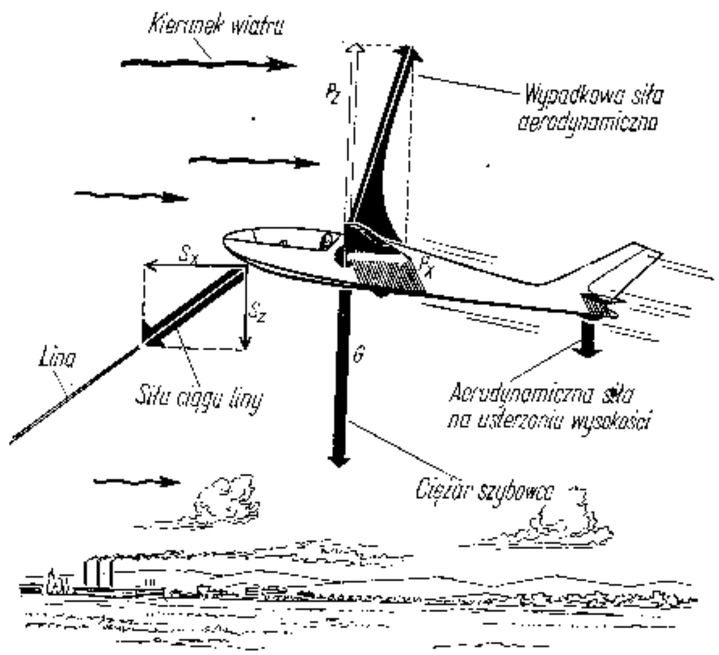
Z innym typem obciążeń mamy do czynienia przy starcie za wyciągarką. Rozważmy więc siły działające na szybowiec podczas startu za wyciągarką.

Chcąc poznać mechanizm działania sił na szybowiec rozpatrzmy „idealny" przypadek, gdy na przykład podczas startu wieje silny czołowy wiatr o prędkości równej prędkości szybowca. Wówczas w środkowej fazie startu, teoretycznie rzecz biorąc, można wyłączyć silnik wyciągarki i szybowiec zawiśnie w powietrzu jak latawiec zaczepiony na końcu linki o niezmiennej długości. Taki „teoretyczny" przypadek został przedstawiony na rysunku 2—9.

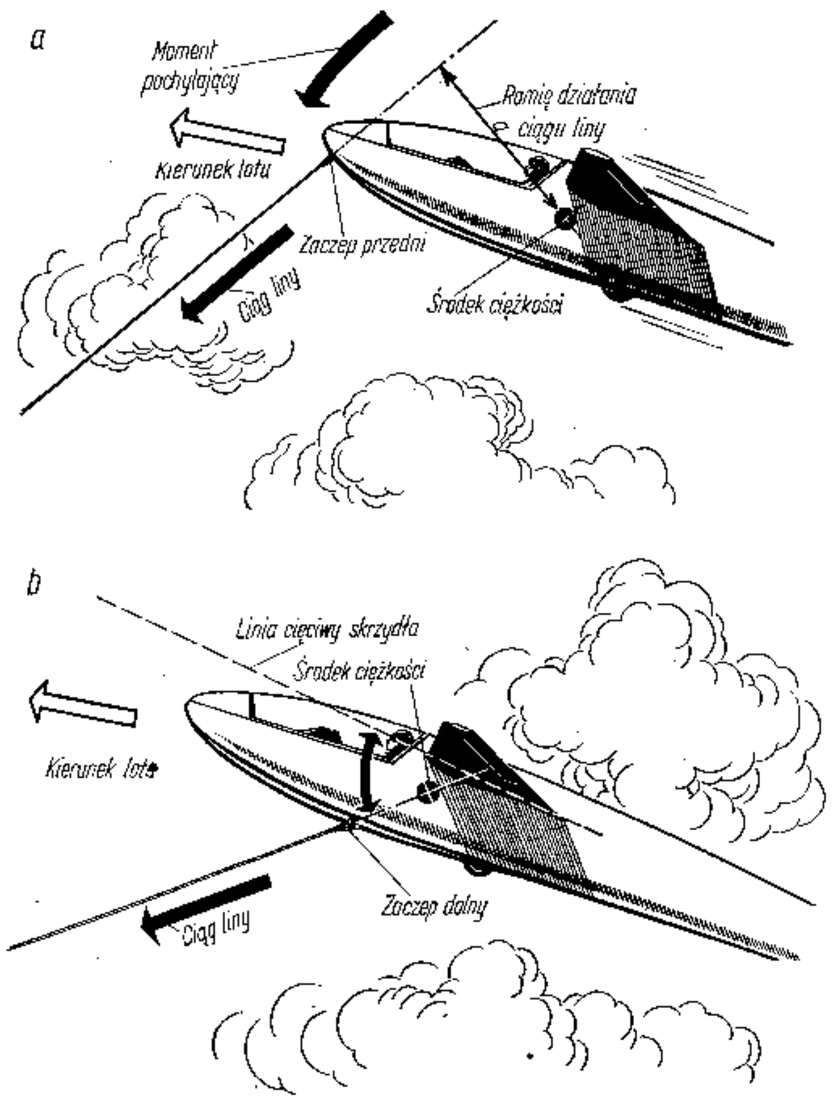
Przy takim zawiśnięciu w powietrzu opór szybowca P_x będzie równoważony składową siły ciągu w lince S_x, zakotwiczonej na unieruchomionym bębnie wyciągarki, zaś siła nośna P_z równoważyć będzie ciężar szybowca G oraz składową pionową siły ciągu linki S_z.

W praktyce jednak nigdy nie przerywa się pracy wyciągarki, a czołowy wiatr jest wykorzystywany jedynie w celu osiągnięcia większej wysokości startu, gdyż dzięki niemu można zmniejszyć prędkość zwijania linki wyciągarkowej.

Zaczep startowy do linki wyciągarkowej znajdować się może na przodzie szybowca lub też w jego części dolnej pod środkiem ciężkości szybowca. Bywają też, chociaż u nas obecnie nie są stosowane, za-



Rys. 2—9. Siły działające na szybowiec przy starcie za wyciągarką



Rys. 2—10. Siły działające na szybowiec przy starcie za wyciągarką przy użyciu różnego rodzaju zaczepów

a — za przednim zaczepem, b — za dolnym zaczepem

czepy boczne, umieszczone po bokach szybowca, w okolicy jego środka ciężkości (patrz również rozdział 5, pkt 2a).

Jak widać z rysunku 2—10a siła ciągu w lince daje względem środka ciężkości szybowca ujemny moment pochylający (starający się opuścić przód szybowca). W celu więc utrzymania szybowca na odpowiednim kącie natarcia pilot musi wychylić ster wysokości do góry, czyli ściągnąć drążek sterowy „na siebie". Dzięki temu na usterzeniu wysokości wystąpi siła aerodynamiczna skierowana ku dołowi, która zrównoważy moment od siły w lince działającej na ramieniu *a*.

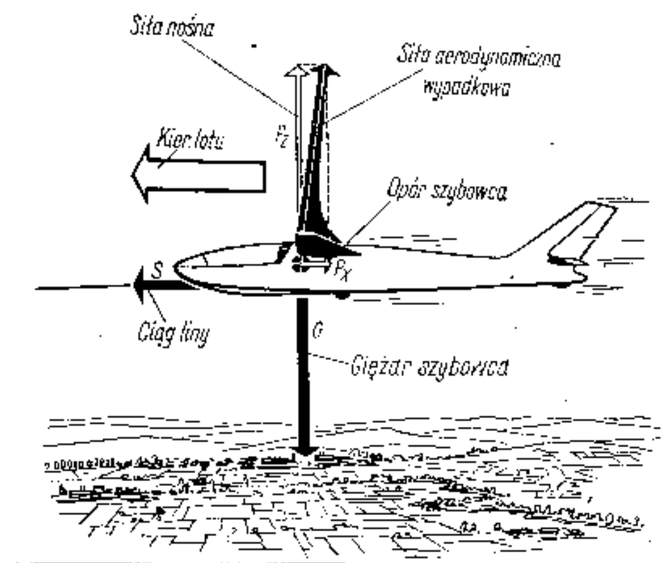
Z przytoczonych rozważań wynika, że przednie umieszczenie zaczepu ogranicza możliwości zwiększania kąta wznoszenia szybowca, ponieważ kąt ten zależny jest od wielkości maksymalnego wychylenia steru wysokości, zaś ster ten jest już częściowo wychylony w celu zrównoważenia momentu od linki. Dlatego właśnie zaczep przedni jest korzystniejszy przy szkoleniu uczniów, zmniejsza on bowiem możliwość przeciągnięcia szybowca w czasie startu (ostatnio całe szkolenie przeprowadza się od razu na dolnym zaczepie).

Większą wysokość przy starcie za wyciągarką uzyskuje się na zaczepie dolnym. W tym przypadku zaczep jest tak umieszczony, że kierunek siły ciągu liniki przechodzi w pewnej fazie lotu przez środek ciężkości szybowca (rys. 2—10b). Przy takim układzie sił pilot nie potrzebuje ściągać drążka, ale utrzymuje go przez większą część wzlotu za wyciągarką w okolicy „neutrum".

Rozpatrzmy teraz układ sił działających na szybowiec przy wzlocie za wyciągarką z a p r z e d n i m z a c z e p e m w różnych fazach startu.

W pierwszej chwili po starcie (rys. 2—11), bezpośrednio po oderwaniu się od ziemi, na szybowiec nabierający prędkości i lecący jeszcze poziomo działają następujące siły: pionowy ciężar G zrównoważony składową pionową siły aerodynamicznej skrzydła P_z (czyli siłą nośną) oraz siła ciągu liniki S działająca w kierunku ruchu szybowca, równoważąca poziomą składową siły aerodynamicznej P_x (czyli opór). Jeżeli przy tym siła ciągu w lince jest w tej fazie lotu większa od oporu, szybowiec doznaje przyspieszenia i jego prędkość rośnie.

W środkowej części lotu wznoszącego szybowiec jest silnie zadarty

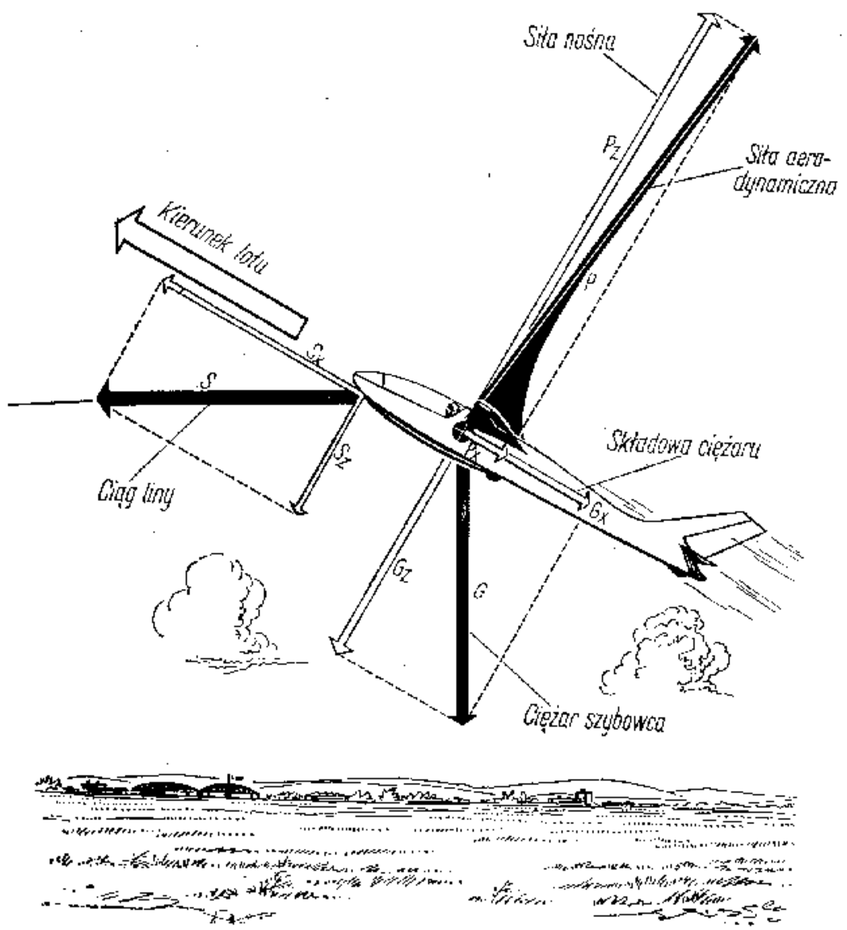


Rys. 2—11. Początkowa faza startu za wyciągarką

nad horyzont. W tym przypadku, jak to widać z rys. 2—12, na szybowiec działają również te same trzy siły: ciężar szybowca G, siła aerodynamiczna P oraz siła ciągu linki S. Ciężar szybowca pozostaje naturalnie taki sam jak poprzednio, a i kierunek jego działania względem ziemi nie ulega zmianie. Siła ciągu liniki przy stałych obrotach bębna wyciągarki również jest stała, a jej kierunek działania można też przyjąć za stały. Zmienia się jednakże kierunek ruchu szybowca, który rozpoczął już nabieranie wysokości z pewnym kątem wznoszenia.

W związku z tym zmieniają się kierunki działania sił w odniesieniu do toru lotu szybowca. W tym przypadku siła ciężkości G ciągnie szybowiec nie tylko w dół, ale i do tyłu. Rozkładając tę siłę na dwie składowe (G_z i G_x) otrzymujemy jedną składową G_z działającą prostopadle do kierunku lotu, oraz drugą G_x, równoległą do tego kierunku i sumującą się z oporem szybowca.

Linka wyciągarki ciągnie teraz szybowiec pod pewnym kątem do kierunku ruchu. Dlatego rozkładamy również i siłę ciągu linki na



Rys. 2—12. Lot wznoszący za wyciągarką

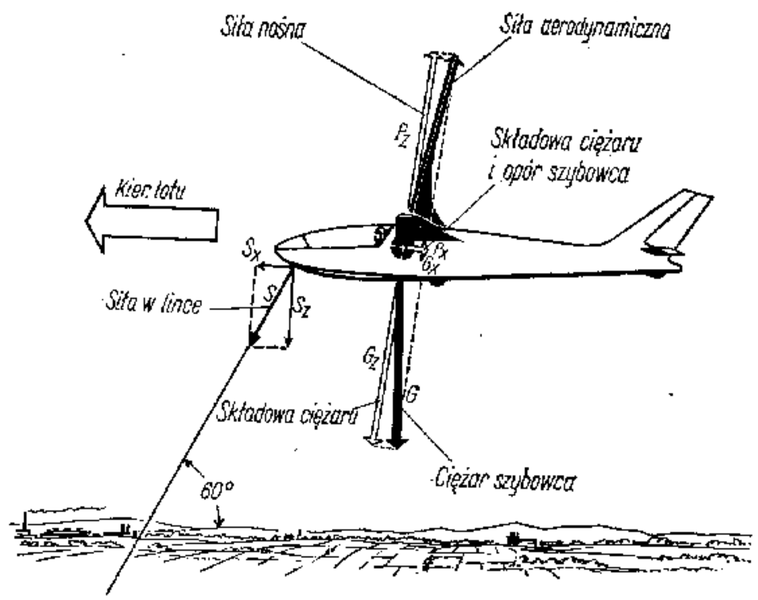
dwie składowe: jedną S_x, która działa w kierunku ruchu, oraz drugą składową S_z, działającą doń prostopadle. Ta ostatnia składowa siły ciągu linki wraz z drugą składową ciężaru szybowca są równoważone przez siłę nośną skrzydeł P_z.

Zasadniczo cały proces wzlotu za wyciągarką określony jest jednoznacznie przez prędkość nawijania linki na bęben wyciągarki. Prędkość bowiem nawijania linki decyduje o prędkości prawidłowego wzlotu szybowca w czasie drugiej fazy startu, który powinien odbywać się cały czas na kącie natarcia odpowiadającym minimalnemu opadaniu szybowca w locie swobodnym.

Kąt wznoszenia szybowca przy odpowiednio dobranej prędkości nawijania linki jest ograniczony najmniejszą bezpieczną prędkością szybowca, z uwzględnieniem jednakże faktu, że jest on dodatkowo obciążony siłą ciągu linki.

Jeżeli szybowiec zacznie się wznosić pod zbyt dużym kątem, to prędkość lotu zmaleje i szybowiec może zwalić się na skrzydło. I na odwrót — jeśli szybowiec będzie się wznosił pod zbyt małym kątem, to prędkość lotu wzrośnie i linka się zluzuje, co z kolei spowoduje zmniejszenie siły ciągu.

Jak widać z powyższych rozważań, w czasie wzlotu za wyciągarką nie kąt wznoszenia odniesiony do horyzontu, lecz kąt zawarty pomiędzy kierunkiem lotu i linką powinien pozostawać stały (jest to słuszne przy założeniu, że prędkość zwijania linki oraz prędkość postępowa szybowca nie ulegają zmianie). Przy innym założeniu, a mianowicie przyjmując, że moc wyciągarki pozostaje stała niezależnie od siły działającej w lince (jest to słuszne przy starcie za



Rys. 2—12. Lot wznoszący za wyciągarką

wyciągarką o stosunkowo dużej mocy), sterowanie prędkości lotu przez pilota będzie przedstawiało się nieco inaczej.

Jeżeli w czasie startu za wyciągarką prędkość szybowca będzie zbyt duża, pilot może przez oddanie drążka skrócić tor lotu i wskutek tego zmniejszyć prędkość lotu szybowca. Jeżeli zaś pilot będzie chciał zwiększyć prędkość, może przez ściągnięcie drążka zmusić szybowiec do lotu po dłuższym torze i wskutek tego zwiększyć jego prędkość. Wykonując jednak ten ostatni manewr należy robić go bardzo ostrożnie, ponieważ zbyt gwałtowne ściągnięcie drążka może słabą wyciągarkę zadławić, co może pociągnąć za sobą bardzo przykre i niebezpieczne konsekwencje.

Rozpatrzmy teraz końcową fazę wzlotu za wyciągarką. Jak widać z rysunku 2—13, w końcowej fazie nabierania wysokości kąt wznoszenia szybowca (mierzony względem horyzontu) bardzo maleje, ale kąt zawarty pomiędzy kierunkiem lotu i linką pozostaje taki sam jak na początku procesu wznoszenia. Zmniejsza się również siła ciągu w lince, ponieważ szybowiec — lecąc prawie poziomo — po prostu zbliża się do wyciągarki i zwalnia linkę.

Wraz ze spadkiem siły w lince zmniejsza się jej siła składowa S_x ciągnąca do przodu w kierunku lotu szybowca. Składowa ciężaru szybowca G_x, działająca w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu, jest w tej fazie lotu znacznie mniejsza niż na początku wznoszenia, a to z powodu mało odchylonego od poziomu toru lotu. Druga składowa ciężaru szybowca G_z, działająca prostopadle do kierunku ruchu, z tej samej przyczyny zwiększa się i zbliża do wartości wyjściowej na początku startu. Siła nośna skrzydła P_z musi więc w tym przypadku zrównoważyć obie siły prostopadłe do toru lotu: składową ciężaru szybowca G_z (praktycznie prawie cały ciężar szybowca) oraz siłę ciągu linki S_z.

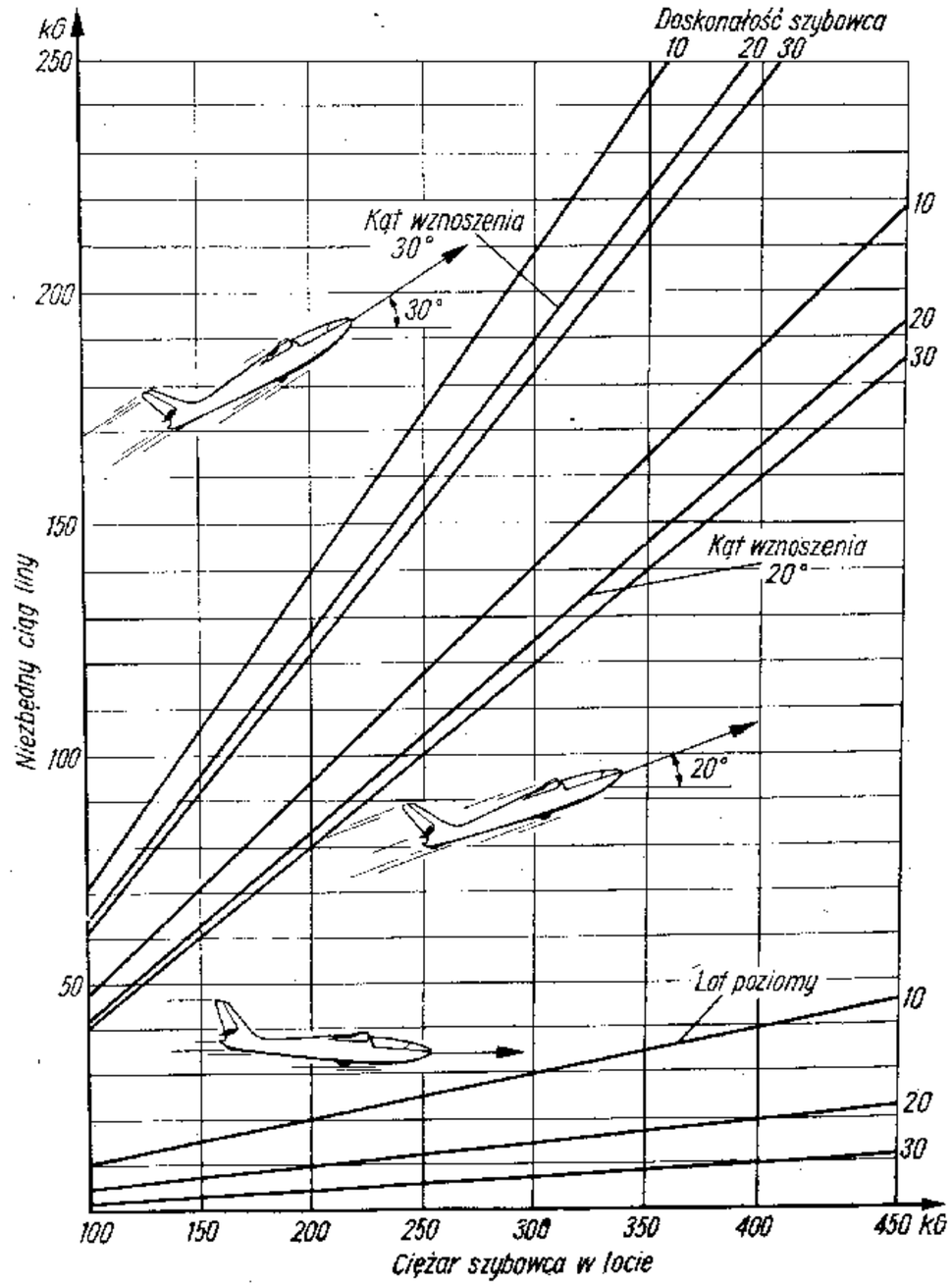
Dla wytypowania maksymalnych obciążeń szybowca należy porównać siły działające nań w rozpatrywanych trzech fazach lotu za wyciągarką. Pozostałe fazy lotu dadzą obciążenia pośrednie.

Jak widać z rozkładu sił w locie poziomym tuż przy ziemi, przedstawionym na rysunku 2—11, obciążenia szybowca niezbyt odbiegają od obciążeń w zwykłym locie ślizgowym. Obciążenia te wzrastają znacznie dopiero w czasie lotu wznoszącego. Z rysunków 2—12 i 2—13 widać, że siła składowa ciągu linki, prostopadła do kierunku lotu S_x (a w końcowej fazie lotu cały jej ciąg S), wywołuje znaczny wzrost równoważącej ją siły aerodynamicznej na skrzydle. W związku z tym siła, z jaką linka może działać na szybowiec, musi być ograniczona, w przeciwnym bowiem razie szybowiec mógłby otrzymać obciążenia większe od dopuszczalnych i skrzydła jego uległyby złamaniu.

Dlatego też stosuje się tzw. b e z p i e c z n i k i z r y w o w e, tj. odcinki linki o specjalnie wycechowanej wytrzymałości na rozerwanie (zależnej od ciężaru szybowca i wynoszącej od 460 do 600 kG),

które założone pomiędzy koniec linki wyciągarki i zaczep szybowca zabezpieczają go od zbyt dużego obciążenia.

Zależność siły występującej w lince holowniczej od kąta wznoszenia szybowca oraz od jego ciężaru została podana na wykresie rysunku 2—14. Z wykresu tego wynika, że siła w lince zależna jest również od doskonałości aerodynamicznej szybowca.



Rys. 2—14. Wykres sił występujących w lince wyciągarki

Zerwanie się bezpiecznika linki wyciągarkowej, jakkolwiek zabezpiecza szybowiec od nadmiernego przeciążenia, jednakże z reguły stwarza niebezpieczeństwo rozbicia szybowca. W środkowej bowiem fazie startu za wyciągarką szybowiec znajduje się w położeniu silnie zadartym nad horyzont.

W momencie zerwania się linki nagle zanika wywierana przez nią siła ciągu, co momentalnie powoduje utratę prędkości no i „zwalenie" się szybowca. Jest to zwłaszcza niebezpieczne na małej wysokości, kiedy pilot może nie mieć już czasu na wyrównanie szybowca i przejście do normalnego lotu ślizgowego.

Dla uniknięcia tego rodzaju groźnych sytuacji z reguły nie dopuszcza się do zrywania bezpiecznika linki, lecz ogranicza do odpowiedniej wartości prędkość lotu szybowca w czasie startu za wyciągarką. Przy zachowaniu właściwej prędkości pilot może być pewien, że maksymalne dopuszczalne obciążenia szybowca nie będą przekroczone, jak również że bezpiecznik zrywowy linki wyciągarki nie zostanie zerwany.

Bezpiecznik zrywowy będzie więc spełniał tylko rolę dodatkowego zabezpieczenia przed zbytnim przeciążeniem szybowca, np. w przypadku gdyby pilot nie wyczepił się w odpowiednim momencie nad wyciągarką.

8. Lądowanie

Konstrukcja szybowca może podlegać obciążeniom nie tylko w powietrzu, ale również i na ziemi. Te ostatnie obciążenia są nawet o wiele częściej przyczyną uszkodzeń szybowców niż siły aerodynamiczne działające w powietrzu.

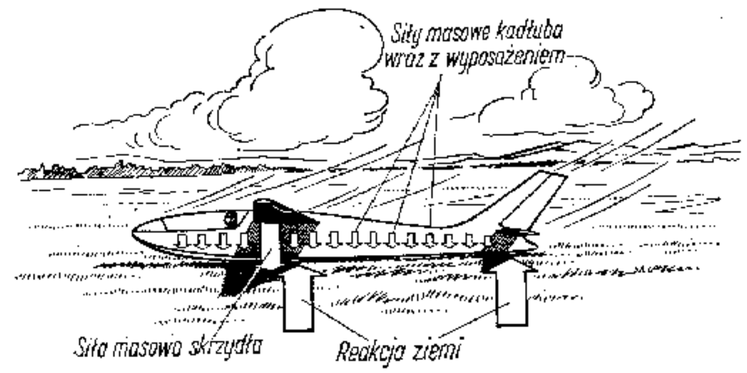
Rozpatrzmy obciążenia szybowca występujące przy nieprawidłowym lądowaniu. Powstają one jako rezultat działania sił masowych pojawiających się przy gwałtownym hamowaniu w momencie zetknięcia się szybowca z ziemią.

Przy ostrożnym lądowaniu, ze stopniowym wytracaniem wysokości lotu, występujące siły masowe są nieznaczne. W czasie bowiem normalnego lądowania szybowiec przepada z wysokości 0,1 do 0,2 m i styka się z ziemią przy niedużej jeszcze prędkości opadania. W przypadku natomiast zbyt wysokiego „wytrzymania" szybowiec nagle przepada w dół ze wzrastającą prędkością opadania. Takie właśnie lądowanie z przepadnięciem pokazane zostało na rysunku 2—15.

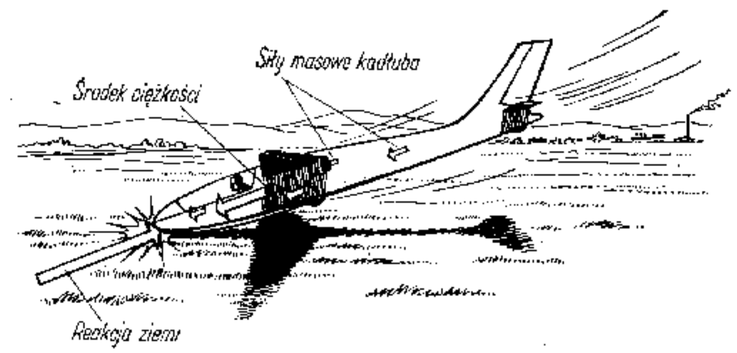
Siła nośna skrzydła jest już wtedy praktycznie równa zeru i obciążenie od sił masowych działa z góry na dół starając się opuścić końce skrzydła do ziemi. Obciążenia te mogą być duże, zwłaszcza przy

słabej amortyzacji podwozia. W czasie takiego lądowania mogą zostać uszkodzone dolne części szybowca, jak np. płoza, obudowa kółka transportowego, a nawet konstrukcja wewnętrzna kadłuba.

W celu uniknięcia dużych obciążeń na szybowcach szkolnych, gdzie nieprawidłowe lądowania jako błędy pilotażowe są bardzo prawdopodobne, stosuje się specjalnie skuteczną amortyzację podwozia.



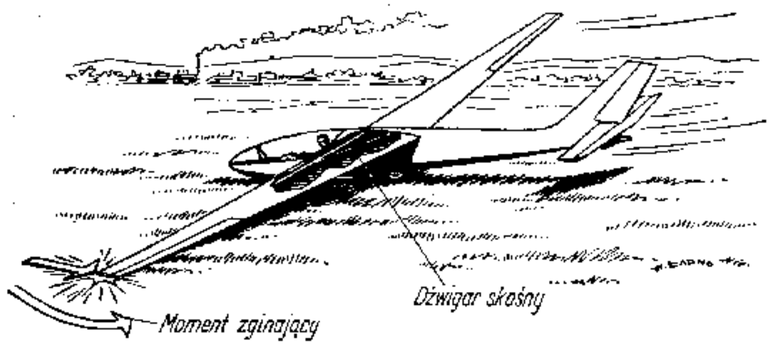
Rys. 2—15. Obciążenia szybowca przy lądowaniu z przepadnięciem



Rys. 2—16. Obciążenie szybowca przy lądowaniu z „przytarciem"

Amortyzacja taka, pochłaniająca dużą ilość energii przy lądowaniu, pozwala na znaczne obniżenie się środka ciężkości szybowca w chwili uderzenia o ziemię, co w konsekwencji zmniejsza siły masowe działające na konstrukcję.

Lądowanie z przepadnięciem nie jest jedyną formą nieprawidłowego lądowania. Może się również zdarzyć lądowanie z przytarciem, to znaczy gdy szybowiec przyziemi się na zbyt małym kącie natarcia i na zbyt dużej prędkości lotu (rys. 2—16). W takim przypadku szybowiec zderza się z ziemią w stromym położeniu i reakcja podłoża działająca na przód szybowca przechodzi w pobliżu jego środka ciężkości.



Rys. 2—17. Lądowanie z zaczepieniem skrzydła o ziemię

Trzecim rodzajem nieprawidłowego lądowania jest z a c z e p i e n i e s k r z y d ł e m o z i e m i ę i co za tym idzie — zarzucenie szybowca zwane popularnie „cyrklem". Lądowanie takie zostało przedstawione na rysunku 2—17.

Należy zaznaczyć, że podobny przypadek zaczepienia skrzydłem o ziemię może się również zdarzyć przy starcie szybowca za samolotem, zwłaszcza jeśli start odbywa się z bocznym wiatrem.

Ponadto skrzydło może być uszkodzone nie tylko przy zetknięciu z ziemią, ale również przez nieumiejętną obsługę w czasie transportu lub przy innych manipulacjach na ziemi. Dlatego też z szybowcem należy obchodzić się bardzo ostrożnie i delikatnie, aby zamiast na start nie musiał powędrować do remontu.

9. Ogólne wiadomości o wytrzymałości materiałów

Aby zdać sobie sprawę z wytrzymałości szybowca, należy przede wszystkim zapoznać się z własnościami materiałów, z których jest on zbudowany. Najbardziej przy tym obchodzić nas będą następujące własności materiałów: wytrzymałość na rozciąganie, wytrzymałość na ściskanie oraz wytrzymałość na ścinanie.

Materiały jednorodne, jak np. metale, mają jednakową wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie, podczas gdy materiały o budowie warstwowej, jak np. drewno, wykazują różne własności — zależnie od tego, czy są poddawane ściskaniu czy też rozciąganiu. Ponadto należy jeszcze dodać, że materiały o niejednorodnej budowie zachowują się zupełnie inaczej przy ich obciążeniu, np. wzdłuż włókien, niż w kierunku do nich prostopadłym lub skośnym.

Wytrzymałość materiału określa się wielkością siły powodującej zniszczenie próbki o przekroju 1 cm². Pod działaniem bowiem siły powstają w materiale naprężenia. Występujące naprężenia (grecka

litera σ) zależne są od siły P i pola przekroju F obciążonego elementu, czyli:

$$\sigma = \frac{P}{F} \left[\frac{\text{kG}}{\text{cm}^2}\right].$$

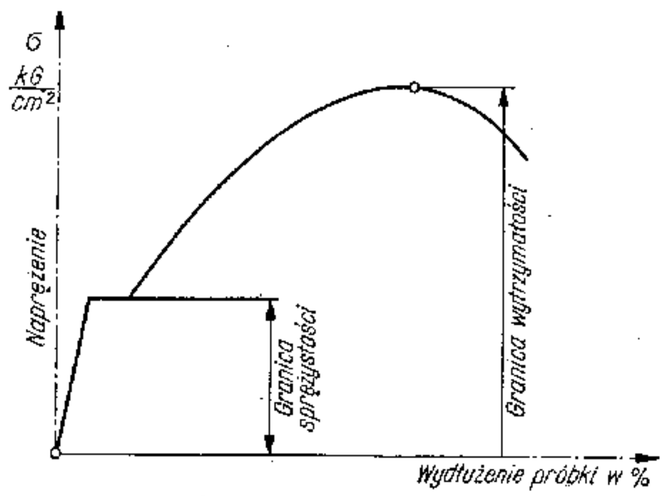
Każdy materiał poddany działaniu jakichkolwiek sił ulega odkształceniu. Próbka rozciągania wydłuża się, zaś ściskana odpowiednio się skraca. Wykres rozciągania próbki stalowej przedstawiony został na rysunku 2—18. Na wykresie tym podano wydłużenie próbki zależnie od naprężeń w materiale.

Jak wykazuje praktyka, materiał możemy bezkarnie obciążać tylko do pewnych granic. Przy naprężeniach niezbyt wysokich próbka odkształca się sprężyście, to znaczy odkształcenie jej znika po zdjęciu obciążenia. Jednakże przekroczenie pewnej wielkości naprężenia nazwanego g r a n i c ą s p r ę ż y s t o ś c i powoduje, że próbka poddana np. rozciąganiu nie wraca po zdjęciu obciążenia do swojej poprzedniej wyjściowej długości, ale pozostaje już nieco odkształcona (w przypadku na rys. 2—18 nieco wydłużona).

Jeżeli próbkę będziemy obciążać w dalszym ciągu, to w momencie, gdy naprężenie osiągnie wartość niszczącą, próbka ulegnie zniszczeniu. W przypadku pokazanym na rysunku 2—18 próbka zostanie rozerwana — będzie to jej g r a n i c a w y t r z y m a ł o ś c i.

Granica sprężystości dla materiałów stosowanych w lotnictwie (zwłaszcza metali) wynosi około ²/₃ wartości naprężeń niszczących dla danego materiału.

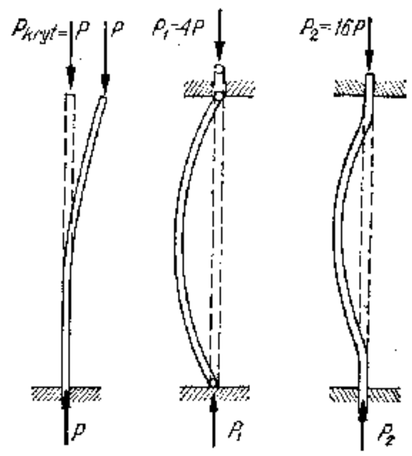
Zachowanie się materiałów przy ściskaniu jest podobne, jednak jeśli będziemy ściskać próbkę o d u ż e j s m u k ł o ś c i, np. długi i cienki pręt, to spotkamy się jeszcze z innym zjawiskiem, a mianowicie w y b o c z e n i e m. Pręt taki wyboczy się (rys. 2—19) zanim



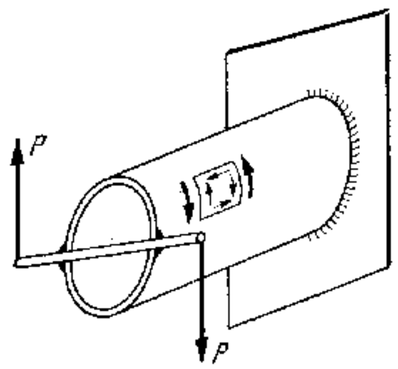
Rys. 2—18. Wykres rozciągania próbki stalowej

jeszcze naprężenia w jego materiale osiągną wartości odpowiadające naprężeniom niszczącym.

Naprężenie, przy którym ściskany pręt ulegnie wyboczeniu, nazywa się **naprężeniem krytycznym**, a siła, która spowodowała to wyboczenie, określana jest jako **siła krytyczna**. Im przy tym pręt jest bardziej smukły, tym siła krytyczna, pod wpływem której wyboczy się, będzie niższa. Wielkość tej siły jest jednak zależna nie tylko od smukłości pręta, ale i od sposobu jego zamocowania, jak to ilustruje rysunek 2—19.



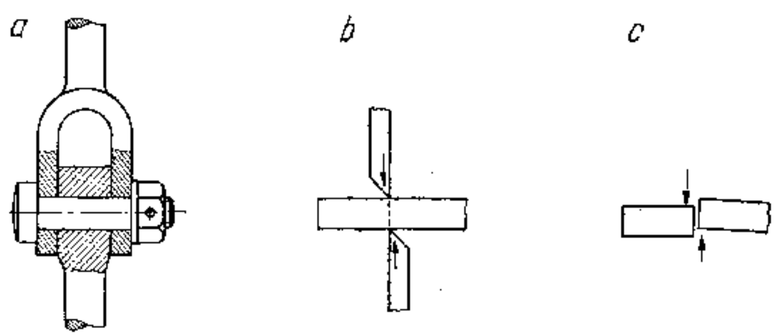
Rys. 2—19. Wyboczenie pręta ściskanego



Rys. 2—20. Skręcanie rury cienkościennej

Naturalnie — na rozciąganie — pręt taki jest zdolny przenieść znacznie większą siłę, bo wywołującą naprężenia odpowiadające maksymalnej wytrzymałości materiału. W przypadku bowiem rozciągania nie zachodzi zjawisko wyboczenia.

W konstrukcjach lotniczych takie smukłe pręty znajdują szerokie zastosowanie, zwłaszcza w postaci rur stalowych lub duralowych, będąc używane jako popychacze w mechanizmach napędowych, jako zastrzały skrzydeł oraz elementy nośne w konstrukcjach kratowych. itp.



Rys. 2—21. Ścinanie sworznia

Jeszcze jeden rodzaj obciążenia jest dla nas specjalnie interesujący. Jest to **ścinanie materiału**.

Wyobraźmy sobie jakiś pręt, który będziemy się starali przeciąć za pomocą dwóch przeciwległych ostrzy (rys. 2—21). Naprężenia powstałe w przekroju tego pręta będą nosić nazwę **naprężeń ścinających**. Z tym rodzajem naprężeń mamy często do czynienia, na przykład — we wszystkich połączeniach ścinany jest sworzeń łączący ucha okuć.

Naprężenia ścinające występować będą także przy skręcaniu. Przyjrzyjmy się na przykład rysunkowi 2—20, gdzie mamy cienkościenną rurę zamocowaną na jednym końcu i obciążoną na drugim swobodnym końcu parą sił, czyli **momentem skręcającym**. Właśnie z takim modelem cienkościennej rury mamy często do czynienia w konstrukcjach szybowcowych. Są to przede wszystkim kesony utworzone przez pokrycie sklejkowe (lub też pokrycie blaszane) części przedniej skrzydła, jak również cały tył kadłuba szybowca uformowany w postaci stożkowej rury.

10. Obciążenia i wytrzymałość głównych zespołów konstrukcyjnych szybowca

W celu określenia wytrzymałości szybowca trzeba przede wszystkim zapoznać się z pracą jego konstrukcji, to znaczy zbadać, w jaki sposób obciążenia zewnętrzne są przenoszone przez poszczególne zespoły i elementy szybowca.

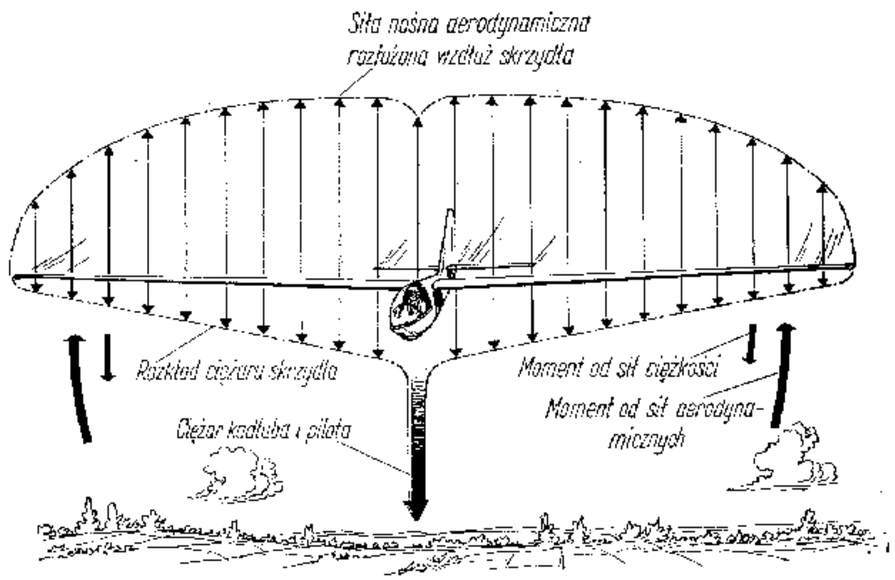
Czy to na ziemi, czy to w powietrzu, każdy element konstrukcji nośnej szybowca przeciwstawia się siłom zewnętrznym oraz zginającym lub skręcającym momentom. Wskutek działania tych sił i momentów szybowiec poddany jest odpowiednim naprężeniom. Chcąc więc być pewnym, że szybowiec ma dostateczną wytrzymałość, należy zbadać charakter i wielkość sił i momentów obciążających poszczególne jego części.

Jak widać z rysunku 2—22, siły aerodynamiczne — równoważąc nie tylko ciężary lewej i prawej połówki skrzydła, ale także ciężar kadłuba wraz z pilotem — starają się zgiąć skrzydło względem kadłuba. Wielkość maksymalnego momentu zginającego zależy od wielkości siły aerodynamicznej działającej na połówkę skrzydła oraz od jej położenia w stosunku do kadłuba. Siła wypadkowa, działająca na lewą lub prawą połówkę skrzydła, równa się połowie ciężaru wszystkich części szybowca wraz z siedzącym w nim pilotem, z wyłączeniem

jednak ciężaru własnego skrzydła, które jak gdyby samo niesie się w powietrzu.

W przypadku działania przyspieszeń, wywołanych podmuchem bądź też wskutek wychylenia steru wysokości, na szybowiec będą naturalnie działały n-krotnie większe siły aerodynamiczne i masowe w porównaniu do sił działających w ustalonym prostoliniowym locie. Wielkość momentu zginającego jest wprost proporcjonalna do rozpiętości i dlatego skrzydła szybowców o dużym wydłużeniu są silnie obciążone.

W celu zmniejszenia dużego momentu zginającego przenoszonego przez środkową partię skrzydła i co za tym idzie — w celu otrzymania lżejszej konstrukcji stosuje się w niektórych szybowcach zastrzały. Zastrzały są to pręty (najczęściej rury profilowane), które zaczepione na skrzydle w pobliżu miejsca działania wypadkowej siły aerodynamicznej połówki skrzydła, przejmują odpowiednie siły i powodują znaczne zmniejszenie momentu zginającego przykadłubowej partii skrzydła. Zastrzały stosuje się obecnie tylko w szybowcach szkolnych ze względu na ich duże opory aerodynamiczne.



Rys. 2—22. Siły działające na szybowiec w locie

Siły aerodynamiczne działające na skrzydło powstają jako rezultat obniżonego ciśnienia powietrza na górnej oraz zwiększonego ciśnienia na dolnej powierzchni skrzydła. Siły te przenoszone są z opływającego powietrza na skrzydło za pośrednictwem pokrycia (patrz rozdział 1, rys. 1—25). Pokrycie górnej powierzchni skrzydła odrywane jest do góry, zaś pokrycie dolnej powierzchni jest do niego dociskane. Ponieważ przy tym pokrycie przytwierdzone jest mocno do dźwigara

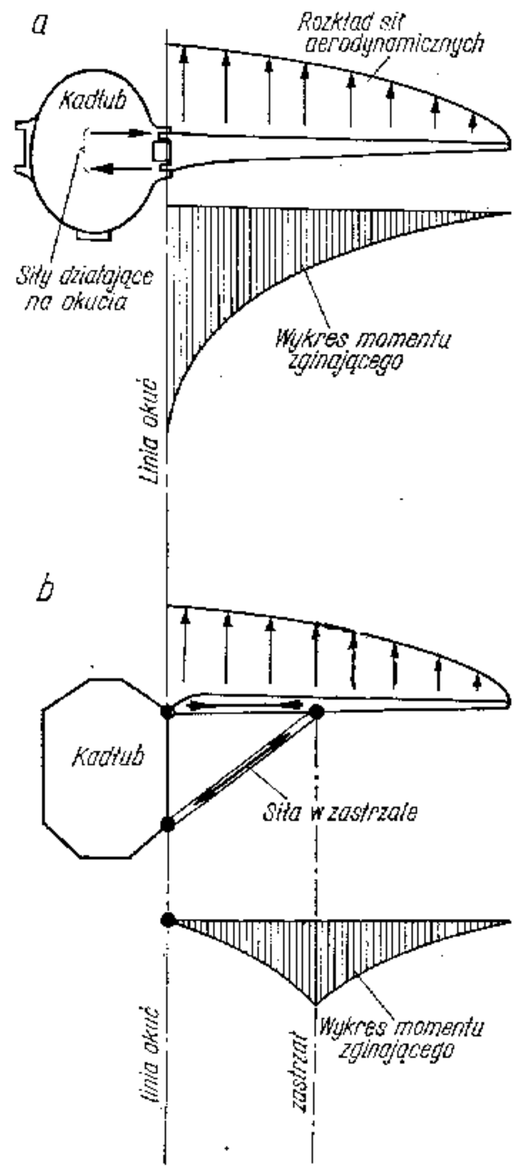
i żeber, dlatego można przyjąć, że siły przenoszone są na dźwigar za pośrednictwem żeber. — Moment zginający skrzydło przenoszony jest więc przez dźwigar.

Rozpatrzmy teraz, jak rozkładają się naprężenia w zginanym dźwigarze. Rozważmy przekrój poprzeczny dźwigara.

Jak widać z rysunku 2—24, górna część dźwigara przenosi ściskanie, dolna rozciąganie, zaś środkowa część dźwigara nie przenosi żadnych naprężeń rozciągających lub ścinających. Taki rozkład naprężeń jest przyczyną, że dźwigar skrzydła składa się z górnego i dolnego pasa, przy czym środek dźwigara mógłby pozostać właściwie pusty. Ponieważ jednak górny i dolny pas przenoszą siły działające w różnych kierunkach i „chciałyby" się względem siebie przesunąć, należy je połączyć na całej długości tzw. ś r o d n i k i e m, to jest pionową ścianką łączącą pasy dźwigara, przeciwstawiającą się temu przesunięciu i przenoszącą w związku z tym naprężenia ścinające.

Pasy dźwigara pracują jedynie na ściskanie i na rozciąganie, a ponieważ — jak wiemy z poprzednich rozważań — drewno wytrzymuje większe naprężenia przy rozrywaniu niż przy ściskaniu, więc w konstrukcji drewnianej pasy dźwigara (górny i dolny) będą miały różne wymiary. Pas ściskany będzie musiał być około dwa razy grubszy niż pas pracujący na rozciąganie.

W dźwigarze metalowym pasy będą miały jednakową grubość ze względu na jednakową wytrzymałość metalu na ściskanie i rozciąganie.



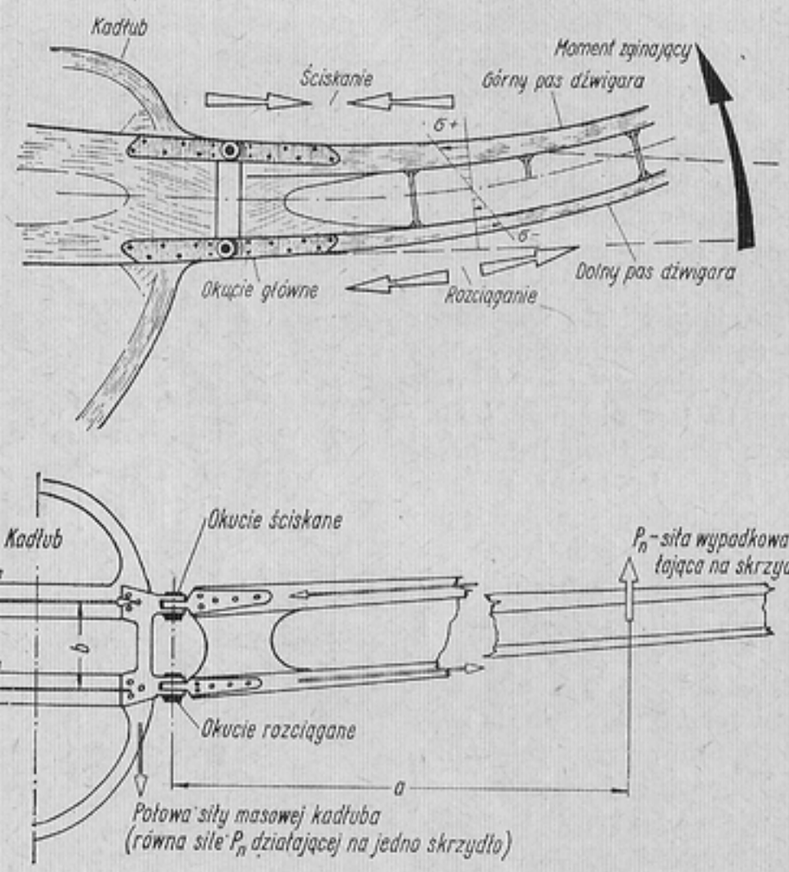
Rys. 2—23. Momenty zginające przenoszone przez skrzydła

a — wolnonośne, *b* — zastrzałowe

Pojedynczy dźwigar główny skrzydła może przenosić tylko momenty zginające działające do góry lub do dołu, czyli tzw. o b c i ą-

żenia normalne, tzn. leżące w płaszczyźnie prostopadłej do cięciwy skrzydła. Jednak wypadkowa siła aerodynamiczna występująca w czasie lotu nie działa na ogół prostopadle do cięciwy profilu, ale — zależnie od kąta natarcia — odchyla się do tyłu lub do przodu skrzydła. Rzut tej siły na płaszczynę cięciwy nazywamy siłą styczną.

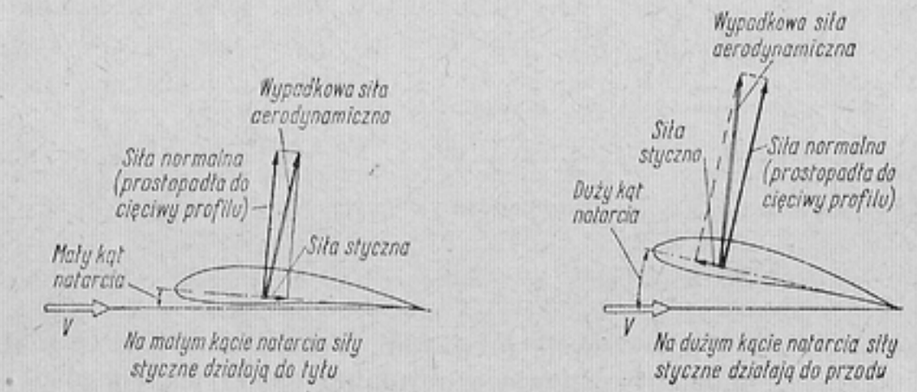
Wskutek pojawiania się sił stycznych na skrzydle występuje moment zginający, tzw. moment styczny, który stara się obrócić



Rys. 2—24. Zginanie dźwigara

skrzydło względem kadłuba w płaszczyźnie cięciw (rys. 2—26). W celu przeniesienia tego momentu skrzydło jednodźwigarowe wyposażone jest w dźwigarek skośny podpierający od tyłu dźwigar główny lub w odpowiednio wzmocnioną listwę natarcia. Skrzydło dwudźwigarowe pozbawione jest dźwigarka skośnego, ponieważ moment styczny przenoszony jest tu przez układ obu dźwigarów powiązanych ze sobą krzyżulcami lub pokryciem sklejkowym.

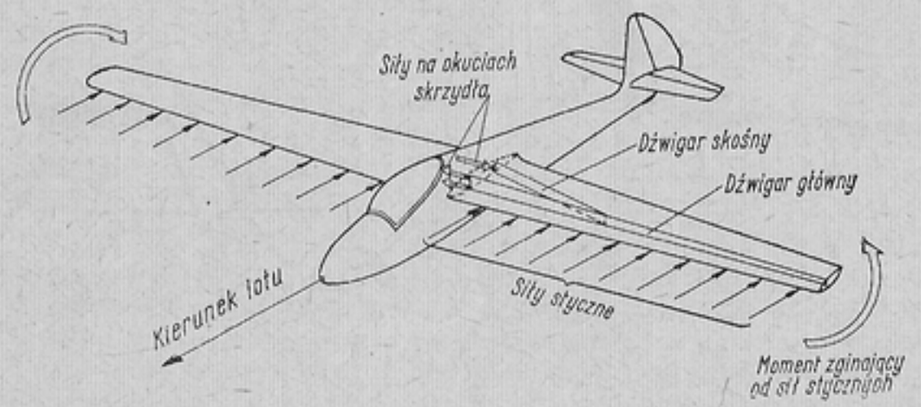
Przy zmianie kąta natarcia wypadkowa siła aerodynamiczna na skrzydle przemieszcza się do przodu lub do tyłu. Ta wędrówka środka parcia powoduje powstawanie momentu, który stara się z kolei skręcić skrzydło względem dźwigara.



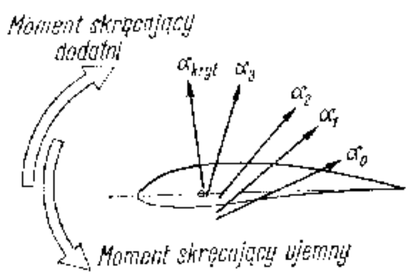
Rys. 2—25. Pojawianie się sił stycznych na profilu skrzydła

W skrzydle jednodźwigarowym moment skręcający przenoszony jest przez keson skrzydła, którego konstrukcja została opisana w następnym rozdziale dotyczącym konstrukcji szybowca. Keson pracuje na skręcanie, tzn. że każdy element jego pokrycia przeciwstawia się momentowi aeordynamicznemu starającemu się skręcić skrzydło, przy czym pokrycie kesonu poddane jest naprężeniom ścinającym. Praca kesonu na skręcanie została zilustrowana na rys. 2—28.

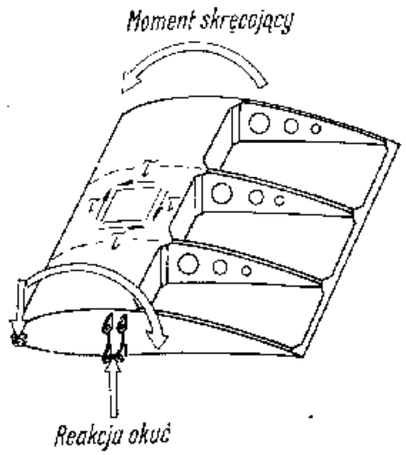
W skrzydle dwudźwigarowym, które nie ma pracującego kesonu, moment skręcający przenoszony jest tu przez zespół obu dźwigarów.



Rys. 2—26. Przenoszenie sił i momentów stycznych przez konstrukcję skrzydła



Rys. 2—27. Moment skręcający skrzydło

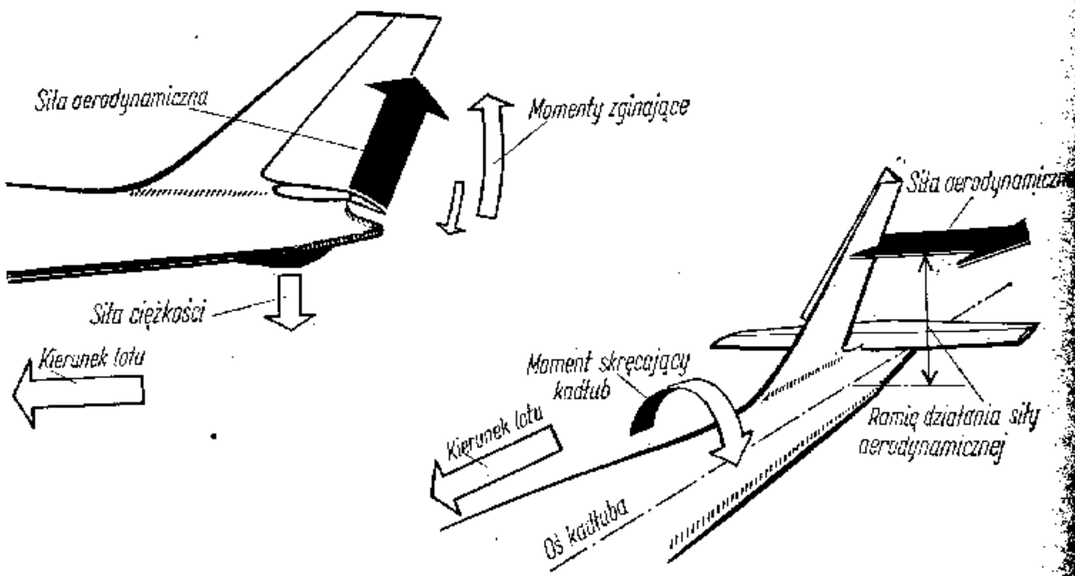


Rys. 2—28. Praca kesonu skrzydła na skręcanie

Jak widzimy z powyższych rozwiązań, skrzydło szybowca zdolne jest przenieść: momenty zginające normalne działające do góry lub do dołu, momenty zginające styczne działające na skrzydło do przodu lub do tyłu oraz momenty skręcające, omówione przez nas ostatnio.

Usterzenia szybowca stanowią jak gdyby małe skrzydełka i dlatego ich obciążenie od sił aerodynamicznych jest analogiczne jak dla skrzydła.

Przód kadłuba obciążony jest siłami masowymi oraz — ewentualnie — siłą od linki holowniczej. Tył kadłuba, natomiast oprócz sił masowych, obciążają również siły aerodynamiczne działające na usterzeniach.



Rys. 2—29. Obciążenie kadłuba od sił aerodynamicznych działających na usterzen

Siła aerodynamiczna występująca na usterzeniu wysokości powoduje zginanie tyłu kadłuba w płaszczyźnie symetrii, zaś siła na usterzeniu kierunku daje zginanie kadłuba w płaszczyźnie bocznej oraz — ze względu na umieszczenie powierzchni usterzenia ponad osią podłużną kadłuba — wywołuje również jego skręcanie. Wielkość momentu skręcającego równa jest wypadkowej sile aerodynamicznej działającej na usterzenie kierunku pomnożonej przez jej odległość od osi kadłuba.

Na sterach oraz lotkach występują tak zwane m o m e n t y z a w i a s o w e działające względem osi zawiasów, dookoła których wychylają się stery. Momenty te przenoszone są za pośrednictwem mechanizmów napędowych na drążek sterowy oraz pedały, gdzie dają się odczuć jako siły reakcji działające na rękę lub nogę pilota, przeciwstawiające się wychyleniu sterów w którąkolwiek stronę od ich neutralnego położenia. Oczywiście pilot, wywierając ze swej strony na drążek lub pedały odpowiednio większe siły, może pokonać te momenty zawiasowe i wychylić stery.

Znając już w ogólnych zarysach pracę głównych części szybowca możemy zastanowić się, w jaki sposób te zespoły konstrukcyjne są ze sobą połączone.

Biorąc pod uwagę dążenie do osiągnięcia jak najmniejszego ciężaru szybowca, najkorzystniej byłoby zbudować go w „jednym kawałku", to jest ze skrzydłem niedzielonym, którego część centralna byłaby połączona na stałe z konstrukcją kadłuba. Niestety względy eksploatacyjne wymagają, aby szybowiec miał skrzydło dzielone, odejmowane od kadłuba oraz składane lub też odejmowane usterzenie wysokości.

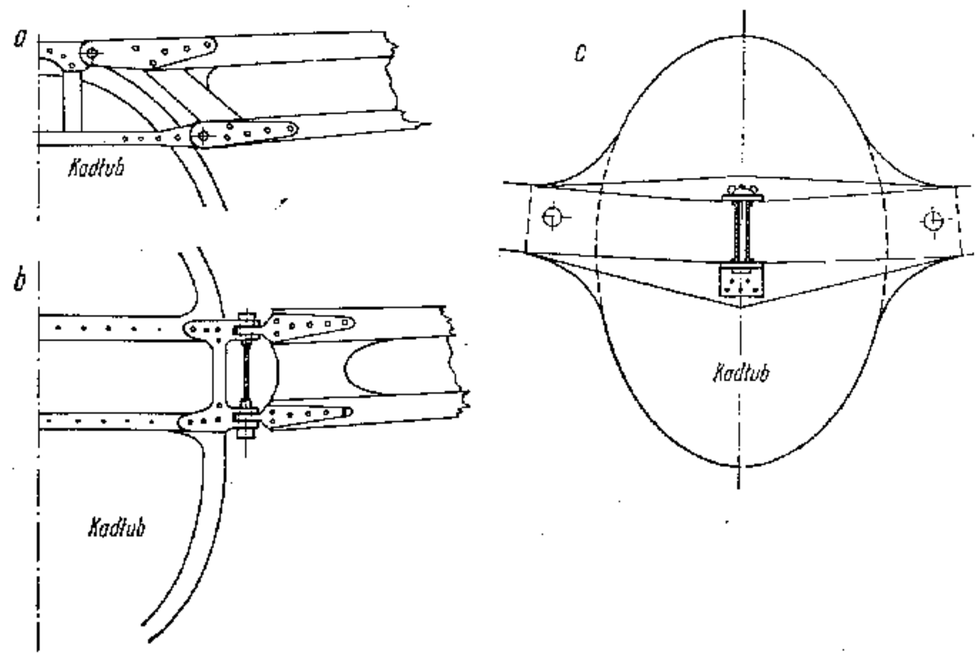
Jak widać z rysunku 2—24, rozcięcie dźwigara skrzydłowego wymaga do połączenia pasów zastosowania okuć, które przenosiłyby siły tyle razy większe od wypadkowej siły aeordynamicznej występującej na połówce skrzydła, ile razy rozstaw uszu okuć jest mniejszy od odległości miejsca łączenia skrzydła do punktu zaczepienia tejże wypadkowej siły aerodynamicznej. Można więc z tego łatwo wnioskować, że siły przenoszone przez okucia są olbrzymie — ucho głównego okucia skrzydła szybowca musi być obliczone na przeniesienie kilkunastu ton, czyli siły równej ciężarowi załadowanego towarowego wagonu kolejowego.

W celu zmniejszenia sił na okuciach i otrzymania lżejszej konstrukcji stosuje się czasem podział skrzydła nie w płaszczyźnie symetrii i nie przy samym kadłubie szybowca, lecz w pewnej od niego odległości, dzieląc skrzydło na trzy części i pozostawiając w jego środkowej partii tak zwany c e n t r o p l a n.

Okucia główne szybowca mogą mieć różne kształty. Jako materiał do ich wykonania używany jest dural lub blachy stalowe. Najczęściej spotykane okucia w typowych konstrukcjach szybowcowych po-

kazane zostały na rysunku 2—30, przy czym rysunek 2—30a, przedstawia dwa przeciwległe ucha okucia, które są łączone przeważnie za pomocą sworznia stożkowego — w celu ułatwienia kasowania luzów powstających w miarę wyrabiania się materiału.

Ucha okucia pracują na rozrywanie lub na ściskanie, sworznie natomiast obciążone są zawsze siłą ścinającą. Pomiędzy sworzniem a uchem okucia występują duże dociski i one to właśnie powo-



Rys. 2—30. Typy głównych okuć nośnych

dują wyrabianie się okuć. W celu osiągnięcia równomierności rozkładu docisków oraz ułatwienia montażu stosuje się często do połączeń uszu okucia tuleje rozprężne, przecięte wzdłuż i rozpierane od wewnątrz stożkami.

Szybowce wysokowyczynowe oraz zawodnicze mają nieraz bardzo ciekawe i skomplikowane okucia, których głównymi zaletami powinny być, obok wysokich własności wytrzymałościowych: lekkość konstrukcji oraz zdolność do szybkiego demontażu i montażu, od tego bowiem zależy często zwycięstwo w zawodach. Podczas przelotów bowiem szybowce bardzo często lądują w terenie przygodnym, który nie nadaje się do startu za samolotem. W takich przypadkach transport powrotny odbywa się drogą kołową, po uprzednim demontażu skrzydeł a często i sterów wysokości.

11. Zapas bezpieczeństwa

Konstrukcja szybowca powinna mieć we wszystkich swoich elementach dostateczną wytrzymałość dla przyjętych warunków użytkowania. Wytrzymałość całego szybowca jest bowiem ograniczona wytrzymałością najsłabszego elementu jego zasadniczej konstrukcji nośnej.

Nie pomogą najmocniej nawet zbudowane skrzydła, jeśli np. w czasie lotu złamie się ster wysokości, lub też jeżeli w mechanizmie sterowania zerwie się jakaś słaba linka. Szybowiec i tak ulegnie katastrofie.

Obciążenia szybowca, omawiane przez nas poprzednio, nazywają się obciążeniami dopuszczalnymi, bowiem mogą one być z dużym prawdopodobieństwem zrealizowane w rzeczywistości bądź to w czasie lotu, bądź też na ziemi. Ponieważ jednak chcemy, aby użytkowanie szybowca w zakresie obciążeń dopuszczalnych nie pozostawiało trwałych śladów deformacji konstrukcji, szybowiec musi tak być zbudowany, aby przy tych obciążeniach naprężenia w materiale nie przekraczały granicy sprężystości.

Charakterystykę wytrzymałościową materiałów stosowanych w szybownictwie omówiliśmy już poprzednio i wiemy, że zniszczenie większości materiałów lotniczych następuje dopiero przy naprężeniach około półtora raza większych od naprężeń odpowiadających granicy sprężystości. Wiemy również, iż konstrukcja szybowca musi być w stanie przenieść stuprocentowe obciążenia dopuszczalne nie doznając przy tym odkształceń trwałych. Z tego też względu obciążenia przewidziane jako niszczące konstrukcję muszą być wyższe od obciążeń dopuszczalnych co najmniej około 1,5 razy.

Ten zapas wytrzymałości, wyrażany stosunkiem obciążeń niszczących do dopuszczalnych, nazywamy współczynnikiem bezpieczeństwa i oznaczamy literą grecką ν (ni).

Zadaniem tego współczynnika jest dodatkowe zwiększenie bezpieczeństwa załogi szybowca. Współczynnik ν wykazuje bowiem ile razy większe obciążenia może wytrzymać szybowiec w porównaniu do tych, które mogłyby zaistnieć w różnych przypadkach lotu, uznanych za dopuszczalne w czasie jego użytkowania. Wytrzymałość doraźna konstrukcji szybowca obliczana jest więc na większe obciążenia niż te, które mogą wystąpić w rzeczywistości. Tak więc współczynnik bezpieczeństwa będzie przedstawiał się następująco:

$$\nu = \frac{\textit{obciążenie niszczące}}{\textit{obciążenie dopuszczalne}} \approx 1{,}5 .$$

Użytkownicy sprzętu latającego powinni zdawać sobie sprawę z tego, że ze względu na wymaganą lekkość konstrukcji lotniczych współczynnik bezpieczeństwa stosowany w lotnictwie jest bez porównania niższy od analogicznych współczynników stosowanych w przemyśle

maszynowym lub w budownictwie. W tych ostatnich konstrukcjach współczynnik bezpieczeństwa jest często dziesięciokrotnie wyższy. Poleca się więc uwadze pilotów, aby nie przeciążali sprzętu latającego ponad jego wytrzymałość obliczeniową ze względu na mały zapas bezpieczeństwa przewidziany dla konstrukcji lotniczych.

Wszystkie typy nowo skonstruowanych szybowców przechodzą badania statyczne, które mają na celu doświadczalne (jednakże bez narażania życia oblatywacza) sprawdzenie rzeczywistej wytrzymałości konstrukcji. Badania te przeprowadza się zastępując obciążenia dynamiczne, występujące w czasie lotu, obciążeniami statycznymi realizowanymi na ziemi za pomocą sił i momentów zmieniających się powoli. Badania te, albo inaczej mówiąc próby statyczne, przeprowadza się obciążając statycznie niektóre części szybowca lub nawet całą jego konstrukcję równocześnie, przeważnie aż do jej zniszczenia, w celu sprawdzenia jej wytrzymałości i określenia rzeczywistego współczynnika bezpieczeństwa.

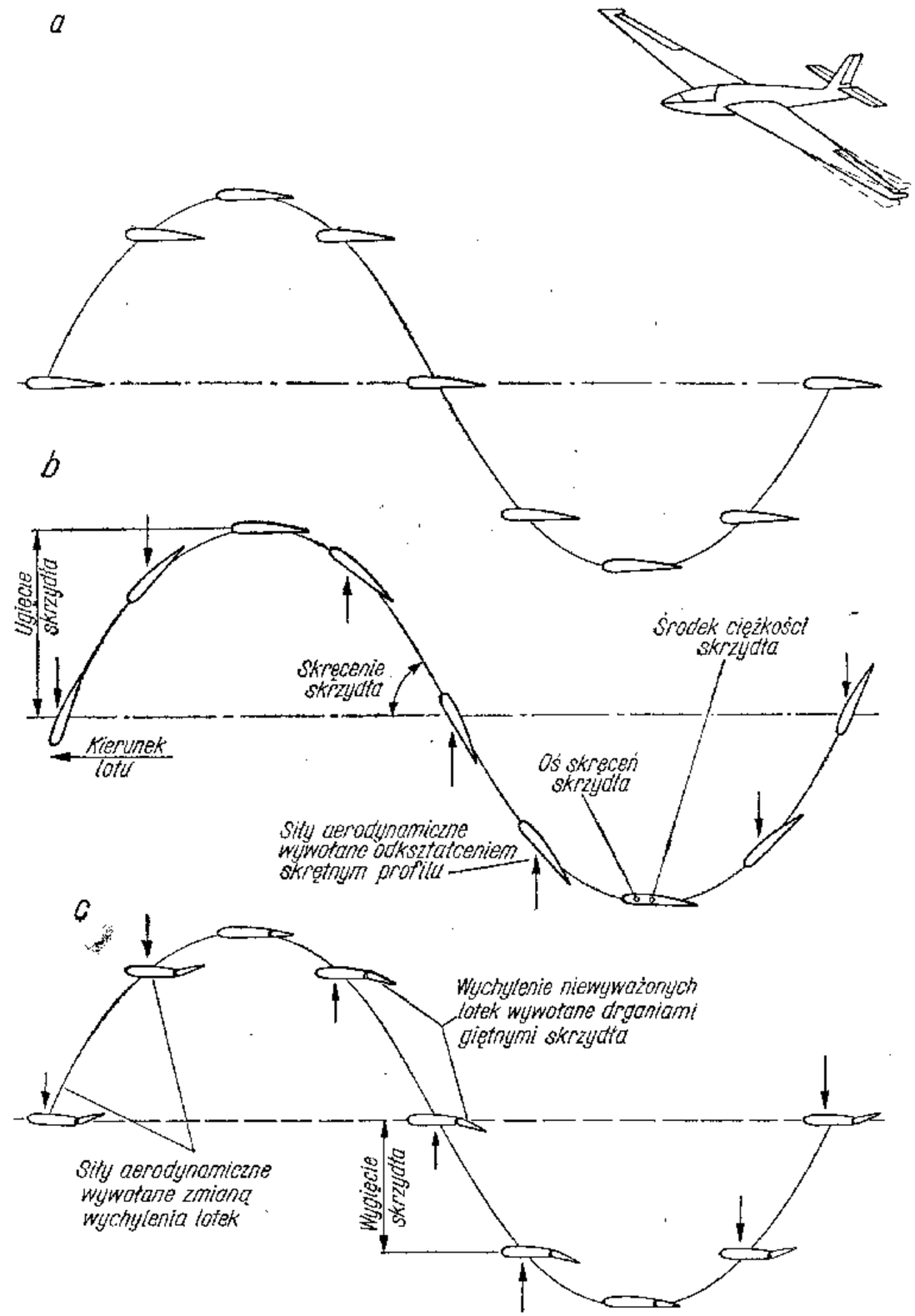
12. Drgania

Siły działające na szybowiec zmieniają się bezustannie, nawet jeżeli pilot będzie utrzymywał stałą prędkość lotu. Siły aerodynamiczne trochę się zmniejszają, to znowu trochę rosną, w miarę jak szybowiec przelatuje obszary mas powietrza poruszającego się w różnych kierunkach i z różną prędkością.

Drgania skrzydła czysto giętne, to znaczy nie połączone ze zmianą kąta natarcia profilu, będą zanikały. Będą one bowiem tłumione przez tarcie wewnętrzne konstrukcji skrzydła, ponieważ poza pojedynczym impulsem zapoczątkowującym drgania dalszego dopływu energii z zewnątrz, która podtrzymywałaby drgania, już nie będzie (rys. 2—31a).

Inaczej przedstawia się sprawa, jeśli drganiom giętnym będą towarzyszyć drgania skrętne skrzydła.

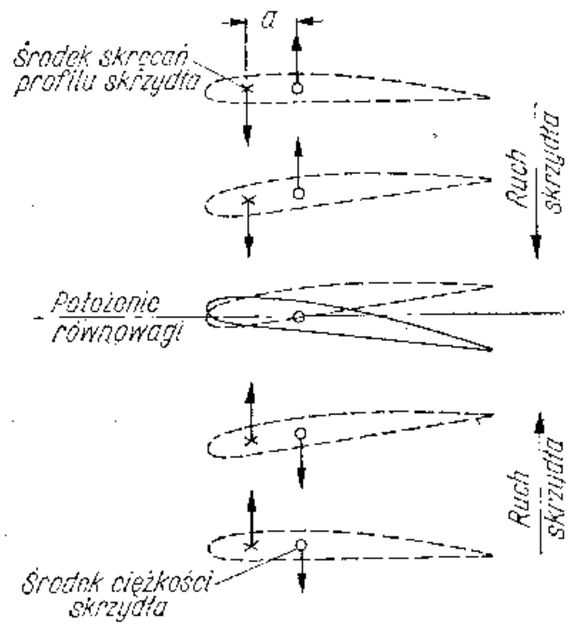
We wszystkich prawie konstrukcjach skrzydeł szybowcowych środek ciężkości skrzydła leży nieco bardziej w tyle poza środkiem skręceń profilu skrzydła, to jest poza punktem, względem którego deformuje się profil pod obciążeniem momentem skręcającym (linia łącząca środki skręceń profili skrzydła nazywa się osią elastyczną). W takim przypadku drganiom giętnym towarzyszyć będą drgania skrętne, gdyż pojawia się dodatkowy pulsujący moment skręcający skrzydło, wywołany przez siłę masową powstającą wskutek drgań giętnych skrzydła i działającą na ramieniu a względem środka skręceń profilu, jak zostało pokazane na rysunku 2—32.



Rys. 2—31. Drgania skrzydła

a — drgania giętne, b — drgania giętno-skrętne bez lotki lub z lotką wyważoną masowo i aerodynamicznie, c — drgania giętne z niewyważoną masowo lotką

Przy takich sprzężonych drganiach giętno-skrętnych pojawia się okresowo na skrzydle siła aerodynamiczna wywołana przez zmianę kąta natarcia profilu (spowodowana przez odkształcenia skrętne skrzydła), jak przedstawia to rysunek 2—31b. Siła ta jest skierowana do góry bądź do dołu, zależnie od ruchu skrzydła.



Rys. 2—32. Wpływ położenia środka ciężkości skrzydła na pojawianie się momentu skręcającego

W ten sposób do układu drgającego skrzydła doprowadzana jest z zewnątrz energia za pośrednictwem pulsujących sił aerodynamicznych, dzięki czemu amplituda drgań ma tendencję do wzrastania. Przeciwstawiają się temu siły sprężyste oraz tłumienie wewnętrzne konstrukcji skrzydła.

Ponieważ jednak siły aerodynamiczne wymuszające drgania skrzydła rosną z kwadratem prędkości lotu, zaś siły tłumiące tarcia wewnętrznego konstrukcji są od prędkości niezależne, to przy pewnej (odpowiednio dużej) prędkości lotu drgania nie tylko nie będą zanikały, lecz będą rosły doprowadzając konstrukcję do zniszczenia. Zjawisko to nazywa się flatterem, zaś prędkość, przy której ono występuje, nazywa się prędkością krytyczną.

Na pojawienie się tego rodzaju drgań, nazywanych również samowzbudnymi, ma także duży wpływ brak wyważenia masowego lotek.

Drganiom giętnym skrzydła towarzyszą w takim przypadku samoczynne wychylenia lotki powodowane przez siły masowe lotki, gdyż punkt zaczepienia tych sił znajduje się z tyłu za osią obrotu lotki (rys. 2—33).

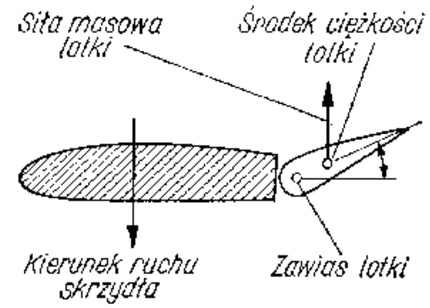
Samoczynne wychylenia lotki powodują powstawanie okresowo pojawiającej się siły aerodynamicznej, dostarczającej energii drgającemu skrzydłu i podtrzymującej drgania, podobnie jak w poprzednio omówionym przypadku drgań giętno-skrętnych skrzydła (rys. 2—31c).

Lotka taka, opuszczając się lub podnosząc, wywołuje równocześnie powstawanie dodatkowego momentu aerodynamicznego skręcającego skrzydło. Z tego też powodu we wszystkich szybowcach dopuszczonych do stosunkowo dużych prędkości lotu (ponad 200 km/godz) stosuje się wyważenie masowe lotek, których przykłady podano na rysunku 2—34.

Dla szybowców bardzo szybkich, np. akrobacyjnych, stosuje się również wyważenia masowe sterów, aby wyeliminować możliwość powstania drgań usterzeń i kadłuba.

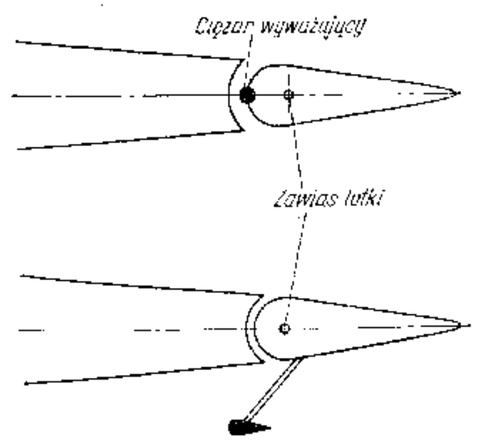
Wyważenie masowe lotki lub steru polega, jak to jest pokazane na rysunku 2—34, na umieszczeniu z przodu, przed osią obrotu, odpowiedniego ciężaru, który zrównoważyłby tylną, znajdującą się poza osią obrotu, część lotki lub steru.

Przy dużej sztywności skrętnej siły sprężyste konstrukcji skrzydła będą w stanie przeciwstawiać się siłom aerodynamicznym, wzbudzającym drgania nawet w zakresie dużych prędkości. Jednak szybowce mają znaczne wydłużenia i w związku z tym trudno jest osiągnąć dużą sztywność skrzydeł na skręcanie przy równocześnie wymaganej lekkości konstrukcji.



Rys. 2—33. Wpływ niewyważenia masowego lotki na powstawanie jej wychyleń

Skrzydła metalowe kryte blachą duralową są na ogół wystarczająco sztywne na skręcanie, gorzej jest natomiast ze skrzydłami o konstrukcji drewnianej i o kesonach krytych sklejką. Ponieważ, jak wiemy z poprzednich rozważań, sklejka ma bardzo różne własności fizyko-mechaniczne zależnie od kierunku włókien, dlatego też w celu uzyskania większej sztywności skrętnej kesony pracujące na skręcanie kryte są przeważnie sklejką o przebiegu włókien 45° względem dźwigara.



Rys. 2—34. Przykłady wyważenia masowego lotek i sterów

Niezależnie od możliwości wystąpienia opisanych wyżej niebezpiecznych drgań może przy dużej prędkości lotu nastąpić tzw. diwergencja skrzydła, czyli jego samoukręcenie. W locie nurkowym, pomimo zerowej siły nośnej, skrzydło jest silnie obciążone momentem skręcającym (ze względu na wysklepienie linii szkieletowej profilu) i po osiągnięciu pewnej, odpowiednio dużej, prędkości lotu skrzydło może zostać po prostu ukręcone.

Na takie niebezpieczeństwo narażone są zwłaszcza szybowce o mało sztywnych skrzydłach (mające keson o małym przekroju poprzecznym lub też cienkie pokrycie kesonu), gdyż odkształcenia skrętne skrzydła powodują dalszy wzrost aerodynamicznego momentu skręcającego, co w konsekwencji może doprowadzić do samoukręcenia się skrzydła.

Z omówionych powyżej zjawisk, które mogą wystąpić przy nadmiernej prędkości lotu, najczęściej spotykany jest **flatter**. W konstrukcjach szybowcowych może się on pojawić nawet przy prędkościach niewiele wyższych od maksymalnej dopuszczalnej prędkości lotu. Z flatterem — niestety — nasze szybownictwo już się zapoznało bliżej. Zdarzały się bowiem wypadki rozsypania szybowców w powietrzu wskutek drgań, które wystąpiły w bardzo burzliwych warunkach chmurowych.

Bardzo silne podmuchy, jakie występują w chmurach, mogą spowodować pojawienie się drgań w zakresie górnych użytkowych prędkości lotu, niższych od prędkości krytycznej obliczonej dla spokojnej atmosfery. Dlatego też należy przyjąć zasadę, że w burzliwych warunkach chmurowych pilot powinien przede wszystkim wystrzegać się rozpędzenia szybowca.

Chwila od wystąpienia pierwszych objawów flatteru do zniszczenia drgającego elementu jest bardzo krótka. Trwa ona zaledwie parę sekund i kończy się połamaniem lotki lub ukręceniem skrzydła. Siły, jakie wówczas powstają, są bardzo duże i potrafią nieraz zniszczyć mocne okucia oraz ukręcić lub **roztrzepać** końce skrzydeł w jednym mgnieniu oka.

Rozpatrzmy jeszcze jeden rodzaj drgań, z którym często spotykamy się na szybowcach. Na szczęście drgania te nie są specjalnie groźne dla konstrukcji, a to przede wszystkim dlatego, że towarzyszą one raczej małym prędkościom lotu. Jest to tak zwany **baffeting**, który polega na tym, że na dużych kątach natarcia pojawiają się za skrzydłami silne zawirowania strug powietrza. Strugi te, opływając usterzenie wysokości (jeśli usterzenie znajdzie się w obszarze zaburzonym), będą wskutek zawirowań zmieniały jego kąt natarcia, co powodować będzie pojawienie się pulsujących sił — no i usterzenie wysokości wraz z całym tyłem kadłuba zacznie drgać.

Baffeting występujący w pobliżu prędkości minimalnej szybowca jest zjawiskiem korzystnym, ponieważ „ostrzega" jak gdyby pilota, że szybowiec znajduje się na krytycznym kącie natarcia (patrz również rozdział 1, pkt 16). Nie jest jednakże dobrze, jeżeli drgania te występują na prędkościach sporo większych niż minimalna.

Podobne zjawisko drgań powodować mogą wysunięte płyty hamulców aerodynamicznych.

Szybowce, jak każdy zresztą sprzęt służący do wykonywania lotów, muszą gwarantować użytkownikowi pełne bezpieczeństwo. Najdokładniejsze przy tym obliczenia oraz najsumienniej nawet przeprowadzone próby statyczne prototypu nowo skonstruowanego szybowca nie zastąpią nigdy pełnowartościowych badań w locie. Dlatego też po dokładnym sprawdzeniu szybowca na ziemi przeprowadza się jego oblatanie w powietrzu przez pilota-oblatywacza.

Oblatywacz jest to specjalnie doświadczony i wytrawny pilot, który specjalizuje się w prowadzeniu badań sprzętu lotniczego w powietrzu. W czasie prób i badań w locie sprawdza on za pomocą odpowiednich przyrządów rzeczywistą doskonałość szybowca, dokonuje odpowiednich pomiarów, bada stateczność i sterowność szybowca, jego zachowanie się po przeciągnięciu, prawidłowość korkociągu itp.

Do najbardziej emocjonujących prób należą jednakże próby maksymalnej prędkości szybowca (oblatywacz musi ją dla pewności przekroczyć o 10%) oraz wyrwanie z wyższym od dopuszczalnego współczynnikiem obciążenia.

W czasie badań w powietrzu wykryte zostają wszystkie wady szybowca, często wręcz niemożliwe do wykrycia na ziemi. Dopiero po przeprowadzeniu całej serii prób oraz wprowadzeniu odpowiednich zmian i ulepszeń w konstrukcji szybowiec może być przekazany jako pełnowartościowy sprzęt lotniczy do produkcji większej ilości egzemplarzy oraz do użytkowania w aeroklubach i ośrodkach lotniczych.

Mgr inż. *Irena Kaniewska*

Rozdział trzeci

Konstrukcja szybowca

1. Charakterystyczne typy szybowców

Chcąc zapoznać się z konstrukcją szybowców, najlepiej rozpatrywać je poszczególnymi grupami, w których znajdować się będą szybowce o jednakowym lub zbliżonym przeznaczeniu. Budowane w jednym celu mają one wspólne cechy charakterystyczne, które wyróżniają je z ogółu szybowców.

Biorąc pod uwagę przeznaczenie można przeprowadzić następującą klasyfikację zasadniczą szybowców: szybowce szkolne, treningowe, wyczynowe, akrobacyjne oraz szybowce specjalne. Ponadto, niezależnie od powyższej klasyfikacji, można jeszcze szybowce podzielić na jednomiejscowe i dwumiejscowe.

Często buduje się szybowce jako wielocelowe, to znaczy z góry przeznacza się je do spełniania kilku zadań: np. do szkolenia uczniów, jak również do umożliwienia wykonywania lotów treningowych świeżo wyszkolonym pilotom na tym samym typie szybowca. Taki szybowiec nazywa się wówczas szybowcem szkolno-treningowym. Podobnie zresztą można spotkać szybowiec treningowo-wyczynowy, który służy zarówno do treningu, jak i do wykonywania lotów wyczynowych, lub też szybowiec wyczynowo-akrobacyjny, to znaczy szybowiec wyczynowy mający odpowiednią wytrzymałość zezwalającą na wykonywanie pełnej akrobacji.

Szybowce wielocelowe będą więc miały cechy pośrednie, łączące własności charakterystyczne różnych klas szybowców, których zadania mogą z powodzeniem spełniać.

Na wstępie omówimy charakterystyczne cechy poszczególnych typów szybowców, będących reprezentantami wymienionych wyżej grup.

a. Szybowiec szkolny jednomiejscowy

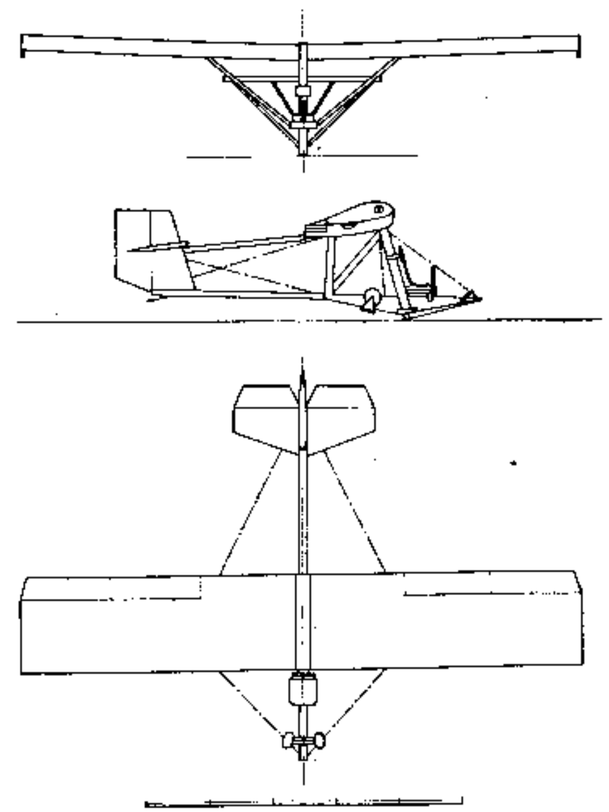
Ten typ szybowca jest już w obecnej chwili raczej typem „wymierającym", jednakże należy docenić jego udział w dotychczasowym rozwoju szybownictwa.

Szybowiec szkolny służący do szkolenia metodą jednomiejscową musi odznaczać się niskim kosztem produkcji, łatwością w przeprowadzaniu remontów i mocną budową, a ponadto — i to chyba powinno być jego najważniejszą cechą — powinien mieć bezpieczne własności lotne.

Szybowiec szkolny jednomiejscowy musi być łatwy w pilotażu, niezbyt czuły na stery, powinien — jak mówią niektórzy — sam latać. Błędy pilotażowe popełniane przez ucznia-pilota nie mogą powodować przykrych i niebezpiecznych konsekwencji. Szybowiec taki nie może, nawet przy całkowitym przeciągnięciu, wchodzić w korkociąg. Ta bowiem „figura akrobacyjna", wykonywana czasem mimo woli przez początkujących pilotów, bywa przyczyną licznych poważnych wypadków lotniczych. Dlatego też szybowiec, na którym uczeń ma samodzielnie zdobywać umiejętność pilotażu, musi być odpowiednio „wyrozumiały" na brak koordynacji ruchów sterami oraz na nerwowe często zachowanie się początkującego pilota.

Reasumując powyższe, ten typ szybowca musi do pewnego stopnia zastąpić instruktora, który pozostaje na starcie i śledzi z oddali samodzielne poczynania swojego ucznia w powietrzu.

Aby ułatwić „pierwsze kroki" ucznia w powietrzu, szybowiec szkolny charakteryzuje duża stateczność, tzn. jest on tak skonstruowany, że wytrącony z położenia równowagi ma wyraźną tendencję powrotu do prawidłowego lotu. Przy dużej stateczności szybowca pilot musi wywrzeć znaczną siłę na sterownicę, aby wprowadzić go w jakieś niebezpieczne położenie.



Rys. 3—1. Szybowiec szkolny jednomiejscowy IS-3 „ABC"

Własności lotne, czyli tzw. osiągi szybowca szkolnego, są raczej skromne. Jego doskonałość wynosi zaledwie 11 do 12, ale przecież uczeń musi stopniowo oswajać się z wysokością i prędkością lotu, musi nauczyć się panować nad łatwym i wybaczającym błędy szybowcem szkolnym. Rozpiętość szybowca waha się w granicach od 9 do 11 m, a jego ciężar własny wynosi od 100 do 120 kG. Skrzydło, z reguły o obrysie prostokątnym, podparte zastrzałami, osadzone jest na kracie lub na belce kadłubowej usztywnionej linkami.

Część przednia szybowca szkolnego, tzw. skrzynka, jest zbudowana szczególnie mocno. Ma to na celu ochronę pilota w przypadku nieprawidłowego lądowania, które nie wyszkolonemu uczniowi łatwo może się przydarzyć. Z tego samego powodu szybowiec szkolny wyposażony jest w bardzo dobrą amortyzację, tzn. że bez szkody dla całości konstrukcji (no i pilota) może wytrzymać dużo gwałtowniejsze zetknięcia się z ziemią, niż zezwoliłby na to inny typ szybowca.

Pomimo tych wszystkich założeń często zdarza się, że przy lądowaniu szybowiec zostanie uszkodzony. Dlatego też w szybowcach szkolnych przewidziana jest łatwa i szybka wymiana niektórych jego części, najbardziej narażonych na tego typu uszkodzenia. Całe gotowe już zespoły, jak na przykład płoza, skrzynka, lotki, stery itp., są w szerokim zakresie zamienne. Złożone w magazynie mogą w każdej chwili zastąpić uszkodzoną część szybowca i nie dopuścić do przerwy w wykonywaniu lotów.

Na szybowcu szkolnym można startować ze zbocza za pomocą lin gumowych lub też na terenie płaskim korzystając z wyciągarki.

Kiedy uczeń opanuje już zasady lotu po prostej i zakręty, wówczas następuje uroczysty moment — na przód szybowca szkolnego zostaje założona kabinka. Polepszy ona własności aerodynamiczne szybowca i przygotuje pilota do „przelaszowania" na typ następny, to jest na szybowiec treningowy.

Typowym i najszerzej stosowanym w polskim szybownictwie po II Wojnie Światowej szybowcem szkolnym był IS-3 „ABC", przedstawiony na rysunku 3—1.

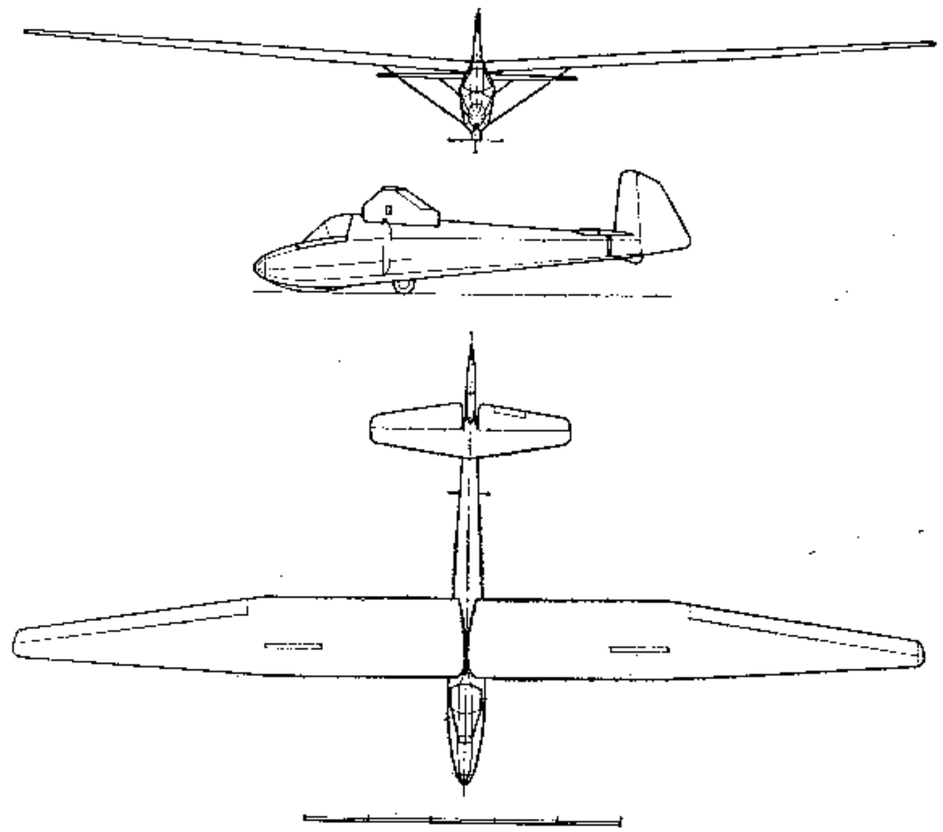
b. Szybowiec treningowy

Ten typ szybowca służy dla doskonalenia w pilotażu oraz daje pilotowi możność nabierania odpowiedniego doświadczenia w lotach żaglowych i w dłuższym utrzymywaniu się w powietrzu. Na tym typie szybowca pilot wykonuje swoje pierwsze przeloty i zdobywa warunki do Srebrnej Odznaki Szybowcowej, przeszkala się w lotach holowanych za samolotem oraz w akrobacji podstawowej.

Aby umożliwić wykonanie tych zadań, szybowiec treningowy musi być odpowiednio „lepszy" aerodynamicznie od szybowca szkolnego.

Musi on mieć doskonałość powyżej 20, co przy zachowaniu obciążenia powierzchni nośnej poniżej 20 kG/m² i rozpiętości 13 do 14 m pozwala na łatwe wykorzystywanie prądów termicznych atmosfery.

Szybowiec treningowy musi oczywiście być bardziej czuły na stery niż szybowiec szkolny. Zachowując jak najbardziej prawidłowe własności pilotażowe powinien przy tym być zdolny do wykonywania pewnych figur akrobacji podstawowej, a między innymi korkociągu.



Rys. 3—2. Szybowiec treningowy jednomiejscowy SZD-15 „Sroka"

Ponadto musi już być wyposażony w przyrządy ułatwiające pilotowi prawidłowy pilotaż oraz korzystanie z prądów wznoszących. Limuzyna zamykająca kabinę przyzwyczaja pilota do przyszłych lotów na sprzęcie wyczynowym.

Szybowiec tego typu ma już kadłub a nie kratę, zaś jego podwozie nie przewiduje rażących błędów pilota przy lądowaniu. Należy jeszcze dodać, że szybowce treningowe zaopatrzone są również w urządzenia zwiększające bezpieczeństwo lotu oraz urządzenia ułatwiające lądowanie. Tymi urządzeniami są na ogół hamulce aerodynamicz-

ne, które ograniczają maksymalną prędkość lotu oraz służą do zwiększenia nachylenia toru lotu. To ostatnie zastosowanie hamulców aerodynamicznych jest przede wszystkim niesłychanie cenne dla mało doświadczonego pilota przy lądowaniu w terenie przygodnym w czasie wykonywanych przelotów. Ponadto łatwy montaż i demontaż szybowca powinien pozwalać na szybki powrót z przelotu wozem trasportowym, zwłaszcza w przypadku lądowania w terenie nieodpowiednim do startu za samolotem.

Start na holu oraz transport szybowca treningowego po lotnisku ułatwia kółko transportowe, umieszczone na stałe mniej więcej pod środkiem ciężkości szybowca. Ponieważ na szybowcach tego typu piloci przebywają w powietrzu nieraz całymi godzinami, dla zapewnienia im odpowiedniej wygody stosowana jest często regulacja odległości pedałów od fotela zależnie od wzrostu pilota.

Oprócz mechanizmu przestawiania pedałów, które odbywać się może również podczas lotu, w kabinie szybowca treningowego zainstalowane są jeszcze inne urządzenia zwiększające wygodę i bezpieczeństwo pilota, jak oparcie przystosowane do spadochronu (przeważnie regulowane na ziemi), specjalny przewietrznik kabiny, otwierane okienko w szybie limuzyny, awaryjny zamek do odrzucania limuzyny, dźwignia napędu klapki wyważającej szybowiec na odpowiedniej prędkości lotu itp.

Należy dodać, że w szybowcach tej klasy stery są już częściowo aerodynamicznie odciążone, tak że pilot bez wysiłku może poruszać drążkiem sterowym nawet na dużych prędkościach lotu i w burzliwych warunkach atmosferycznych.

Jak z tego widać, nawet długotrwałe przebywanie w powietrzu na szybowcu treningowym nie będzie wywoływało u pilota niepotrzebnego zmęczenia i pozwoli mu odczuć w całej pełni przyjemność latania szybowcowego.

Grupę szybowców treningowych reprezentują w okresie powojennym: „Komar 48" (szybowiec konstrukcji przedwojennej zrekonstruowany w 1948 roku w Instytucie Szybownictwa), SZD-15 „Sroka" oraz SZD-16 „Gil".

Przy szkoleniu metodą jednomiejscową korzystano ponadto w swoim czasie z jeszcze jednego typu szybowca, pośredniego pomiędzy szybowcem szkolnym a treningowym. Nazywał się on szybowcem przejściowym. Miał przeważnie kadłub kratowy usztywniony linkami oraz był wyposażony w stałą, otwartą kabinę. Ten typ szybowca został jednak w dalszym cyklu rozwoju szybownictwa zaniechany, ze względu na ekonomicznie uzasadnioną konieczność zmniejszenia liczby pośrednich typów szybowców.

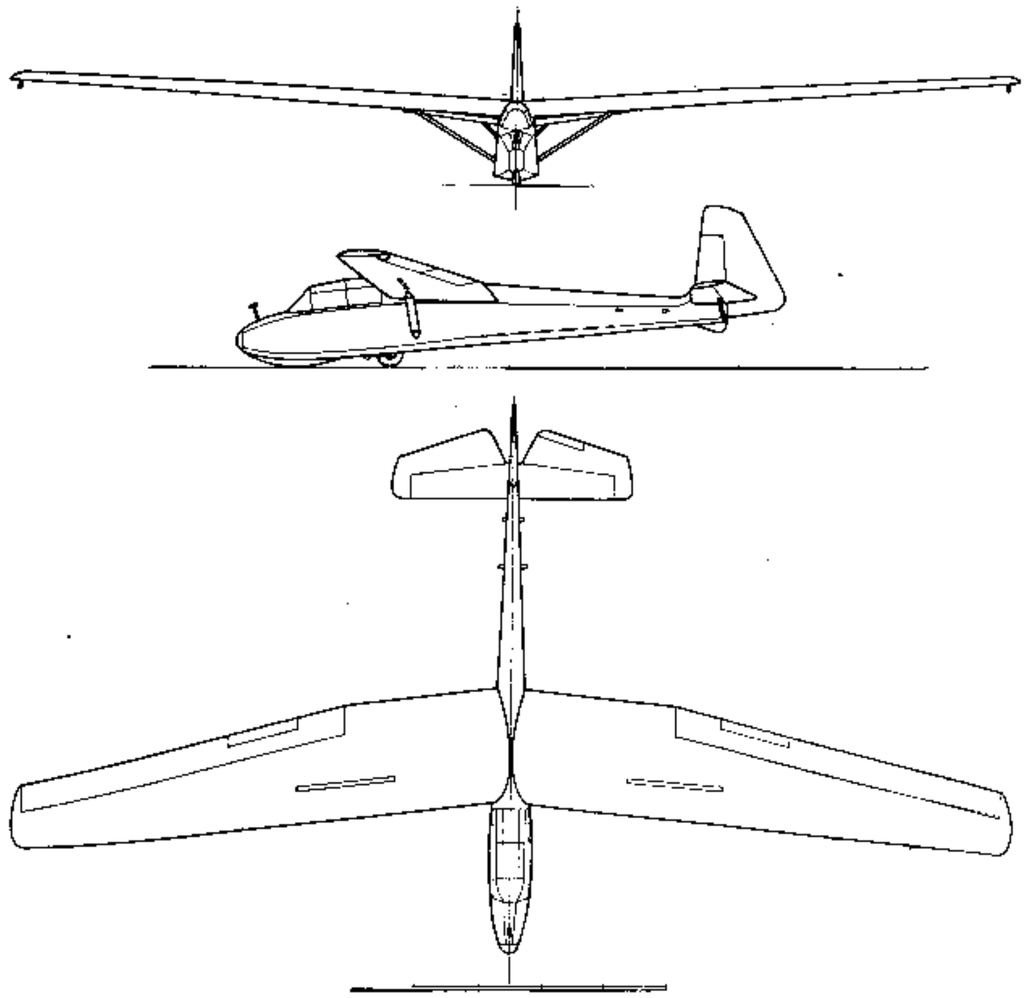
Do klasy szybowców przejściowych należał w latach powojennych zrekonstruowany przez zespół Instytutu Szybownictwa w Bielsku szybowiec inż. Czerwińskiego „Salamandra".

c. Szybowiec szkolny dwumiejscowy

Ten typ szybowca łączy w sobie cechy użytkowe omówionych poprzednio typów szybowców.

Szybowiec szkolny dwumiejscowy przeznaczony jest do szkolenia metodą dwumiejscową, to znaczy do wykonywania lotów szkolnych ucznia-pilota z instruktorem. Ta metoda szkolenia, jako bardziej skuteczna i bezpieczniejsza, wyparła prawie całkowicie metodę jednomiejscową.

Szybowiec ten jest zasadniczo szybowcem kadłubowym, przeważnie o skrzydłach zastrzałowanych, w celu zyskania na lekkości konstrukcji. Ze względu na znaczny ciężar dwuosobowej załogi musi ponadto mieć dużą powierzchnię nośną, która zapewnia mu możliwie małą prędkość opadania.



Rys. 3—3. Szybowiec szkolny dwumiejscowy SZD-10 „Czapla"

Szybowiec tego typu łączy w sobie cechy dwóch poprzednich szybowców jednomiejscowych — szkolnego i treningowego. Powinien więc charakteryzować się bezpiecznymi własnościami lotnymi, nie powinien jednak sam latać, jak to było wymagane od szybowca szkolnego jednomiejscowego. Na szybowcu dwumiejscowym przyszły pilot uczy się prowadzić szybowiec prawidłowo i bezpiecznie, a następnie wykonuje na nim pierwsze loty samodzielne. W dalszej edukacji pilota szybowiec ten służy do przeszkolenia w lotach holowanych za samolotem oraz do nauki podstawowej akrobacji pod okiem instruktora.

Parametry szybowca szkolnego dwumiejscowego będą się zawierały w granicach: rozpiętość 14—16 m, doskonałość około 20 oraz ciężar w locie około 400 kG.

d. Szybowiec wyczynowy

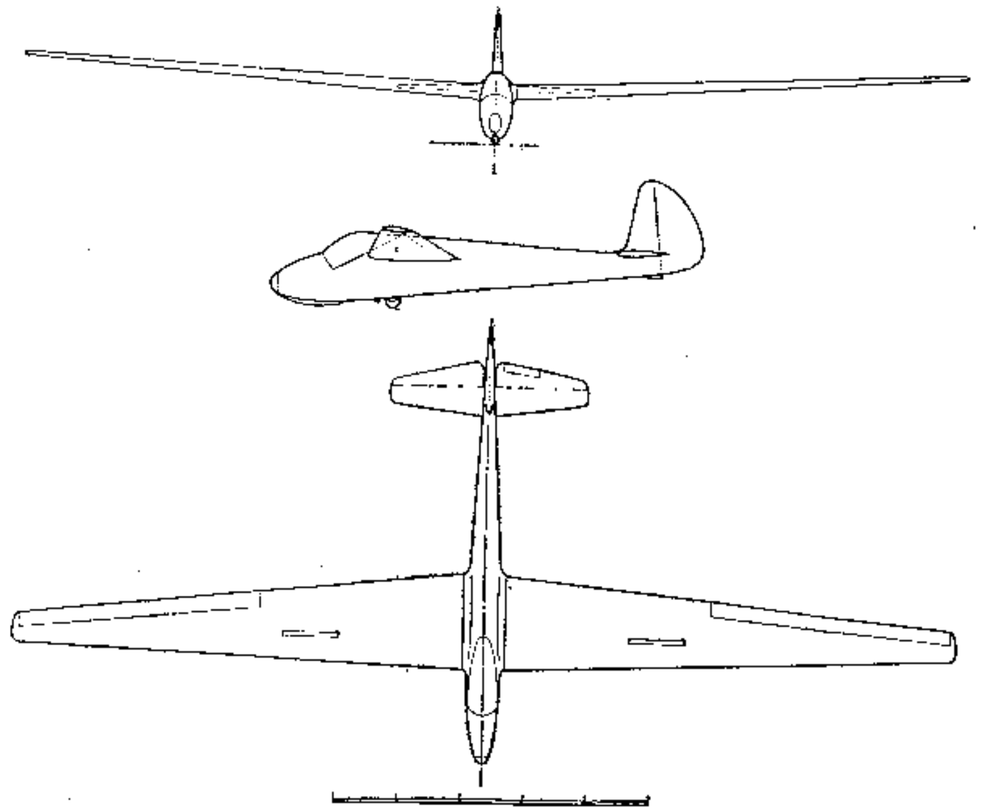
Szybowce wyczynowe tworzą bardzo liczną rodzinę różnych typów, częstokroć znacznie różniących się od siebie. W tej grupie trzeba przede wszystkim wyodrębnić tzw. szybowiec treningowo-wyczynowy, będący jak gdyby pośrednim typem pomiędzy szybowcem treningowym i wyczynowym.

Szybowiec tego typu ma już doskonałość rzędu 20—26, przy rozpiętości skrzydeł 14—15 m, przy czym skrzydło jest z reguły wolnonośne, a kabina wyposażona w limuzynę. Ciężar w locie waha się na ogół w granicach 270 do 300 kG. Głównymi zadaniami szybowca treningowo-wyczynowego jest umożliwienie szerokiej rzeszy pilotów tzw. małego wyczynu, czyli wykonywanie termicznych lotów treningowych, lotów warunkowych do Srebrnej i Złotej Odznaki Szybowcowej, treningowych lotów chmurowych, treningowych lotów w akrobacji podstawowej itp.

Szybowiec treningowo-wyczynowy musi być całkowicie poprawny pilotażowo, jednakże powinien reagować bardziej „żywo" na wszelkie wychylenia sterów. Obciążenie powierzchni nośnej stosowane w granicach około 18—22 kG/m² pozwala, pomimo braku urządzeń do zwiększenia wyporu, na ciasne krążenie w kominach termicznych — a co za tym idzie — i na dobre wykorzystywanie prądów wznoszących.

Typowym przedstawicielem tej grupy jest stosowany masowo w kraju po wojnie SZD-12 „Mucha 100".

Drugą grupę stanowią, oczywiście, szybowce wyczynowe w prawdziwym tego słowa znaczeniu. Mają one przede wszystkim zapewnić pilotom możliwość tzw. „wysokiego wyczynu", tzn. służyć jako szybowce do zdobywania warunków do Złotej i Diamentowej Odznaki Szybowcowej, do ustanawiania klubowych i krajowych



Rys. 3—4. Szybowiec treningowo-wyczynowy SZD-12 „Mucha 100"

kordów w przelotach odległościowych i szybkościowych, a ponadto mogą być również sprzętem, na którym odbywają się szybowcowe mistrzostwa w skali krajowej.

Nowoczesne szybowce wyczynowe charakteryzują obecnie piękne i wysmukłe sylwetki o opływowych kształtach. Ich doskonałość aerodynamiczna wynosi 27 do 35 a nawet więcej. Tak wysokie doskonałości można osiągnąć dzięki zastosowaniu dużych wydłużeń skrzydła, profili laminarnych na skrzydle i usterzeniach, małych przekrojów czołowych szybowca oraz bardzo starannego opracowania aerodynamicznego całego szybowca.

W nowoczesnych szybowcach wyczynowych stosuje się na ogół duże obciążenia powierzchni skrzydeł (w granicach 25 do 35 kG/m²) w tym celu, aby osiągnąć dużą prędkość przelotową oraz otrzymać możliwie duże wydłużenie skrzydła. Ponieważ jednak ze względu na zwrotność szybowca przekraczanie rozpiętości 16—18 m nie jest korzystne, maksymalne wydłużenia jakie można osiągnąć przy założeniu wyżej wymienionych wartości obciążenia powierzchni nośnej nie przekraczają 18 do 22.

Dość duże obciążenie powierzchni nośnej oraz zastosowanie na

skrzydle p r o f i l i s z y b k i c h, które z reguły nie mają dużych wartości $c_{z\,max}$, spowodowało to, że szybowce wyczynowe są przeważnie zaopatrzone w klapy wyporowe pozwalające na zmniejszenie ich prędkości w krążeniu. W celu zmniejszenia oporów szkodliwych szybowce tego typu są już wyposażone w chowane kółko podwozia, zaś cały kadłub — a zwłaszcza kabina pilota — są oprofilowane bardzo starannie, tak aby nie wywoływały zawirowań strug powietrza opływającego szybowiec.

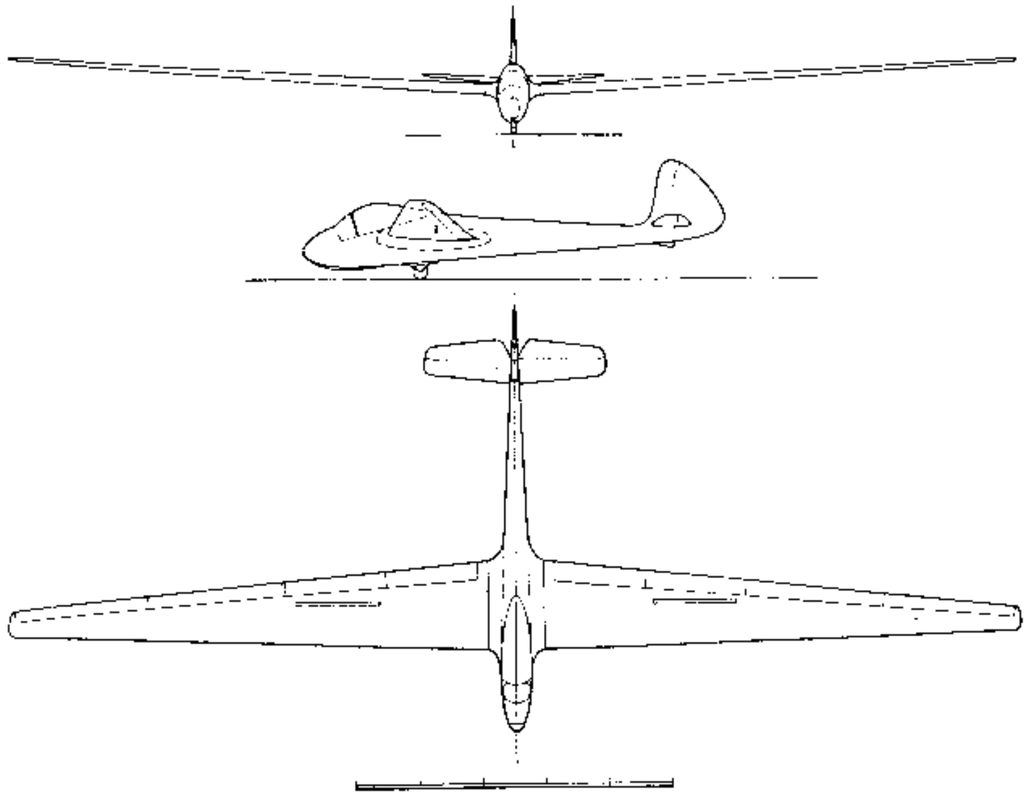
Szybowce wyczynowe muszą mieć bardzo dobre własności lotne. Specjalnie przy tym ceniona jest duża prędkość przeskokowa, to znaczy małe opadanie na dużej prędkości lotu. Ponadto powinny się one również odznaczać wysoką wytrzymałością, konieczną do lotów w chmurach, gdzie występuje bardzo silna turbulencja atmosfery. W odróżnieniu od poprzednich typów szybowce wyczynowe nie wybaczają błędów w pilotażu i trzeba naprawdę dobrze umieć latać, aby wykorzystać ich wszystkie możliwości.

Kabiny szybowców wyczynowych urządzone są bardziej komfortowo niż w szybowcach treningowych. Fotele, w których piloci siedzą na ogół w pozycji półleżącej, są miękko wyściełane, zaś po bokach kabiny umieszczone są bagażniki i kieszenie na żywność, mapy oraz przyrządy nawigacyjne. Aby przy tym zapewnić w możliwie największym stopniu bezpieczeństwo w lotach wyczynowych, wykonywanych przeważnie w trudnych warunkach atmosferycznych, np. w czasie wiatru halnego lub też wewnątrz chmur burzowych, szybowiec wyposażony jest dodatkowo w różne, nieraz bardzo kosztowne aparaty i urządzenia. Są to na ogół takie instalacje, jak np. instalacja odgromowa — chroniąca pilota przed porażeniem od wyładowań elektrycznych, aparat tlenowy — umożliwiający pilotowi normalne oddychanie na dużych wysokościach (używany na wysokości ponad 4500 m), radio — za pomocą którego pilot może porozumiewać się z innymi załogami szybowców lub ze stacją naziemną, instalacje ogrzewcze — zapobiegające oblodzeniu najbardziej narażonych na nie urządzeń i przyrządów itp.

Montaż i demontaż szybowca powinien być łatwy i odbywać się bardzo szybko — dosłownie w ciągu paru minut. Ma to olbrzymie znaczenie, np. w czasie zawodów, kiedy szybkość transportu szybowca może zadecydować o wygranej.

Szybowce wyczynowe są sprzętem kosztownym. Konstruktor bowiem, chcąc sprostać stawianym obecnie wymaganiom, musi używać specjalnych materiałów o wysokiej wytrzymałości. Ponadto samo wykończenie szybowca powinno być również bardzo staranne, bowiem dopiero równa i gładka jak lustro powierzchnia, przy równoczesnym idealnym zachowaniu kształtu profilu, może zapewnić laminarny opływ skrzydła i zagwarantować osiągnięcie dobrych wyników.

Typowym przedstawicielem szybowca wyczynowego, szeroko stosowanego w polskim szybownictwie w latach pięćdziesiątych, na którym piloci zdobyli wiele dziesiątków diamentów oraz przez wiele lat odnosili sukcesy na zawodach krajowych i zagranicznych jest SZD-8 bis „Jaskółka".



Rys. 3—5. Szybowiec wyczynowy SZD-8 bis „Jaskółka"

e. Szybowiec zawodniczy

Wśród licznej rodziny szybowców wyczynowych wysokiej klasy wyróżniają się dodatkowo jak gdyby pewne grupy specjalnościowe. Są to szybowce przystosowane specjalnie do zawodów, tzw. s z y b o w c e z a w o d n i c z e oraz s z y b o w c e r e k o r d o w e, których przeznaczeniem jest umożliwić najbardziej wykwalifikowanym pilotom udział w międzynarodowych zawodach lub bicie międzynarodowych rekordów. Szybowce te są „kwiatem" konstrukcji szybowcowych, najwyższym osiągnięciem techniki. Odzwierciedla się to w ich popularnej wśród szybowników nazwie „superorchidea".

Szybowce zawodnicze budowane są dużym nakładem kosztów i najczęściej w niewielu tylko egzemplarzach, co jeszcze bardziej

podraża koszty produkcji. Przy ich konstrukcji wykorzystywane są najnowsze zdobycze wiedzy lotniczej, aeordynamiki i technologii. Dla „wyśrubowania" jak najlepszych osiągów poświęca się na ogół wygodę pilota, projektując kabinę ciasną i niską w celu zmniejszenia do minimum przekroju czołowego szybowca.

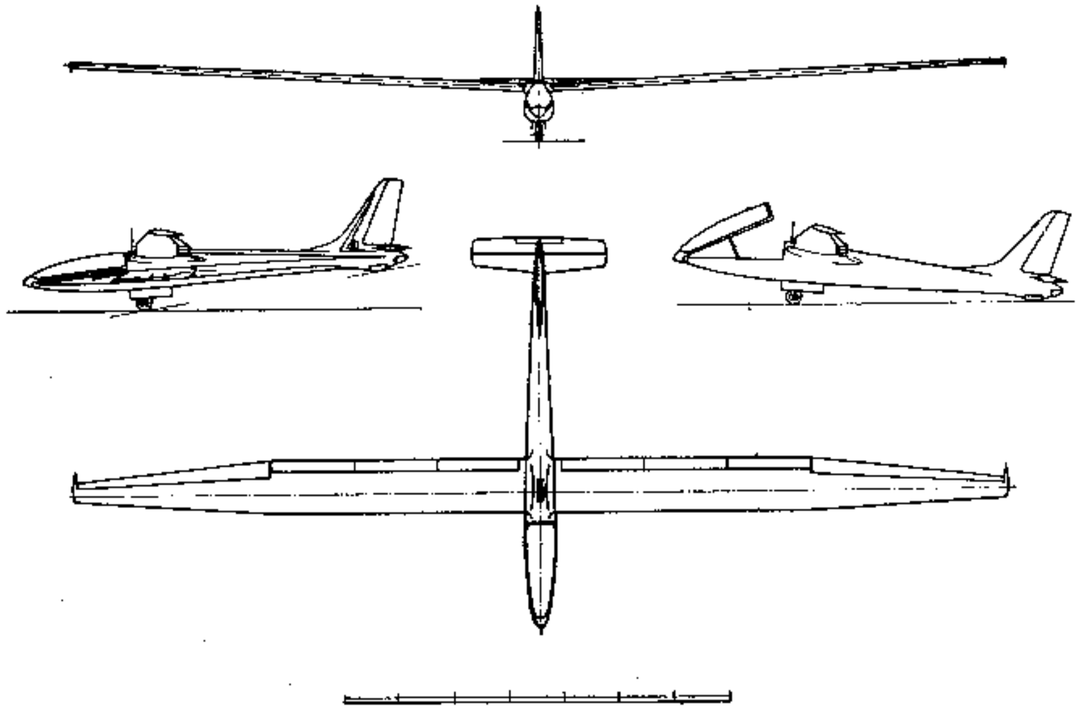
W kabinie szybowca zawodniczego pilot musi prawie leżeć na plecach mając głowę odgiętą do przodu, zaś ruchy rękami mogą być wykonywane tylko w bardzo ograniczonym zakresie. Z tego też powodu widoczność jest na ogół słaba, kąt podchodzenia szybowca do lądowania bardzo płaski, prędkość lotu stosunkowo duża, zaś zamiast hamulców aerodynamicznych obecne szybowce tego typu wyposaża się najczęściej w spadochronik hamujący wypuszczany z tyłu kadłuba, który co prawda zwiększa nachylenie toru lotu ślizgowego, jednakże nie daje możliwości dalszej jego regulacji.

Doskonałość współczesnych szybowców zawodniczych waha się w granicach od trzydziestu paru do czterdziestu paru, przy czym ze względu na konkurencję szybkościowe ta wysoka doskonałość musi występować na dużych prędkościach lotu, tzn. przy 90—120 km/h. Ponieważ jednak szybowce zawodnicze muszą latać dobrze również w słabych warunkach meteorologicznych, bo przecież i takie bywają w czasie trwania zawodów, ich obciążenie powierzchni oraz rozpiętości skrzydeł nie mogą być przesadnie duże (rozpiętości zawierają się przeważnie w granicach 17 do 19 m, zaś obciążenia powierzchni wynoszą 30 do 35 kG/m^2).

Wszystkie szybowce zawodnicze są przeważnie wyposażone w bardzo skuteczne klapy wyporowe w celu zmniejszenia prędkości lotu w krążeniu oraz przy podchodzeniu do lądowania. Klapy te są na ogół rozwiązane jednocześnie jako poszerzacze skrzydła, tzn. opuszczając się w dół i wysklepiając profil wysuwają się równocześnie do tyłu i powiększają w ten sposób powierzchnię nośną skrzydła (patrz również rozdział 1, pkt 9c).

Tego typu klapy dają przeszło dwukrotny wzrost współczynnika wyporu profilu skrzydła.

W celu osiągnięcia jak największej prędkości przelotowej szybowca zawodniczego nieraz stosuje się jeszcze dodatkowy balast, najczęściej w formie zbiorników z wodą, który zwiększając ciężar szybowca przesuwa jego biegunową aerodynamiczną na obszar większych prędkości. W przypadku słabych warunków termicznych lub ewentualnego „kryzysu" pilot może w ciągu paru minut opróżnić zbiorniki z wody i zmniejszając ciężar szybowca o kilkadziesiąt kilogramów łatwiej wykorzystywać słabe noszenia. Niestety, raz usunąwszy balast nie można go znowu odzyskać w czasie lotu — szybowiec traci wówczas swoje własności „szybkościowe" (w balast wodny były wyposażone „Jaskółki Z", które brały udział w Szybowcowych Mistrzostwach Świata w Saint Yan w 1956 r. oraz w Lesznie w 1958 r.).

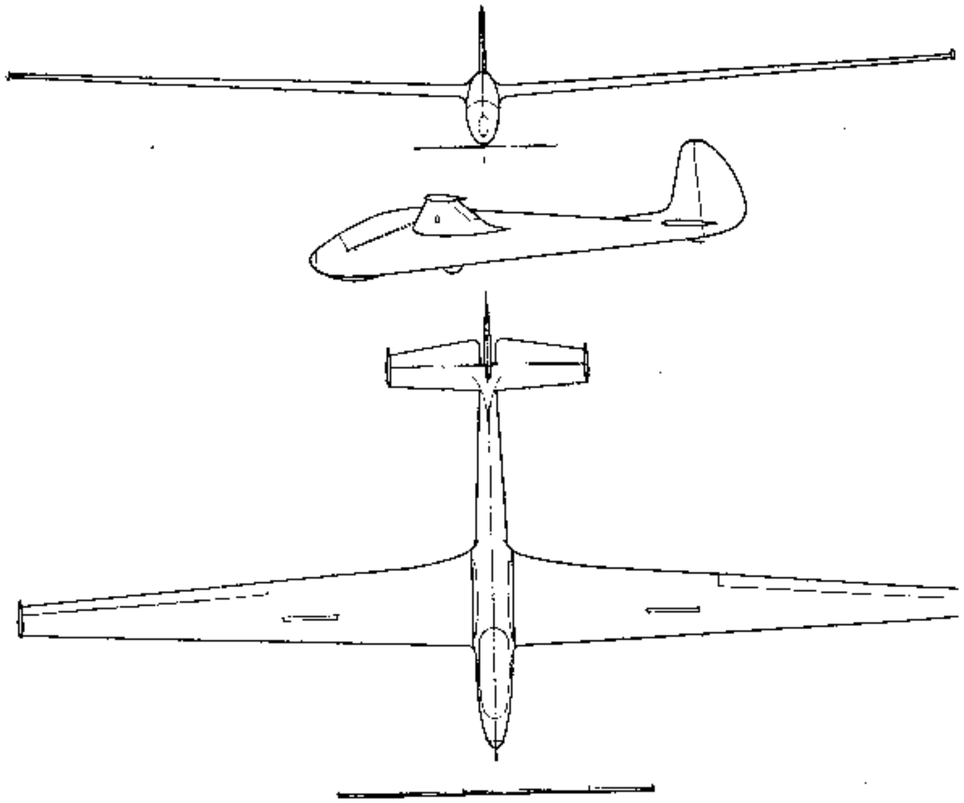


Rys. 3—6. Szybowiec wysokowyczynowy zawodniczy SZD-19-2 „Zefir-2"

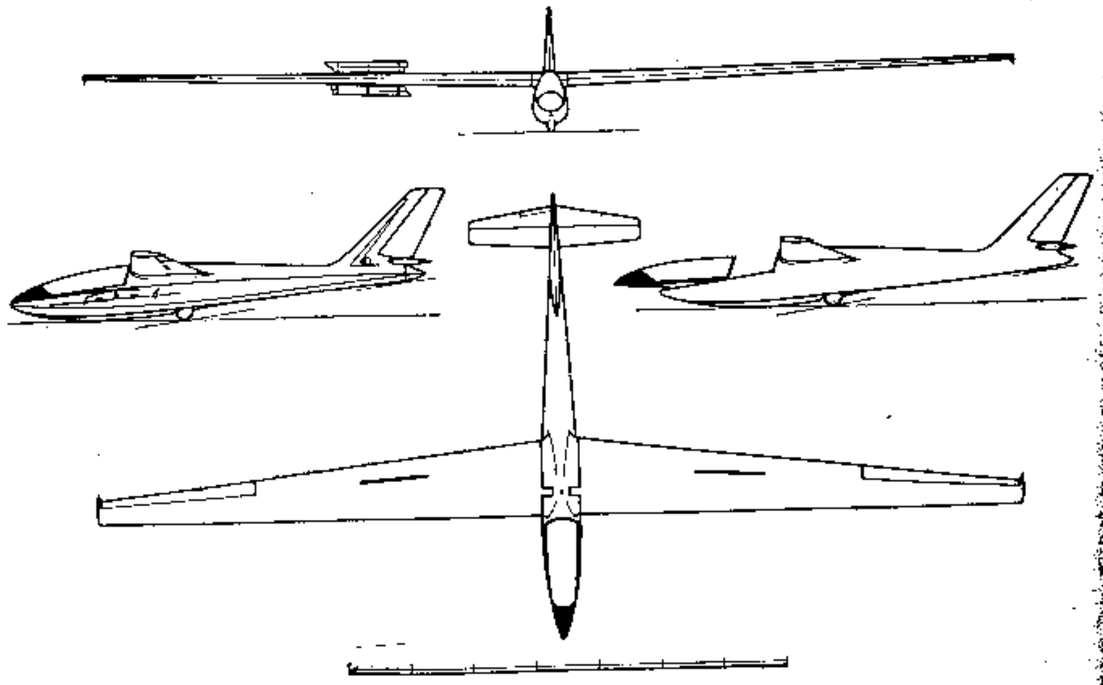
Typowym polskim szybowcem zawodniczym ostatnich lat jest SZD-19-2 „Zefir 2", na którym polscy zawodnicy święcili sukcesy na Szybowcowych Mistrzostwach Świata w Kolonii (1960 r. — drugie i trzecie miejsce w klasie „otwartej") i w Argentynie (1963 r. — mistrzostwo i wicemistrzostwo w klasie „otwartej").

Na przestrzeni ostatnich paru lat wykrystalizowała się dodatkowo nowa odmiana szybowca wyczynowego oraz wyczynowego-zawodniczego, tak zwana klasa standard. Powstała ona przede wszystkim dlatego, ponieważ w wyniku pewnego rodzaju wyścigu w dziedzinie budowy szybowców, tzn. konieczności stosowania coraz bardziej skomplikowanych i kosztowniejszych rozwiązań konstrukcyjnych, sport szybowcowy jako wyczyn indywidualny pilota zaczął schodzić na plan dalszy, natomiast zawody szybowcowe — zwłaszcza międzynarodowe — stawały się rewią coraz doskonalszych i kosztowniejszych osiągnięć przemysłu.

Aby takiemu stanowi rzeczy zapobiec, Komisja Szybowcowa FAI ustanowiła, że niezależnie od mistrzostw w klasie „otwartej" — to znaczy konkurencji dla szybowców o dowolnych rozwiązaniach konstrukcyjnych — będą również rozgrywane mistrzostwa w klasie „standard", to jest w klasie szybowców ograniczonych w swojej budowie pewnymi dodatkowymi wymaganiami. Ograniczenia dla szybowców klasy „standard" obejmują następujące warunki: rozpiętość



Rys. 3—7. Szybowiec wyczynowy klasy standard SZD-22 „Mucha Standard"



Rys. 3—8. Szybowiec wyczynowy klasy standard SZD-24-4 „Foka 4"

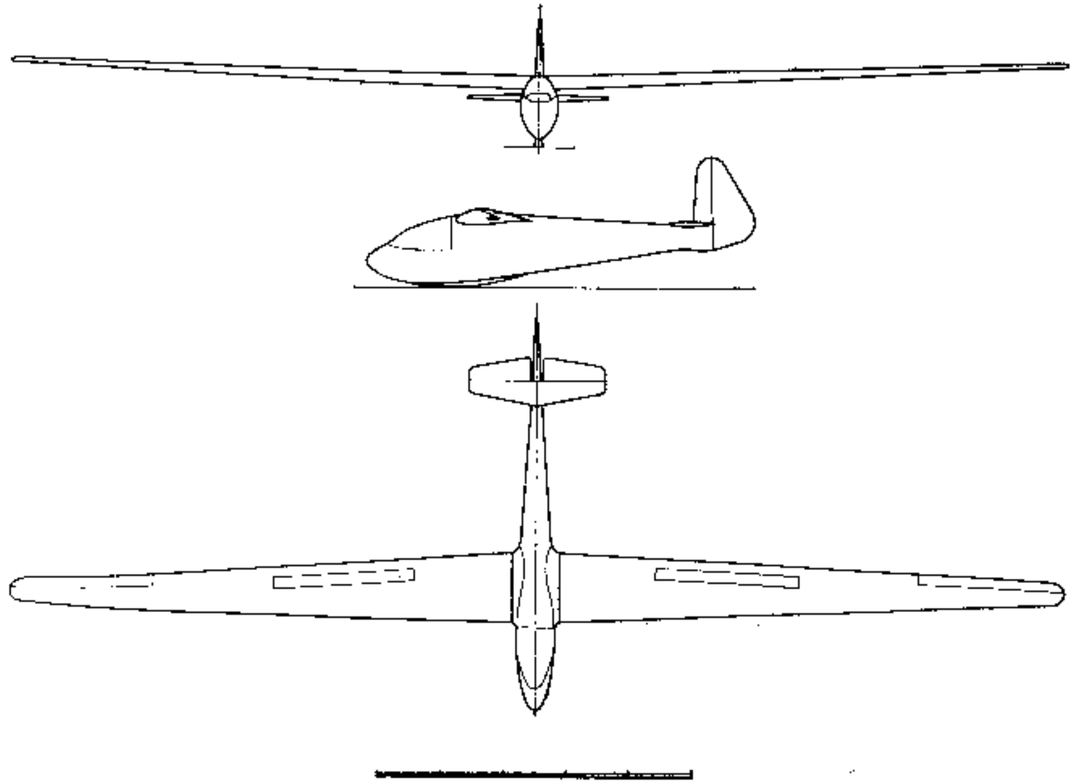
skrzydeł nie większa niż 15 m, brak klap wyporowych, stałe podwozie, brak balastu zmieniającego obciążenie szybowca w czasie lotu, brak radia itp. — tzn. ograniczenia obniżające koszt szybowca.

Typowymi przedstawicielami szybowców klasy „standard" w polskim szybownictwie są szybowce SZD-22 „Mucha Standard" oraz bardziej nowoczesny SZD-24 „Foka".

f. Szybowiec rekordowy

Szybowiec rekordowy ma do spełnienia nieco inne zadania niż szybowiec zawodniczy. Buduje się go na ogół w celu pobicia jakiegoś określonego rekordu, np. rekordu długości przelotu, prędkości przelotowej na określonej trasie lub też rekordu wysokości.

Pobicie „wyśrubowanych" już w obecnej chwili rekordów może nastąpić tylko w pewnych specjalnie sprzyjających warunkach meteorologicznych i w związku z tym na takie warunki, nieraz bardzo różniące się od przeciętnych, buduje się szybowce rekordowe. Są to więc do pewnego stopnia szybowce specjalne, np. o bardzo dużym obciążeniu — dla pobicia rekordu prędkości przelotowej.

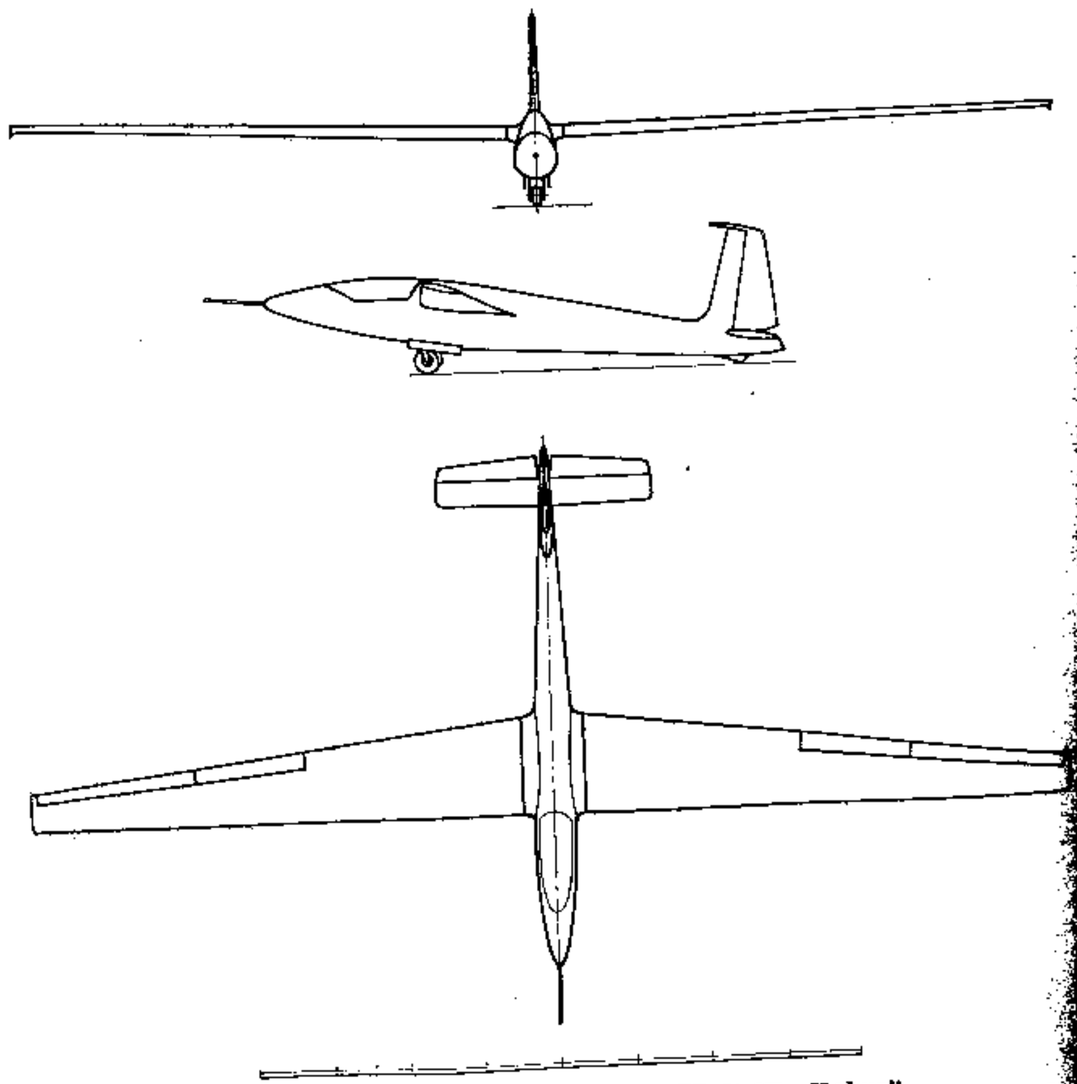


Rys. 3—9. Amerykański szybowiec rekordowy RJ-5 z lat 1947—1949, na którym Richard Johnson ustanowił w 1951 roku międzynarodowy rekord odległości przelotu otwartego (861,3 km)

Przedstawicielem szybowców rekordowych jest amerykański RJ-5 (doskonałość 40,5), zbudowany w latach 1947—1949, na którym Johnson ustanowił pobity dopiero w 1963 roku przez Betzlera — NRF, a następnie poprawiony w 1964 roku przez Parkera — USA międzynarodowy rekord odległości lotu wynoszący 861,3 km (patrz tablice 13, 14 i 15 na str. 494, 496 i 498).

g. Szybowiec akrobacyjny

Szybowce tej klasy odznaczają się przede wszystkim dużą wytrzymałością i sztywnością, gdyż konstrukcja ich podlega nieraz bardzo dużym obciążeniom w czasie lotu. A ponieważ ich głównym przeznaczeniem jest wykonywanie pełnej akrobacji, muszą więc być zwrotne i szybkie. Ponadto w celu szybkiego rozpędzania się muszą mieć duże obciążenie powierzchni nośnej oraz możliwie wysoką doskonałość.



Rys. 3—10. Szybowiec akrobacyjny SZD-21-2B „Kobuz"

Wysokiej doskonałości niestety nie można w tym przypadku zapewnić przez duże wydłużenie skrzydła, gdyż szybowiec o dużej rozpiętości nie byłby zwrotny. Dlatego też szybowce akrobacyjne cechuje zwarta budowa i nieduża rozpiętość (12 do 14 m). A więc niezła doskonałość musi być zapewniona dobrym opracowaniem aerodynamicznym szybowca. Ponieważ przy tym pełna akrobacja polega w dużej mierze na wykonywaniu figur w locie odwróconym, szybowiec akrobacyjny musi mieć również dobre osiągi w locie plecowym, co z kolei wymaga, aby profil skrzydła był zbliżony do symetrycznego.

Stery szybowca akrobacyjnego muszą oczywiście mieć dużą skuteczność, aby zapewnić mu odpowiednią zwrotność przy wykonywaniu figur akrobacji.

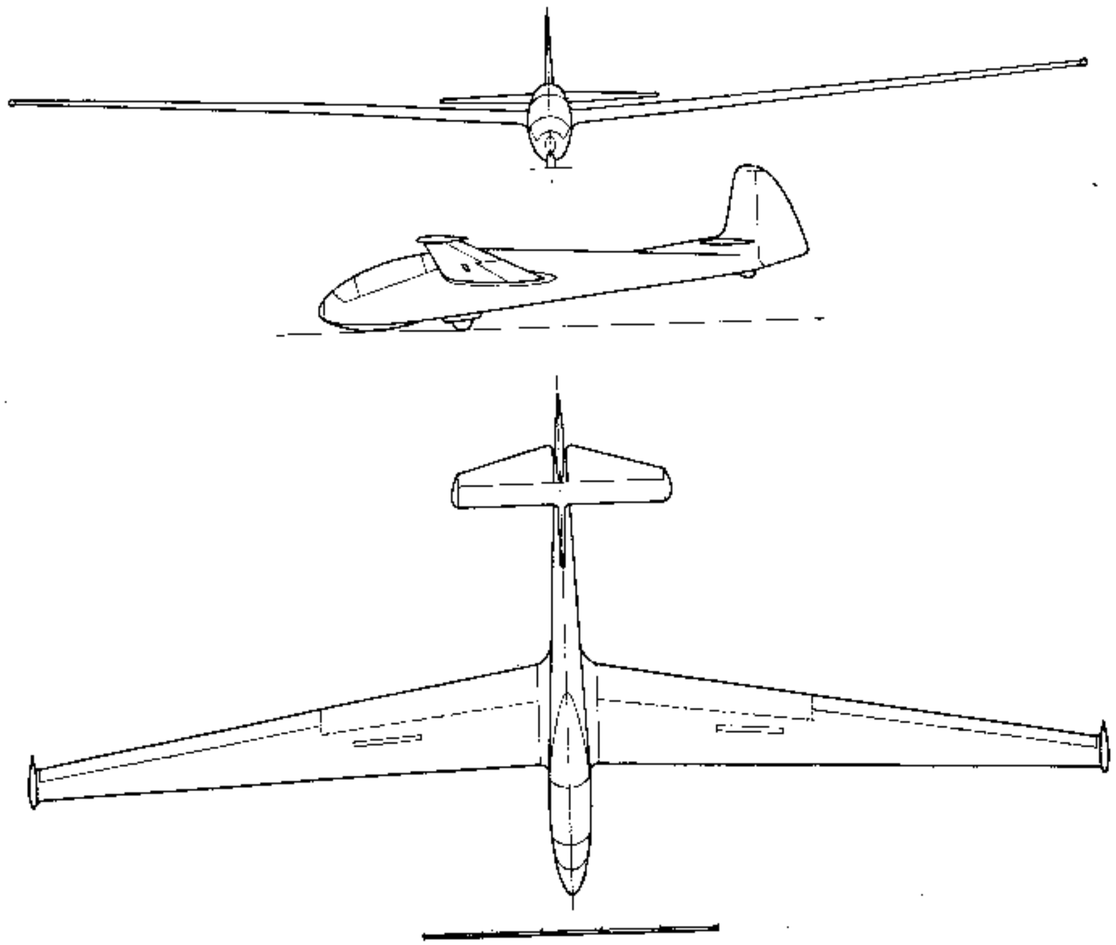
Maksymalna prędkość lotu, przewidziana dla szybowca akrobacyjnego, jest na ogół o wiele wyższa niż dla szybowców wyczynowych i wynosi nie mniej niż 300—350 km/h. Doskonałość przeważnie nie przekracza 25. Szybowiec taki jest z reguły ciężki i nie ma tak dobrych własności przelotowych jak szybowiec wyczynowy. Zwłaszcza trudno na nim „wykręcić" wysokość, ponieważ wymaga on stosunkowo dużej prędkości w krążeniu, co utrudnia wykorzystywanie wznoszeń termicznych.

Typowym przedstawicielem szybowców akrobacyjnych jest nowy polski szybowiec SZD-21-2B „Kobuz".

h. Szybowce dwumiejscowe

Szybowce dwumiejscowe, z wyjątkiem dwumiejscowych szybowców szkolno-treningowych opisanych wyżej, nie różnią się zasadniczo w koncepcji od swoich jednomiejscowych pobratymców. Oczywiście dwukrotnie większy ciężar załogi, przy zachowaniu takiego samego obciążenia powierzchni jak w szybowcach jednomiejscowych, wymaga znacznie większej powierzchni nośnej skrzydła. Dlatego też konstruktorzy mają tu o wiele trudniejsze zadania i muszą stosować większą rozpiętość skrzydeł i większe wydłużenie niż w przypadku szybowców jednomiejscowych. Jednakże istniejąca wśród uznawanych rekordów tabela osiągnięć szybowców dwumiejscowych zachęca konstruktorów do projektowania dwumiejscowych szybowców wyczynowych, które śmiało mogą konkurować z jednomiejscowymi wyczynówkami.

Dwumiejscowe szybowce wyczynowe stosowane są również szeroko dla celów wyszkoleniowych: do sprawdzania umiejętności pilota, do



Rys. 3—11. Szybowiec wyczynowy dwumiejscowy SZD-9 bis „Bocian"

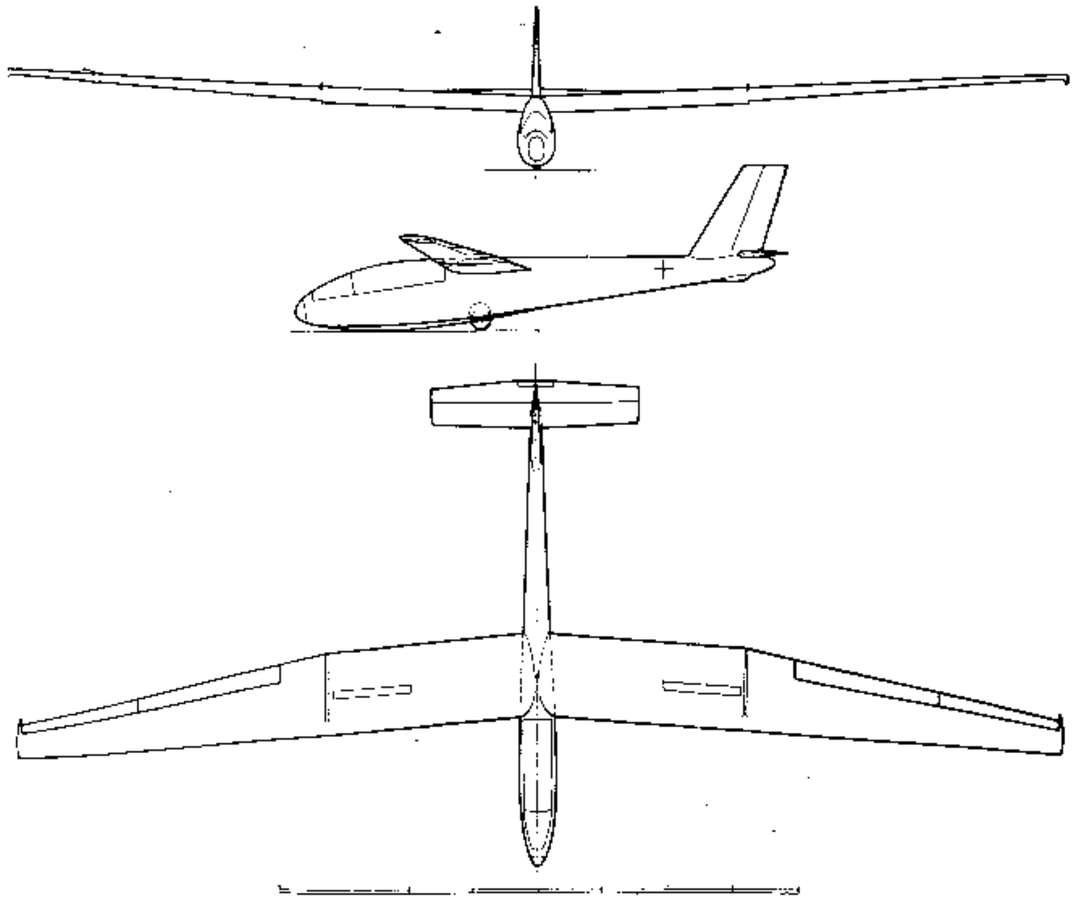
kontroli techniki pilotażu po dłuższej przerwie w lataniu, do szkolenia w lotach bez widoczności, do lotów w chmurach itp.

W ostatnich czasach lansowana jest również metoda szkolenia początkowego na dwumiejscowym szybowcu wyczynowym przystosowanym do lotów szkolnych. Koncepcja taka przedstawia oczywiście duże trudności w realizacji odpowiedniej konstrukcji szybowca, a zwłaszcza w spełnianiu często niemal sprzecznych wymagań dwóch tak różnych klas szybowców. Korzyści z takiego szybowca szkolno-wyczynowego polegają przede wszystkim na jego zdolności do dłuższego przebywania w powietrzu — dzięki małej prędkości opadania szybowca — oraz na zmniejszeniu ogólnej liczby typów szybowców eksploatowanych w aeroklubach.

Ponadto istnieje również pewna korzyść przy szkoleniu wyłącznie na jednym typie szybowca, która polega na tym, że uczeń nie musi dostosowywać się do różnych typów szybowców, lecz od razu przyzwyczaja się do użytkowania wysokowartościowego sprzętu — co w sumarycznym bilansie daje skrócenie czasu szkolenia.

Szybowce dwumiejscowe budowane są przeważnie w układzie „tandem", to znaczy obaj piloci siedzą j e d e n z a d r u g i m. Ma to tę zaletę, że taki szybowiec może być używany również do lotów z jedną osobą, bez zakładnia dodatkowego ciężaru wyważającego, ponieważ tylne siedzenie usytuowane jest w pobliżu środka ciężkości szybowca — a więc brak drugiego pilota nie zmienia wyważenia. Poza tym przekrój poprzeczny kadłuba w układzie tandem nie jest większy niż szybowca jednomiejscowego.

Spotyka się jednak inny układ miejsc w szybowcu, a mianowicie, gdy członkowie załogi siedzą o b o k s i e b i e. W szybowcu takim lata się bardzo przyjemnie. Załoga może wygodnie porozumiewać się ze sobą, co jest zwłaszcza cenne przy szkoleniu. Jednakże, gdy lot ma się odbyć tylko z jedną osobą, wówczas na miejscu drugiego pilota umieszcza się ciężar wyważający o wadze kilkudziesięciu kilo-



Rys. 3—12. Szybowiec wyczynowy dwumiejscowy przystosowany do szkolenia SZD-27 „Kormoran"

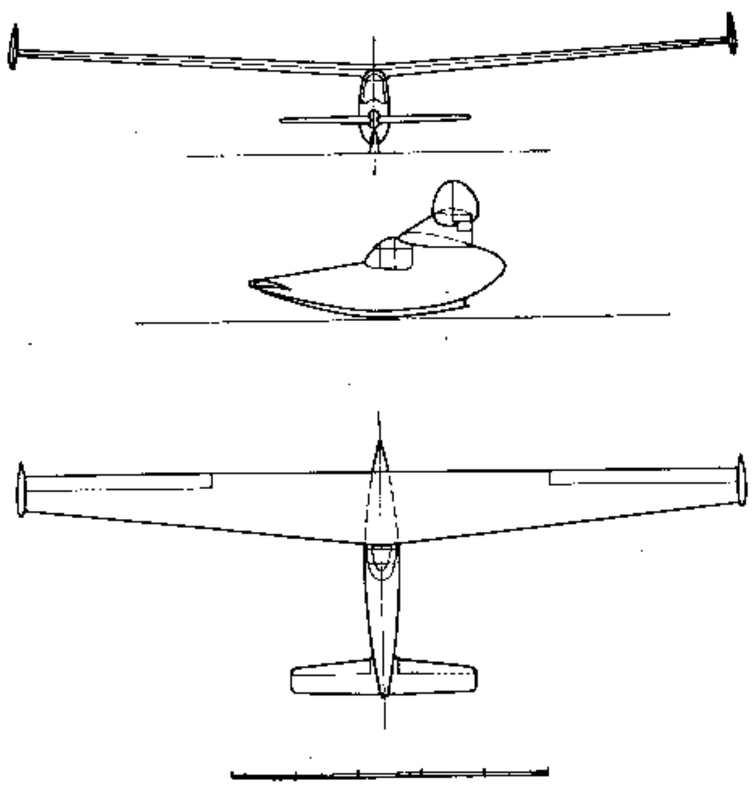
gramów. Ma to na celu zapobieżenie zbytniemu przesunięciu się środka ciężkości szybowca do tyłu, co mogłoby spowodować utratę stateczności podłużnej.

Polskimi przedstawicielami dwumiejscowych szybowców wyczynowych są SZD-9 bis „Bocian" i SZD-27 „Kormoran". Ten ostatni został już skonstruowany z myślą częściowego dostosowania do lotów szkolnych.

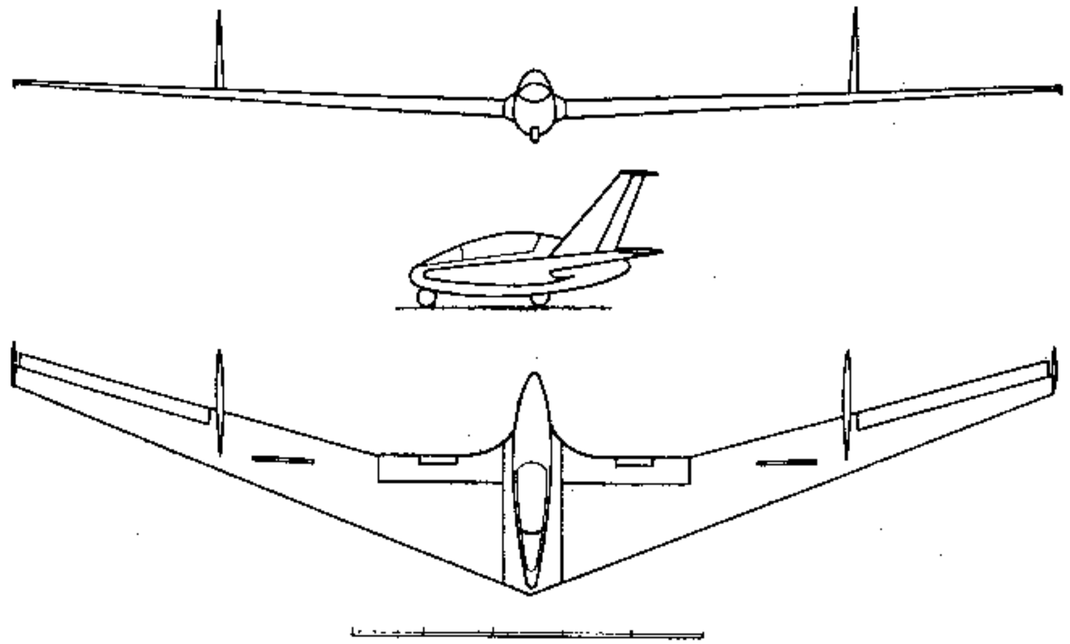
i. Szybowce specjalne

Szybowce specjalne tworzą dużą i bardzo zróżnicowaną grupę. Do nich bowiem zaliczamy wszystkie szybowce, które wyraźnie odbiegają od norm przyjętych dla wyżej omówionych klas szybowców. W klasie tej znajdą się więc szybowce o układach niekonwencjonalnych, jak np. bezogonowiec czy kaczka — budowane w celu zbadania nowych dróg rozwojowych konstrukcji lotniczych, które rokują osiągnięcie lepszych własności lotnych od dotychczas stosowanych układów konwencjonalnych (ortodoksyjnych).

Jak ogólnie wiadomo, szybowcem idealnym pod względem osiągów byłoby „latające skrzydło", które nie miałoby w ogóle oporów szkodliwych. Układ bezogonowca stwarza jednak duże trudności w otrzymaniu odpowiedniej stateczności i sterowności, co jak dotąd nie pozwoliło na zbudowanie całkowicie poprawnego pod względem pilotażowym szybowca w tym układzie. Pomimo to trzeba zaznaczyć, że wyniki doświadczeń na układach niekonwencjonalnych mają duży wpływ na postęp techniczny w dziedzinie szybownictwa i prawdopodobnie doprowadzą do pomyślnego rozwiązania zagadnienia idealnego szybowca przyszłości — latającego skrzydła.



Rys. 3—13. Szybowiec specjalny IS-5 „Kaczka"



Rys. 3—14. Szybowiec specjalny doświadczalny SZD-20X „Wampir"

Do szybowców specjalnych zalicza się również szybowce doświadczalne, których celem są jedynie badania naukowe. Należą do nich szybowce stratosferyczne, niektóre szybowce rekordowe oraz szybowce wyczynowe ze zwiększonym przez zastosowanie dodatkowego balastu ciężarem.

Do typowych szybowców specjalnych polskiej produkcji należy zaliczyć IS-5 „Kaczka" oraz bezogonowiec SZD-20X „Wampir".

2. Materiały stosowane do budowy szybowców

a. Drewno

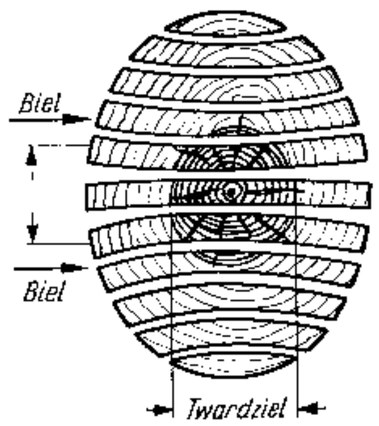
Drzewo, jako materiał używany w konstrukcji, nazywane jest drewnem. W lotnictwie stosuje się następujące rodzaje drewna: iglaste, jak sosna i świerk oraz liściaste, jak brzoza, buk i jesion.

Drewno przeznaczone do budowy szybowców musi być dobrze

wysuszone, gdyż części, a czasem nawet całe zespoły szybowca wykonane ze zbyt wilgotnego drewna, ulegają później silnemu „paczeniu" i pękaniu.

Bezpośrednio po ścięciu drewno ma wilgotność około 50%. Przed zastosowaniem go do produkcji lotniczej musi być suszone parę lat, aby zawartość wilgoci spadła do 15%, przy której to wartości własności wytrzymałościowe drewna są najwyższe.

Rysunek 3—15 przedstawia, w jaki sposób drewno paczy się przy wysychaniu zależnie od kierunku cięcia desek. Na przekroju poprzecznym pnia drzewa widoczny jest ciemniejszy rdzeń, dalej ku obwodowi jego partia ciemna tzw. twardziel, a następnie jaśniejsza zwana bielą.



Rys. 3—15. Drewno lotnicze

Do produkcji lotniczej nie można oczywiście zużytkować całego pnia drzewa — używa się prawie wyłącznie bieli. Pozostałe części pnia, jak np. twardziel, stosuje się czasami i tylko na mało odpowiedzialne elementy.

Drewno wykazuje dużo zalet jak: łatwość poddawania go obróbce i łączenia za pomocą kleju oraz stosunkowo wysoka wytrzymałość przy niskim ciężarze gatunkowym. Ma ono jednak również i duże wady jak: niejednorodność budowy, wrażliwość na wpływy atmosferyczne itp.

Drewno lotnicze dzieli się na kilka kategorii:

— kategoria specjalna „S" — to drewno najlepsze, odpowiednio ścisłe, bez wad i sęków; stosuje się je na ważne i silnie obciążone elementy szybowca;
— kategoria I — stosuje się na odpowiedzialne elementy mniej obciążonych szybowców;
— kategoria II — to drewno o mniejszej wytrzymałości; dopuszczalne są w nim pewne wady budowy; stosuje się je na mało obciążone lub wcale nie pracujące części konstrukcji.

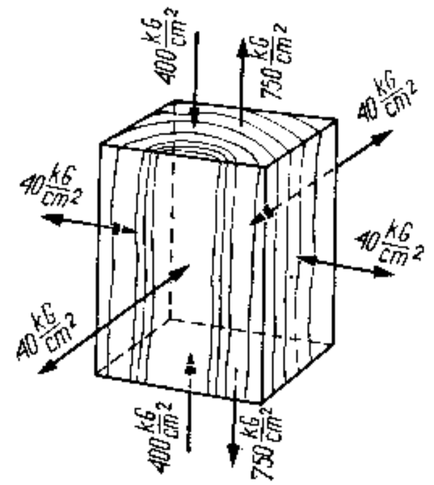
Najczęściej stosowana w konstrukcjach szybowcowych jest sosna kategorii I. Jej własności wytrzymałościowe są następujące:

— rozciąganie wzdłuż włókien około 750 kG/cm²,
— ściskanie wzdłuż włókien około 400 kG/cm²,
— odpowiednie wartości przy rozciąganiu lub ściskaniu w poprzek włókien wynoszą tylko 40 kG/cm².

Ciężar właściwy sosny waha się w granicach 0,6 do 0,7 G/cm³.

Z wartości przedstawionych na rysunku 3—16 można wnioskować, że drewno sosny (jak zresztą i pozostałe gatunki drewna) jest materiałem wybitnie niejednorodnym. Pomimo to ze wszystkich dostępnych nam gatunków drewna najlepiej nadaje się do budowy szybowców ze względu na korzystny stosunek wytrzymałości do ciężaru własnego. Używane jest w konstrukcjach lotniczych na elementy silnie obciążone jak: pasy dźwigara, dźwigarki sterowe, podłużnice, wręgi itp.

Świerk — wykazuje własności wytrzymałościowe zbliżone do sosny, jest jednak od niej lżejszy, ale też i bardziej kruchy. Stosowany jest na mniej odpowiedzialne części jak: listwy pomocnicze, żebra nienośne itp.



Rys. 3—16. Własności wytrzymałościowe sosny lotniczej

Jesion — jest drewnem twardym. Stosowany bywa przede wszystkim na płozy szybowców, klocki pod śruby okuć przenoszących duże siły itp. Jego własności wytrzymałościowe są nieco wyższe od sosny, jest za to od niej sporo cięższy.

Lipa — jest drewnem łatwo obrabialnym, jednakże wykazuje niskie własności wytrzymałościowe. Służy ona na ogół do wyrobu klocków wypełniających.

Balsa — jest drewnem bardzo lekkim i służy czasem jako wypełniacz. Nieco szersze zastosowanie znajduje w modelarstwie lotniczym. Obecnie mało stosowana, wyparta została przez jeszcze lżejsze materiały piankowe z tworzyw sztucznych.

Względy wytrzymałościowe wymagają częstokroć stosowania w konstrukcjach szybowcowych elementów drewnianych o stosunkowo dużym przekroju poprzecznym, jak np. pasy dźwigara. Wykonanie takiego grubego pasa z jednego kloca drewna byłoby technologicznie bardzo trudne, nie mówiąc już o tym, że ukryte wady lub pęknięcia mogłyby pozostać wewnątrz materiału niewidoczne dla kontroli. Należy wziąć również pod uwagę to, że przy zmianie wilgotności pas taki łatwo uległby popękaniu. Dlatego też grubsze pasy lub klocki są klejone z kilku warstw, co zapobiega wymienionym wyżej błędom.

Jako rezultat dążenia do wyprodukowania materiału bardziej jednorodnego od drewna powstały: drewno ulepszone i sklejki.

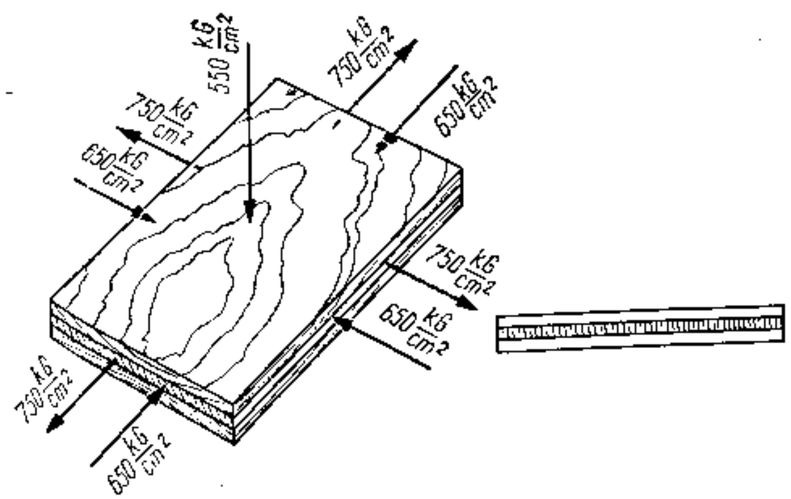
Drewno ulepszone bywa stosowane na ogół tylko wyjątkowo i na bardzo obciążone elementy, np. klocki pod okucia główne itp. Składa się ono z cieniutkich warstewek drewna, sklejanych za pomocą specjalnego kleju pod dużym ciśnieniem i w podwyższonej temperaturze, przy czym włókna wszystkich warstw są ułożone równolegle. Takie drewno ulepszone jest ciężkie, ale za to wykazuje

wytrzymałość zbliżoną do stali. Jednak klejenie kawałków drewna ulepszonego jest trudne i niepewne (ze względu na przesycenie klejem) i dlatego wszelkie połączenia wykonuje się na ogół za pomocą śrub lub nitów.

b. Sklejka

Materiałem szeroko stosowanym w konstrukcji drewnianych szybowców jest sklejka.

Arkusz sklejki pokazany na rysunku 3—17 jest płytą złożoną z cieniutkich warstewek drewna, tzw. „fornirów" (o grubości rzędu dziesiętnych części milimetra). Forniry te skleja się ze sobą zawsze w ilości nieparzystej w ten sposób, że kierunki włókien w poszczególnych warstewkach są do siebie prostopadłe. Własności wytrzymałościowe sklejki zależne są od kierunku włókien, chociaż naturalnie w znacznie mniejszym stopniu niż własności samego drewna.



Rys. 3—17. Własności wytrzymałościowe sklejki

Na forniry do wyrobu sklejki używa się najczęściej drewna brzozowego, bukowego lub też olchowego — stąd też nazwy: sklejka brzozowa, bukowa itd. S k l e j k a b r z o z o w a — najbardziej elastyczna, używana jest do krycia części nośnych szybowca jak kesony i kadłuby. S k l e j k a b u k o w a — bardziej krucha i wrażliwa na wilgoć, używana jest na ścianki i pokrycia wewnętrzne, węzły łączące itp. Ponadto są również w użyciu s k l e j k i m a h o n i o w e.

W budowie szybowców używa się sklejki sucho klejonej, wodoodpornej (dzięki zastosowaniu klejów bakelitowych), produkowanej w arkuszach o ustalonej grubości i wymiarach.

c. Stopy lekkie

Stopy lekkie stosowane w szybownictwie, to przede wszystkim d u r a l w postaci cienkich blach na pokrycia lub rur i kształtowników, służących do podpierania blach oraz do przenoszenia sił, albo też w formie okuć wykonanych z bloków.

Dural charakteryzuje wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie o wartości ponad 4000 kG/cm² oraz ciężar właściwy wynoszący około 2,8 G/cm³. Ma on więc korzystny stosunek wytrzymałości do ciężaru własnego. Przy tych wszystkich zaletach zasadniczą wadą jest jego niespawalność.

Z durali miękkich, tzn. bardziej plastycznych, lecz odznaczających się mniejszą wytrzymałością, wykonuje się nity, które służą do połączeń części duralowych lub też okuć z konstrukcją drewnianą.

Drugim stopem stosowanym w szybownictwie jest e l e k t r o n. Jest to stop bardzo lekki. Jego ciężar właściwy wynosi około 1,8 G/cm³, zaś wytrzymałość około 2000 kG/cm². Najczęściej stosuje się go w postaci odlewów: dźwigni, wsporników itp.

d. Stale

Stale stosowane w konstrukcjach szybowcowych można ogólnie podzielić na trzy grupy:

— s t a l e s t o p o w e — o wysokiej wytrzymałości 6000 ÷ 8000 a nawet 10 000 kG/cm², stosowane są tylko na okucia główne lub sworznie łączące w konstrukcjach szybowców wyczynowych; są one trudno spawalne i wymagają obróbki cieplnej; po obróbce cieplnej można osiągnąć wytrzymałość 10 000 do 12 000 kG/cm²;

— s t a l e w ę g l o w e m i ę k k i e — używane są na okucia główne szybowców szkolnych i treningowych oraz do produkcji różnego rodzaju okuć, dźwigni itp., o mniejszym obciążeniu, jak również na rurki tworzące kratę nośną w kadłubach o konstrukcji kratowej: wytrzymałość tego rodzaju stali wynosi około 4000 kG/cm²; są one dobrze spawalne i nie wymagają ulepszenia cieplnego; ponieważ są stosunkowo miękkie, stosuje się je również na nity rurkowe przy wykonywaniu połączeń;

— s t a l e w ę g l o w e t w a r d e — znajdują zastosowanie jako sworznie, śruby i nakrętki mocujące okucia do części drewnianych szybowca; ich wytrzymałość wynosi 4000 ÷ 8000 kG/cm², a wskutek dużej zawartości węgla są niespawalne.

Niezależnie od obróbki cieplnej stali, o której wspomniano wyżej, elementy stalowe szybowców poddaje się również obróbce cieplno-chemicznej — nawęglania i azotowania — przede wszystkim w celu zwiększenia twardości ich warstwy powierzchniowej.

e. Tworzywa sztuczne

W ostatnich latach „prawo obywatelstwa" w produkcji szybowców zdobyły sobie laminaty szklane, które w coraz szerszym zakresie zastępują pokrycia sklejkowe, zwłaszcza jeśli wchodzą w grę powierzchnie nierozwijalne. Wszelkie przejścia pomiędzy usterzeniem i kadłubem, skrzydłem i kadłubem, jak również całe przody kabin formuje się obecnie z laminatów.

Laminat szklany jest bardzo łatwy w produkcji. Na kopyto o odpowiednim kształcie układa się warstwy tkaniny szklanej (z włókna szklanego o grubości paru mikronów), a następnie przepaja je żywicą poliestrową lub epoksydową. Po wyschnięciu, bez stosowania jakichkolwiek docisków, otrzymuje się skorupę laminatową, którą można sklejać z drewnem lub sklejką.

Wbrew temu, na co wskazywałyby nasze codzienne doświadczenia ze szkłem w postaci szklanek, spodeczków czy szyb, materiał ten w formie cieniutkich włókien o grubości kilku mikronów wykazuje własności mechaniczno-wytrzymałościowe nie gorsze od stali oraz wcale nie jest kruchy. Wraz ze wzrostem grubości własności wytrzymałościowe włókien szklanych ulegają znacznemu obniżeniu.

Wadą laminatów jest stosunkowo znaczny ciężar właściwy, wynoszący około 1,8 G/cm³, oraz duży rozrzut własności wytrzymałościowych.

Do tworzyw sztucznych zalicza się również różnego rodzaju wypełniacze, jak np. pianki powstałe z utwardzonego spienionego polichlorku winylu oraz innych materiałów. Służą one do wypełniania przestrzeni pomiędzy pracującymi okładzinami pokrycia, uniemożliwiając w ten sposób wyboczenie się lokalne cienkich okładzin.

f. Kleje

Kleje stosowane przy budowie szybowców muszą odpowiadać następującym warunkom: mieć dużą wytrzymałość, dużą elastyczność oraz odporność na działanie wilgoci. Niestety, nie wszystkie z nich odznaczają się tymi własnościami.

Spośród stosowanych u nas w kraju klejów rozróżniamy kleje kazeinowe oraz kleje ze sztucznych żywic.

Klej kazeinowy znany pod nazwą *Certus*, stosowany dawniej w szybownictwie i wyparty dziś przez kleje ze sztucznych żywic, jest mało odporny na zawilgocenie. Dlatego też klejony nim sprzęt musi być troskliwie chroniony przed wilgocią. Dość powiedzieć, że jeśli w stanie suchym połączenia kolejone tym klejem wytrzymują na

ścinanie około 100 kG/cm², to pod wpływem wilgoci wytrzymałość jego spada do kilkunastu a nawet kilku kG/cm².

Kleje ze sztucznych żywic dają połączenie o dużej wytrzymałości oraz są niewrażliwe na wilgoć. Wymagają one jednak kłopotliwej i bardzo skrupulatnie przestrzeganej technologii. Ponadto są przeważnie szkodliwe dla zdrowia osób zatrudnionych przy klejeniu. Do klejów tych należy klej *AG* oraz klej *BWF*, przy czym ten ostatni klei również i metal.

Przy wszelkiego rodzaju połączeniach klejonych należy pamiętać, że zasadniczo przenoszą one tylko naprężenia ścinające. Dlatego też z góry zakłada się, że miejsce klejone nie może pracować na rozciąganie.

Ponadto trzeba również mieć na względzie to, że drewna nie przykleja się „sztorcem", tzn. że klocek o włóknach skierowanych prostopadle do powierzchni klejonej nie przyklei się w ogóle. W związku z tym, chcąc np. skleić ze sobą listwy drewniane w sposób „szeregowy", należy odpowiednio „sfazować" miejsce sklejenia, tzn. tak przyciąć listwy, aby płaszczyzna klejenia była skośna do kierunku włókien. Skos ten musi wynosić co najmniej 1 : 15, czyli że płaszczyzna klejenia nie może być skierowana względem włókien pod kątem większym niż 4°. Tak samo zresztą fazuje się sklejane ze sobą arkusze sklejki.

W celu otrzymania prawidłowego sklejenia miejsce połączenia musi być ponadto oczyszczone z tłuszczu, a powierzchnia sklejenia uprzednio „ząbkowana", tzn. należy wytworzyć na niej karby w celu polepszenia warunków klejenia. Z kolei po złączeniu ze sobą obu części klejonych należy je odpowiednio docisnąć, bądź za pomocą zwornic lub pasów dociskających, bądź też przez „gwoździkowanie", tzn. przez nabicie na miejsce świeżo sklejone cienkiej listewki z gwoździkami, które mają za zadanie wywrzeć odpowiedni docisk. Po wyschnięciu kleju listewkę wraz z gwoździkami należy usunąć.

g. Inne materiały pomocnicze

Do produkcji szybowców niezbędna jest ponadto spora ilość różnych materiałów jak: płótno, plexiglas (nietłukące się szkło organiczne), masy plastyczne itp., którymi nie będziemy się bliżej zajmować. Zatrzymamy się jednak przy środkach konserwujących wykonany już szybowiec.

Jak to łatwo zauważyć, każdy bez wyjątku szybowiec pokryty jest lakierem. Ma to na celu nie tylko podniesienie jego walorów estetycznych, ale przede wszystkim zabezpieczenie jego powierzchni przed działaniem wpływów atmosferycznych, a w szczególności przed słońcem i wilgocią.

Odpowiednio gładka zewnętrzna powierzchnia szybowca, otrzymana po kilkakrotnym kolejnym nałożeniu lakieru, szlifowaniu i polerowaniu, ma również duży wpływ na podniesienie osiągów szybowca. Zwłaszcza dla profilu laminarnego wykończenie zewnętrzne skrzydła jest niezmiernie ważne, gdyż nawet małe nierówności na jego powierzchni mogą zaburzyć laminarny opływ strug powietrza i spowodować duży przyrost oporu na skrzydle, no a co za tym idzie — radykalne pogorszenie własności lotnych szybowca. Doskonałość szybowca może w takim przypadku obniżyć się nawet o parę jednostek.

Obecnie stosuje się wyłącznie lakiery nitro, równomiernie natryskiwane na powierzchnię szybowca za pomocą przyrządu pneumatycznego, tzw. pistoletu. Przed natryśnięciem lakieru powierzchnię szybowca „zagruntowuje" się oraz wypełnia nierówności odpowiednią szpachlówką. Po kilkakrotnym natryśnięciu szybowca lakierem — co podwyższa ciężar szybowca o parę kilogramów — poleruje się go specjalną pastą otrzymując odpowiednio gładką powierzchnię.

Również i wewnątrz szybowca wszystkie jego części pokryte są lakierem konserwującym, który zabezpiecza przed niekorzystnym wpływem warunków atmosferycznych drewno i sklejkę. Okucia, dźwignie i tym podobne części stalowe oraz duralowe, które szybko ulegają korozji, należy także chronić przed wpływem atmosfery — durale pokrywa się lakierem bezbarwnym lub anoduje, albo alodynuje, zaś stalowe części kadmuje się, cynkuje lub też pokrywa lakierem.

3. Budowa szybowca

Ze względu na materiał użyty do budowy konstrukcje szybowcowe można podzielić na: konstrukcje drewniane, konstrukcje mieszane (drewno—metal) oraz konstrukcje metalowe.

Szybowiec konstrukcji drewnianej zbudowany jest prawie wyłącznie z drewna lotniczego: sosny, świerka lub jesionu oraz ze sklejki brzozowej lub bukowej. Jednakże nawet przy konstrukcji całkowicie drewnianej w miejscach połączeń części odejmowanych oraz w miejscach zawieszenia części ruchomych stosuje się okucia metalowe: stalowe lub też ze stopów lekkich. Ponadto również mechanizmy napędowe wykonywane są wyłącznie z metalu. Jeżeli szybowiec, oprócz wyżej wymienionych elementów metalowych, będzie miał również całe zespoły wykonane wyłącznie z metalu, jak np. kadłub lub skrzydła, wówczas nazwiemy go szybowcem o konstrukcji mieszanej.

Szybowiec całkowicie metalowy nie ma już żadnych zespołów o konstrukcji drewnianej. Jest on zbudowany wyłącznie

ze stopów lekkich i stali, a jedynie pokrycie, tapicerka wewnętrzna kabiny oraz niektóre drobne części jak: uchwyty, zakończenia skrzydeł itp. są sporządzone z materiałów tekstylnych lub tworzyw sztucznych. Konstrukcje metalowe, jakkolwiek znacznie kosztowniejsze w produkcji małych serii, przedstawiają dla użytkownika duże korzyści ze względu na większą odporność na wpływy atmosferyczne oraz długą żywotność, czyli resurs.

Należy tutaj wyjaśnić określenie resurs szybowca. Otóż resursem nazywamy liczbę godzin przewidzianą do wylatania przez szybowiec lub też okres, jaki upłynie od chwili jego wyprodukowania, w czasie którego nie powinny wystąpić objawy zużycia lub zmęczenia materiału konstrukcji szybowca. Resursy ustalane są na podstawie danych statystycznych, które obejmują normalne użytkowanie szybowców, warunki konserwacji w hangarach itp.

Szybowce konstrukcji drewnianej są bardzo wrażliwe na wpływy atmosferyczne — zwłaszcza szkodzi im wilgoć. Również z upływem czasu własności wytrzymałościowe drewna ulegają obniżeniu, drewno kruszeje, a połączenia klejone tracą swą wytrzymałość. Z biegiem więc czasu zakres użytkowania szybowca należy ograniczyć lub też w ogóle szybowiec taki skasować.

Największe niebezpieczeństwo leży w tym, że to „starzenie" się materiału jest zależne w dużym stopniu od warunków użytkowania i prawidłowości konserwacji, które mogą być różne dla różnych egzemplarzy szybowca, oraz w tym, że powstające uszkodzenia wewnątrz materiału, z którego szybowiec jest zbudowany lub też „puszczanie" połączeń klejonych, jest bardzo trudne do wykrycia. Dlatego właśnie szybowce konstrukcji drewnianej mają ograniczony w czasie i stosunkowo krótki resurs użytkowania, a to w celu uniknięcia ewentualnych wypadków w czasie lotu, spowodowanych spadkiem wytrzymałości konstrukcji.

Drewno ma jeszcze jedną nieprzyjemną właściwość, a mianowicie łatwo zmienia swoją wilgotność — wchłaniając lub wydzielając wilgoć. Taka zmiana wilgotności powoduje często zmianę kształtu niektórych elementów lub nawet całych zespołów szybowca, co naturalnie wpływa bardzo niekorzystnie na własności lotne szybowca.

Materiał, z którego zbudowany jest szybowiec wpływa w sposób zasadniczy na zastosowane rozwiązania konstrukcyjne.

Drewno na przykład, poza wyżej wymienionymi wadami, ma jednakże wiele zalet, które ułatwiają budowę szybowca, co z kolei sprowadza się do tego, że produkcja — zwłaszcza małych serii — jest znacznie tańsza niż szybowców metalowych. Drewno jest przy tym lekkie i wytrzymałe, daje się łatwo obrabiać, no i przede wszystkim daje się sklejać. Łączenie natomiast części konstrukcji metalowej polega do chwili obecnej prawie wyłącznie na spawaniu i nitowaniu. Istnieją wprawdzie kleje do łączenia metalu, ale niestety technologia

operacji klejenia metalu jest bardzo kłopotliwa i wymaga specjalnych oraz kosztownych urządzeń.

Różna technologia metalu i drewna znajduje swoje odbicie w zasadniczo różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych szybowców.

4. Typowe konstrukcje szybowcowe

W celu bliższego zapoznania się z konstrukcją szybowca, przyjrzyjmy się najpierw szybowcowi treningowemu, jako najbardziej typowemu przedstawicielowi „szybowcowej rodziny". Konstrukcja takiego szybowca została przedstawiona na rysunku 3—18.

Do kadłuba o kształcie wrzecionowatym przymocowane są za pośrednictwem okuć skrzydła: prawe i lewe. W tyle, już poza skrzydłem, kadłub zaczyna się stopniowo zwężać, aby na samym końcu przejść w płaski pionowy statecznik kierunku, na którym z kolei zawieszony jest za pomocą zawiasów ster kierunku. U nasady statecznika kierunku, bezpośrednio na kadłubie, umieszczony jest poziomo statecznik wysokości zaopatrzony w ster wysokości. W przodzie kadłuba znajduje się kabina pilota przykryta podnoszoną lub odsuwaną przezroczystą limuzyną.

Na partiach zewnętrznych obu skrzydeł znajdują się lotki, zaś w ich częściach środkowych, zarówno na górnej jak i dolnej powierzchni, mieszczą się płyty hamulców aerodynamicznych.

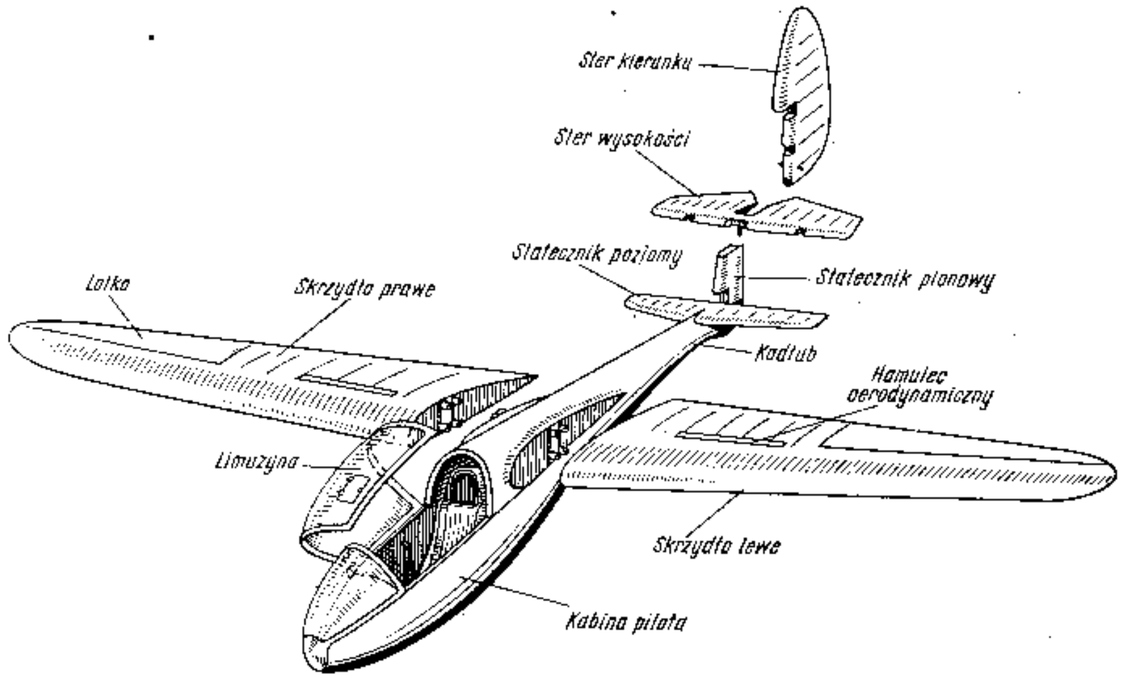
Z takich części składa się szybowiec treningowy. Szybowiec szkolny jednomiejscowy natomiast różni się znacznie budową od wyżej opisanej konstrukcji.

Szybowiec szkolny, przedstawiony na rysunku 3—19, zamiast kadłuba ma z przodu tzw. „skrzynkę", z tyłu zaś płaską kratę. Oba skrzydła, połączone bezpośrednio ze sobą za pomocą okuć, podparte są dodatkowo zastrzałami. Z tyłu, na końcu kraty, umieszczone są usterzenia wysokości i kierunku, które nie różnią się zasadniczo od analogicznych usterzeń szybowców treningowych.

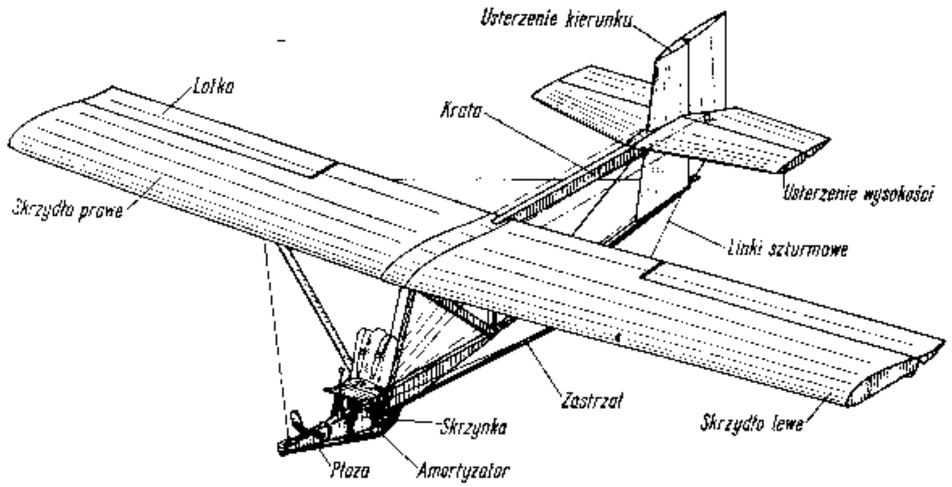
W celu usztywnienia całego układu, oba skrzydła oraz przód skrzynki, jak również i tył kraty, połączone są ze sobą stalowymi linkami.

Z przodu szybowca, bezpośrednio na skrzynce, umieszczone jest siedzełko pilota, natomiast pod skrzynką znajduje się płoza do lądowania zamocowana na specjalnych amortyzatorach.

Te dwa typy konstrukcji szybowcowych są charakterystyczne dla układów konwencjonalnych. Szybowce o układach niekonwencjonalnych, jak np. latające skrzydło lub kaczka, mają konstrukcje całkowicie oryginalne.



Rys. 3—18. Główne zespoły konstrukcyjne szybowca treningowego



Rys. 3—19. Główne zespoły konstrukcyjne szybowca szkolnego

5. Części konstrukcyjne szybowca konstrukcji drewnianej

Jak już wspomniano poprzednio, zasadniczymi częściami szybowca są: skrzydło, kadłub i usterzenia. Konstrukcja tych zespołów jest różna zależnie od materiału użytego do ich budowy.

Rozpatrzmy najpierw najprostsze konstrukcje drewniane, które jak dotychczas stosowane są w przeważającej liczbie szybowców.

a. Skrzydło

Najważniejszym zespołem konstrukcyjnym szybowca, który umożliwia mu wykonanie lotu jest skrzydło. Ono właśnie, jego obrys, wydłużenie oraz zastosowany profil, decydują o charakterze i możliwościach całego szybowca.

Obrys skrzydła bywa różny: w szybowcach szkolnych — prostokątny, dla innych typów — przeważnie trapezowy, o zbieżności cięciw 1 : 2 do 1 : 4.

Skrzydło może być proste, tzn. gdy punkty leżące w 25% cięciwy poszczególnych profili skrzydła tworzą linię prostą. Może ono mieć również pewien skos — dodatni lub też ujemny, czyli odchylenie skrzydeł do tyłu lub do przodu. Skos skrzydła stosuje się na ogół w celu poprawienia widoczności pilota lub też dla otrzymania odpowiedniego położenia środka ciężkości w stosunku do środka wyporu powierzchni nośnej skrzydła.

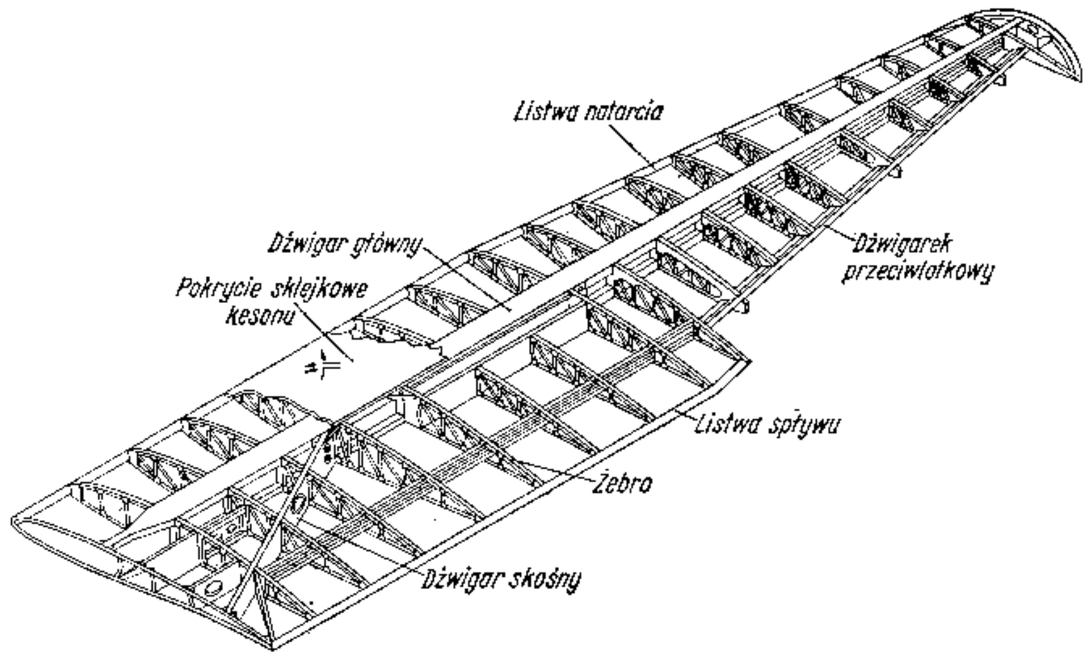
Poza tym każde skrzydło przeważnie ma również pewien wznios, tzn. że końce jego są nieco wzniesione ku górze w stosunku do profilu przykadłubowego. Ma to na celu zapewnienie odpowiedniej stateczności poprzecznej szybowca.

Rozpatrując cechy zewnętrzne skrzydła należy jeszcze dodać, że skrzydło może mieć zwichrzenie, to jest skręcenie lub zmianę geometrycznego kształtu profilu na końcu skrzydła w stosunku do profilu znajdującego się w pobliżu kadłuba.

Jak wiemy, skrzydła szybowców mają dużą rozpiętość, która wynosi przeważnie kilkanaście, a często nawet do 20 metrów. Transport kołowy nie rozmontowanego szybowca byłby bardzo kłopotliwy, a czasem nawet zupełnie niemożliwy. Dlatego też skrzydło szybowca jest odejmowane od kadłuba oraz najczęściej dzielone na dwie połowy: skrzydło prawe i skrzydło lewe.

Przyjrzyjmy się bliżej konstrukcji jednej z tych połówek skrzydła. Rozpatrzmy przy tym najpierw skrzydło drewniane, bo takich właśnie konstrukcji jest obecnie najwięcej w użytkowaniu.

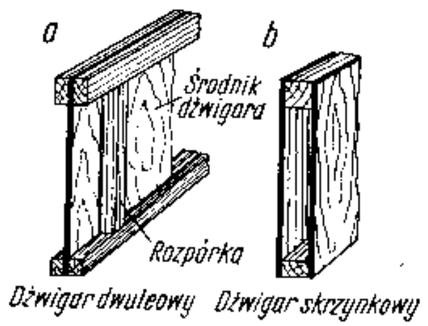
Rysunek 3—20 przedstawia typowe skrzydło szybowca treningowego. Konstrukcja jego składa się z dźwigara głów-



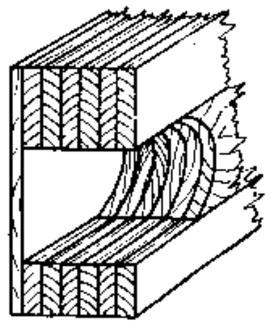
Rys. 3—20. Typowe skrzydło szybowca konstrukcji drewnianej

nego, dźwigara skośnego, żeber, listwy natarcia oraz listwy spływu. Przód skrzydła, począwszy od listwy natarcia aż do dźwigara głównego, pokryty jest sklejką, zaś cały tył skrzydła, czyli tak zwany spływ, obciągnięty jest płótnem lotniczym. Na części zewnętrznej skrzydła znajduje się zawieszona na zawiasach lotka, której opisem zajmiemy się nieco dalej.

Konstrukcja skrzydła przenosi siły aerodynamiczne i masowe działające na jego powierzchnię. A więc dźwigar główny, biegnący wzdłuż całej rozpiętości skrzydła, przenosi obciążenie zginające, żebra zaś



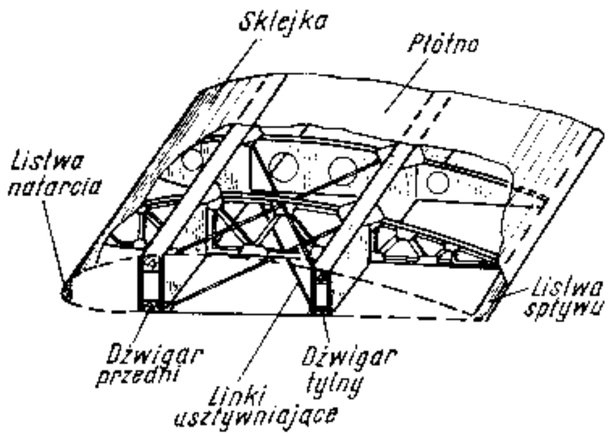
Rys. 3—21. Typy dźwigarów konstrukcji drewnianej



Rys. 3—22. Lamelowanie pasów dźwigara

połączone z dźwigarem za pomocą węzłów sklejkowych przerzucają nań siły aerodynamiczne zebrane z całej powierzchni skrzydła.

Dźwigar skrzydła przeznaczony jest do przenoszenia sił prostopadłych do powierzchni skrzydła tzw. normalnych i składa się z dwóch pasów: górnego i dolnego, które połączone są ze sobą za pomocą pionowych płyt sklejkowych. Ze względu na konstrukcję można rozróżnić dźwigar dwuteowy (rys. 3—21a) oraz skrzynkowy (rys. 3—21b), lub też stosowany na usterzeniu dźwigar ceowy.



Rys. 3—23. Skrzydło dwudźwigarowe szybowca szkolnego

Pasy dźwigarów, w celu ustrzeżenia się od wewnętrznych pęknięć są z reguły lamelowane, tzn. składają się z wielu cienkich listew dobrze sklejonych ze sobą. Pozwala to na sprawdzenie, czy materiał zastosowany na tak bardzo odpowiedzialny element jak pasy dźwigara nie ma ukrytych wad materiałowych w postaci pęknięć, sęków, nierówności słojów itp., jak również zapobiega paczeniu się oraz pękaniu drewna przy wysychaniu wykonanego już dźwigara.

Na skrzydła działają również siły leżące w jego płaszczyźnie, tzw. siły styczne.

Do tych sił należą na przykład siły wywołane przez opór aerodynamiczny działający na skrzydło w czasie lotu szybowca. Obciążenia te, zresztą znacznie mniejsze od poprzednio omawianych sił prostopadłych do powierzchni skrzydła, przenoszone są przez dźwigar główny i dźwigar tylny.

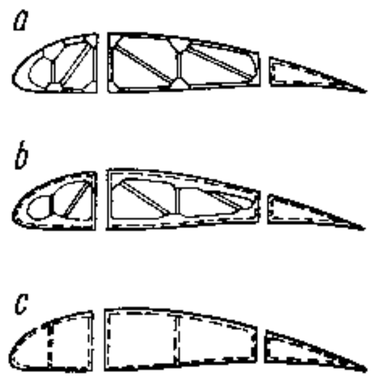
Skręcanie skrzydła przenoszone jest przez rurę sklejkową znajdującą się na przodzie skrzydła, czyli przez tak zwany keson. Keson ten, utworzony przez sklejkę pokrywającą skrzydło na przestrzeni między listwą natarcia a dźwigarem, zamknięty jest ścianką pionową leżącą w płaszczyźnie dźwigara, tzw. środnikiem dźwigara.

Ponieważ keson skrzydła jest elementem pracującym na skręcanie, nie można dopuścić szybowca do lotu nawet z małym uszkodzeniem w jego sklejkowym pokryciu. Wystarczy bowiem nawet maleńkie pęknięcie, aby zapoczątkować rozprucie się całego kesonu, podobnie zresztą jak naprężonego kawałka płótna, co niechybnie pociągnęłoby za sobą katastrofę szybowca. Niektóre skrzydła, w celu osiągnięcia

większej sztywności na skręcanie, kryte są całe sklejką wraz z tylną partią żeber.

Bywają również skrzydła, które nie mają kesonu sklejkowego (rys. 3—23). Mają one za to dwa dźwigary, które będąc sztywno związane ze sobą żebrami, mogą przenosić nie tylko zginanie, ale również i skręcanie. Taki typ skrzydła, zwanego dwudźwigarowym, stosowany był w szybowcach szkolnych ze względu na to, że uszkodzenia pokrycia skrzydła, możliwe przy słabo wyszkolonej obsłudze, nie eliminowały szybowca z lotu.

Typowe żebra skrzydłowe zostały przedstawione na rysunku 3—24. Konstrukcja żebra składa się z cienkich listewek z sosny lub świerka. Zewnętrzne długie listwy tworzą pasy nośne żeberka, zaś wewnętrzne krótkie listewki, nazywane rozpórkami, mają na celu utrzymanie kształtu profilu.



Rys. 3—24. Typowe żebra konstrukcji drewnianej

Ponieważ drewno nie daje się przyklejać „sztorcem", tzn. klej nie chwyta włókien prostopadłych do powierzchni klejenia, należy miejsca łączenia pasów i rozpórek wzmocnić węzłami, czyli kawałkami cienkiej sklejki. Żebro o takiej kratowej konstrukcji zostało pokazane na rysunku 3—24a, inne — nieco mocniejszej konstrukcji — mające zamiast węzłów tzw. fartuch sklejkowy przyklejony do pasów nośnych żebra pokazuje rysunek 3—24b. Wreszcie rysunek 3—24c przedstawia żebro całkowicie pokryte sklejką, które jest przystosowane do przenoszenia dużych obciążeń. Tak na przykład wygląda również żebro czołowe zamykające skrzydło od strony kadłuba.

Wszystkie elementy skrzydła, jak żebra, dźwigary, listwy itp., muszą być dobrze ze sobą związane, gdyż inaczej nie utworzyłyby razem mocnego i sztywnego skrzydła. Noski żeber skrzydła na przykład połączone są listwą natarcia, zaś ich tylne krawędzie — listwą spływu.

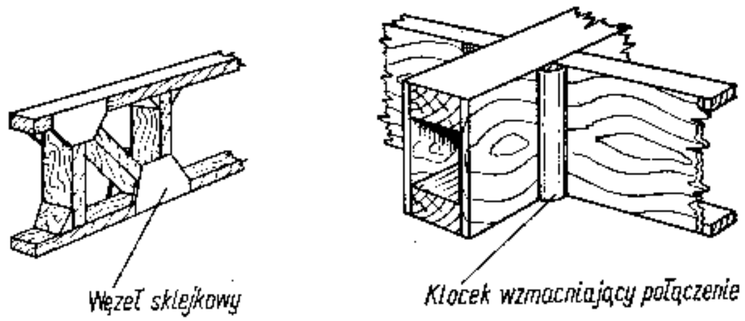
W przypadku przenoszenia dużych sił z jednego elementu na drugi trzeba nieraz zastosować dodatkowe klocki, przeważnie w postaci trójkątnej listwy, które wzmacniają miejsce połączenia (rys. 3—25).

Część tylna skrzydła, od dźwigara aż do listwy spływu pokryta jest przeważnie płótnem. Poza tym całą powierzchnię skrzydła pokrywa się lakierem, którego zadaniem jest ochrona drewnianej konstrukcji skrzydła przed szkodliwym działaniem wilgoci i słońca.

Nawet najprostsze skrzydło najbardziej prymitywnego szybowca musi mieć lotki. Bez nich pilot nie mógłby utrzymać równowagi

poprzecznej szybowca oraz nie potrafiłby nim sterować. Lotki są jak gdyby małymi, samodzielnymi skrzydłami zawieszonymi na zawiasach umieszczonych na tylnych dźwigarkach skrzydeł, zwanych też dźwigarkami przeciwlotkowymi.

Lotka zbudowana jest podobnie jak skrzydło. Ma ona dźwigarek, najczęściej o przekroju ceowym, żeberka i listwę spływu oraz pokryta jest płótnem. Aby lotka mogła przenosić nie tylko zginanie, ale również i skręcanie, jej żeberka nie są ustawione równolegle, lecz skośnie (rys. 3—26a). Takie skośne żeberka noszą nazwę krzyżulców i znakomicie usztywniają lotkę.

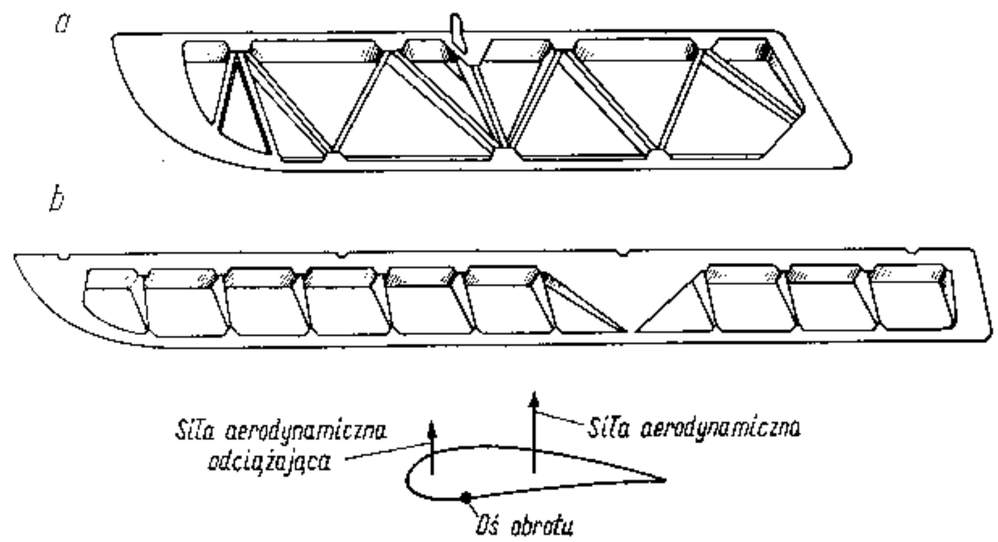


Rys. 3—25. Wzmocnienia połączeń konstrukcji drewnianej

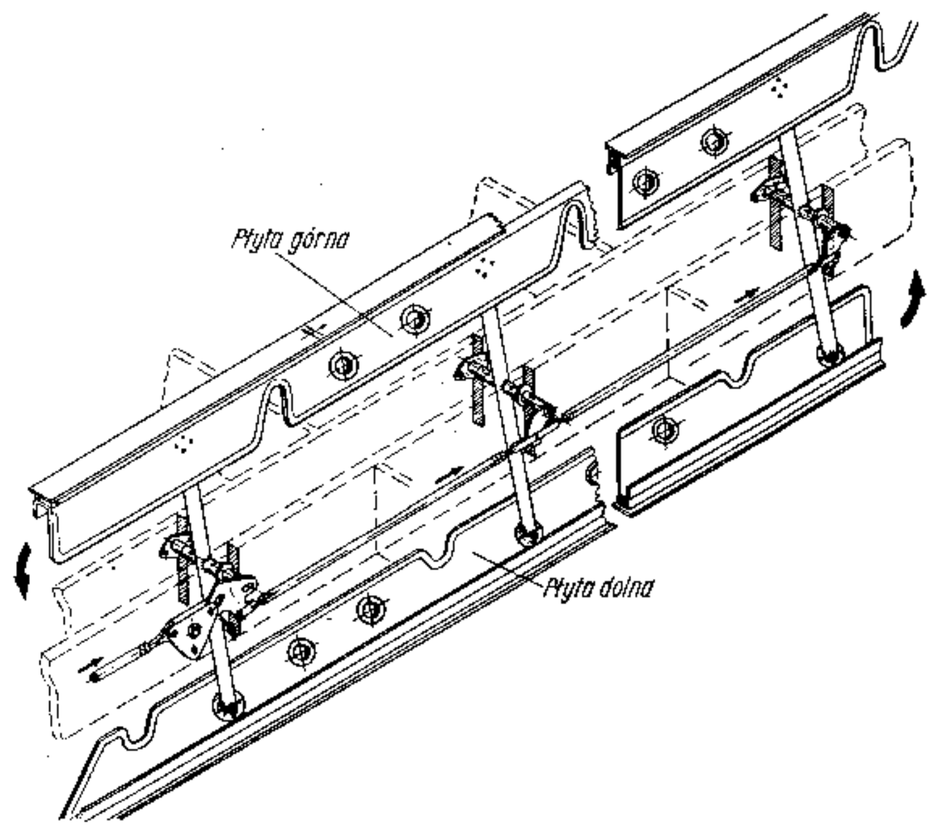
Lotka krzyżulcowa znajduje zastosowanie na szybowcach, których prędkość lotu nie jest duża. W czasie lotu ze znaczną prędkością wychylenie lotki typu przedstawionego na rysunku 3—26a wymagałoby od pilota przyłożenia dużej siły na drążku sterowym. Wiemy bowiem z mechaniki lotu, że siła aerodynamiczna, w tym przypadku przeciwstawiająca się wychyleniu lotki, rośnie z kwadratem prędkości. Dlatego też na szybowcach latających z większą prędkością stosuje się lotki z odciążeniem aerodynamicznym w postaci noska wysuniętego do przodu przed oś obrotu (patrz również rozdział 1, pkt 20).

Jak widać z rysunku 3—26b, siły aerodynamiczne na przedniej części lotki równoważą częściowo siły działające na powierzchnię lotki znajdującą się za osią obrotu i siła potrzebna do wychylenia lotki jest znacznie mniejsza niż w przypadku pokazanym na rysunku 3—26a. Należy tu jeszcze dodać, że nosek lotki pokryty sklejką spełnia tu podobne zadanie jak keson skrzydła, tzn. przenosi skręcanie i zastępuje krzyżulce stosowane w lotce krzyżulcowej. Dlatego też w lotce typu pokazanego na rysunku 3—26b żeberka mogą być ustawione równolegle, co jest w produkcji znacznie wygodniejsze.

W celu polepszenia własności w krążeniu nowoczesne szybowce wysokowyczynowe zaopatrzone są często w klapy wyporowe. Klapy te, zbudowane podobnie jak lotki, umieszczone są w tyle (n



Rys. 3—26. Lotka konstrukcji drewnianej



Rys. 3—27. Hamulce aerodynamiczne

spływie) skrzydła i najczęściej obejmują całą pozostałą część rozpiętości płata pomiędzy lotką a kadłubem.

Najbardziej korzystny dla szybowca jest taki typ klapy, która wychylając się w dół równocześnie przesuwa się do tyłu, poszerzając w ten sposób skrzydło i zwiększając jego powierzchnię nośną (patrz również rozdział 1, pkt 9). Jednakże, niestety, poszerzacze nie są łatwe do umieszczenia w skrzydle szybowca ze względu na małą wysokość profilu.

W wysokowyczynowych szybowcach stosuje się często sprzężenie lotek z klapami. W celu zwiększenia skuteczności lotek przy wychylaniu klap opuszczają się symetrycznie i lotki o pewien — odpowiednio mniejszy — kąt niż klapy.

Wszystkie nowoczesne szybowce zaopatrzone są w hamulce aerodynamiczne. Hamulce te mają przeważnie postać wysuwanych poprzecznie do kierunku lotu płyt, umieszczonych na górnej i dolnej powierzchni skrzydła (rys. 3—27). Płyty hamulców aerodynamicznych mogą być konstrukcji drewnianej lub metalowej. W stanie zamkniętym muszą oczywiście być dokładnie dopasowane do powierzchni skrzydła, aby nie wpływały ujemnie na jego własności aerodynamiczne.

b. Usterzenia

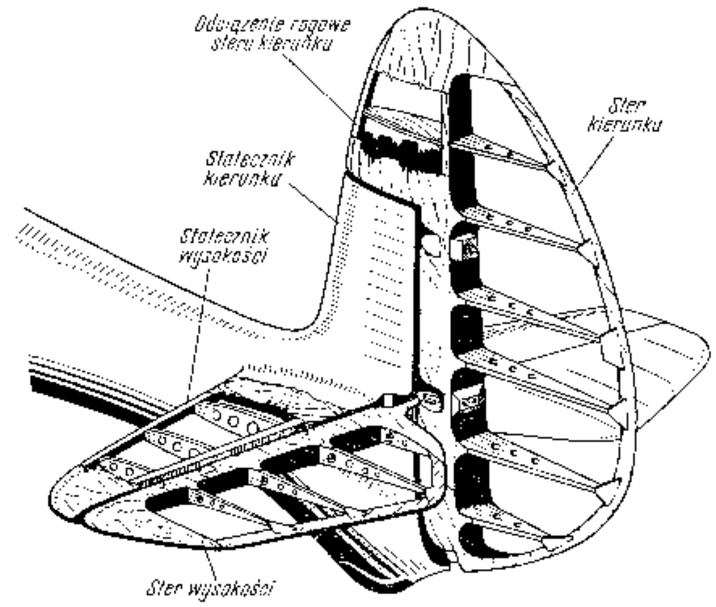
Zespołem konstrukcyjnym szybowca o budowie zbliżonej do skrzydła są usterzenia. Jak wiemy z mechaniki lotu, nie mają one na celu wytwarzania siły nośnej, ale służą jedynie do zapewnienia szybowcowi odpowiedniej stateczności oraz do sterowania jego lotem (rys. 3—28). Rozróżniamy przy tym usterzenie wysokości i usterzenie kierunku.

Usterzenie wysokości normalnego typu, zwane również usterzeniem poziomym, składa się ze statecznika wysokości oraz ze steru wysokości, który zawieszony za pomocą zawiasów na stateczniku może być przez pilota wychylany dowolnie do góry lub do dołu.

Bywają również stosowane (chociaż rzadko) usterzenia niedzielone, gdzie cała płyta usterzenia wychyla się podobnie jak ster wysokości, a ponadto usterzenia motylkowe, o których będzie mowa w punkcie 7 niniejszego rozdziału.

Usterzenie kierunku, zwane również usterzeniem pionowym, zapewnia szybowcowi niezbędną stateczność kierunkową oraz daje możność sterowania szybowcem w płaszczyźnie poziomej. Usterzenie składa się ze statecznika kierunku oraz ze steru kierunku, który może być wychylany w lewo i w prawo.

Konstrukcja usterzeń, jak to widać na rysunku 3—28, przypomina swoją budową skrzydło. Szkielet statecznika lub steru składa się z dźwigarka, żeber lub krzyżulców oraz z listwy natarcia i listwy spływu. Stateczniki są przeważnie kryte sklejką, stery zaś z reguły pokrywane są płótnem. Żeberka, odpowiednio mniejsze niż skrzydłowe, mają konstrukcję uproszczoną, zaś kesoniki sterów przy konstrukcji bezkrzyżulcowej kryte są sklejką. Dla zmniejszenia sił przy wychylaniu sterów stosuje się odciążenia aerodynamiczne lub klapki odciążające (odciążenie aerodynamiczne rogowe pokazano na rysunku 3—28).



Rys. 3—28. Typowe usterzenie szybowca konstrukcji drewnianej

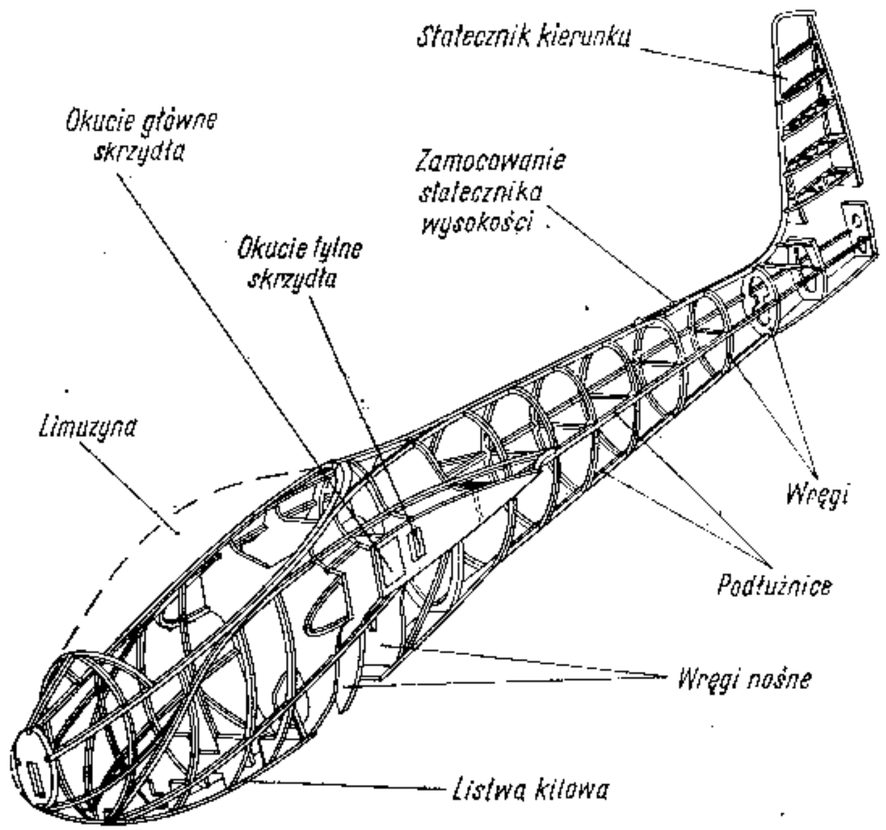
Usterzenie wysokości jest z reguły odejmowane i zawieszane na tyle kadłuba na odpowiednich okuciach.

c. Kadłub

Kadłub typowego szybowca wyczynowego konstrukcji drewnianej, obecnie najczęściej u nas stosowanej, przedstawiony został na rysunku 3—29. Szkielet kadłuba składa się tu z szeregu poprzecznych ram, tak zwanych wręg, połączonych między sobą listwami biegnącymi wzdłuż kadłuba, które noszą nazwę podłużnic. Kadłub pokryty jest sklejką, która w tyle kadłuba tworzy zamkniętą, stożkową rurę. Pokrycie to usztywnia szkielet kadłuba oraz przenosi skręcanie, wywołane działaniem usterzenia kierunku, o czym zresztą zostało już podane obszerniej w poprzednim rozdziale.

Niektóre wręgi wyróżniają się szczególnie mocną i sztywną bu-

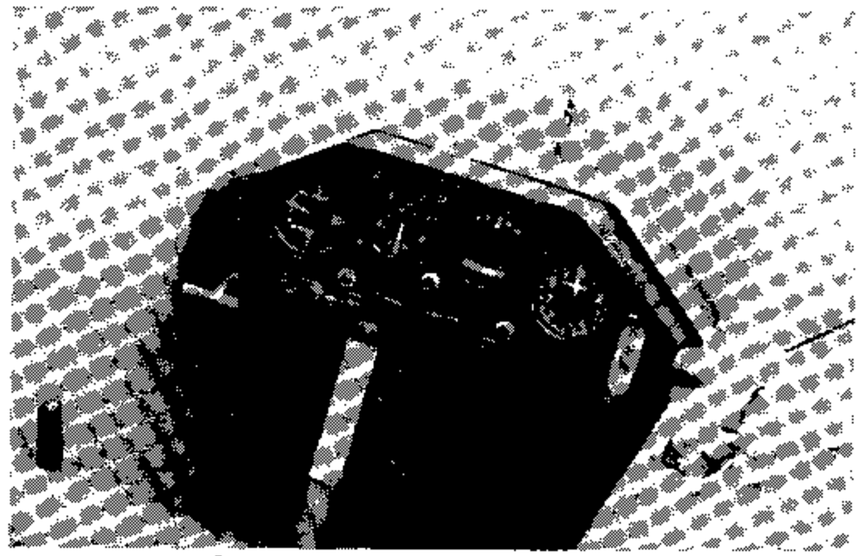
dową. Nazywają się one wręgami nośnymi i do nich to przymocowuje się całe zespoły szybowca, jak skrzydło, usterzenia, podwozie itp. Taka konstrukcja kadłuba nazywa się konstrukcją półskorupową.



Rys. 3—29. Kadłub typowego szybowca wyczynowego konstrukcji drewnianej (konstrukcja półskorupowa)

W szybowcach wysokiej klasy stosuje się czasem konstrukcję skorupową, tzn. że jedynym elementem przenoszącym nie tylko skręcanie, ale i zginanie wywołane przez siły występujące na usterzeniach jest pokrycie kadłuba. Czyli w tym przypadku kadłub może nie mieć w ogóle podłużnic w swojej tylnej części.

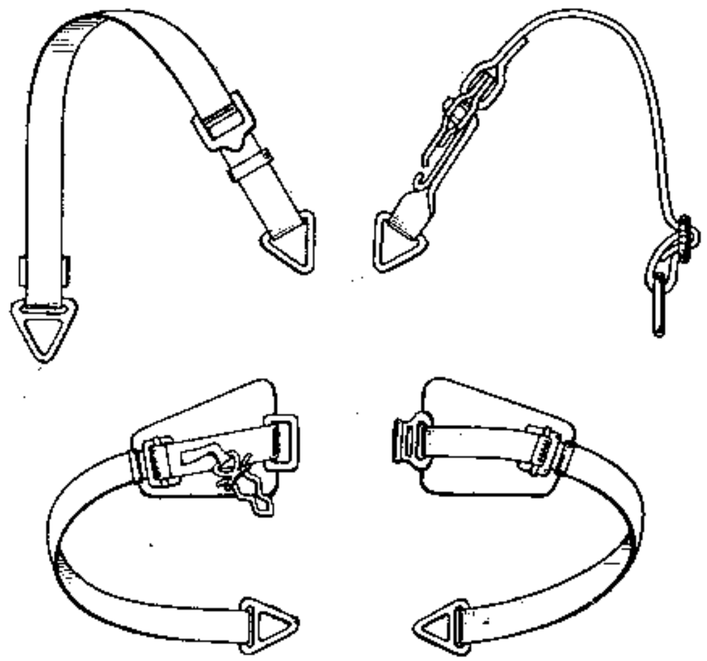
W przodzie kadłuba mieści się kabina pilota. Podobnie jak tył kadłuba składa się ona ze szkieletu drewnianego, pokrytego z dołu i z boków sklejką. Otwarta górna część kabiny zamykana jest limuzyną z przezroczystego szkła organicznego, tzw. plexiglasu, który w przypadku rozbicia nie kaleczy pilota. Aby umożliwić pilotowi wsiadanie i wysiadanie z szybowca, limuzyna daje się od-



Rys. 3—30. Kabina szybowca treningowego

chylać na bok lub jest odsuwana do tyłu, albo też może być podnoszona do góry. W razie konieczności skoku na spadochronie limuzyna może być odrzucona przez pilota w całości przez pociągnięcie specjalnej gałki awaryjnej.

W kabinie mieści się wygodny fotel wyposażony w pasy bezpieczeństwa, które chronią pilota przed wypadnięciem w czasie



Rys. 3—31. Pasy bezpieczeństwa pilota

rzucania w burzliwych warunkach atmosferycznych lub też przy wykonywaniu akrobacji. Wygodne urządzenie kabiny jest rzeczą bardzo ważną, ponieważ pilot szybowcowy nieraz spędza w powietrzu długie godziny bez możliwości zmiany położenia ciała.

Bezpośrednio przed pilotem umieszczony jest drążek sterowy, za pomocą którego porusza on sterem wysokości oraz lotkami. W przodzie kabiny znajdują się pedały (lub ewentualnie w szybowcach szkolnych orczyk), na których pilot opiera nogi i steruje wychyleniem steru kierunku. W większości szybowców pedały mogą być regulowane, tzn. przesuwane w czasie lotu bliżej lub dalej od pilota w celu zapewnienia odpowiedniej pozycji nóg.

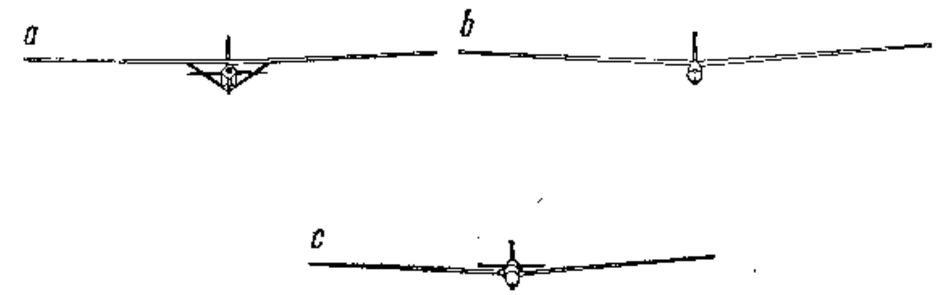
Na lewej burcie kabiny umieszczone są dźwignie napędowe klap wyporowych, hamulców aerodynamicznych oraz uchwyt wyzwalający do wyczepiania linki holowniczej, jak również dźwignia ustawienia klapki wyważającej. Napęd chowania podwozia umieszczany na ogół bywa na prawej burcie kabiny.

W przodzie kabiny, na wprost pilota, znajduje się tablica z przyrządami pokładowymi. Rozmieszczenie przyrządów, ich przeznaczenie oraz zasady budowy i działania zostały opisane w następnym rozdziale — *Wyposażenie szybowców*. Skrzydła i usterzenia są przymocowane do kadłuba za pośrednictwem metalowych okuć. Okucia te składają się przeważnie ze stalowych lub duralowych blach, przytwierdzonych do nośnych drewnianych części szybowca za pomocą śrub lub nitów stalowych, albo duralowych.

Okucia skrzydłowe i kadłubowe spinane są ze sob stalowymi sworzniami, najczęściej stożkowymi. Stożkowy kszta sworzni pozwala na łatwe usuwanie luzów powstałych w czasie użyt kowania. Konstrukcja okuć powinna być odpowiednio mocna, możli wie lekka, a ponadto powinna zapewniać łatwy i szybki montaż ora demontaż szybowca. Ze względu na łatwy demontaż w uchach okuć głównego stosowane są często tuleje rozprężne, które rozpychan stożkami zapewniają łatwe i szybkie łączenie okuć.

W celu ochrony kadłuba przy lądowaniu oraz dla zamortyzowan wstrząsów w chwili zetknięcia się z ziemią, szybowiec wyposażo jest w kółko na pneumatyku, płozę tylną oraz często jesze dodatkowo w płozę przednią. Kółko ma ponadto za zadanie ułaty transport szybowca po lotnisku oraz jego start za samolotem. J ono z zasady zaopatrzone w hamulec sprzężony z dźwi nią hamulców aerodynamicznych, który pozwala znaczne skrócenie dobiegu szybowca przy lądowaniu.

W szybowcach wysokiej klasy, w celu zmniejszenia oporów aero namicznych w czasie lotu, kółko chowane jest do kadłu W szybowcach szkolnych i treningowych stosuje się na ogół podwo stałe, często dodatkowo zaopatrzone w amortyzatory gumowe sprężynowe dla złagodzenia skutków nieprawidłowego lądowa



Rys. 3—32. Różne umieszczenie skrzydeł na kadłubie szybowca
a — układ górnopłata zastrzałowego, *b* — układ grzbietopłata, *c* — układ średniopłata

W celu otrzymania lżejszej i wytrzymalszej konstrukcji skrzydła, chociaż nieco gorszej pod względem aerodynamicznym, stosuje się czasem zastrzały. Zastrzały są to pręty, które jednym końcem podpierają skrzydło, mniej więcej w połowie jego rozpiętości, z drugiej zaś strony opierają się o dół głównej wręgi kadłubowej. Taką konstrukcję spotkać można często w szybowcach szkolnych oraz w niektórych szybowcach treningowych.

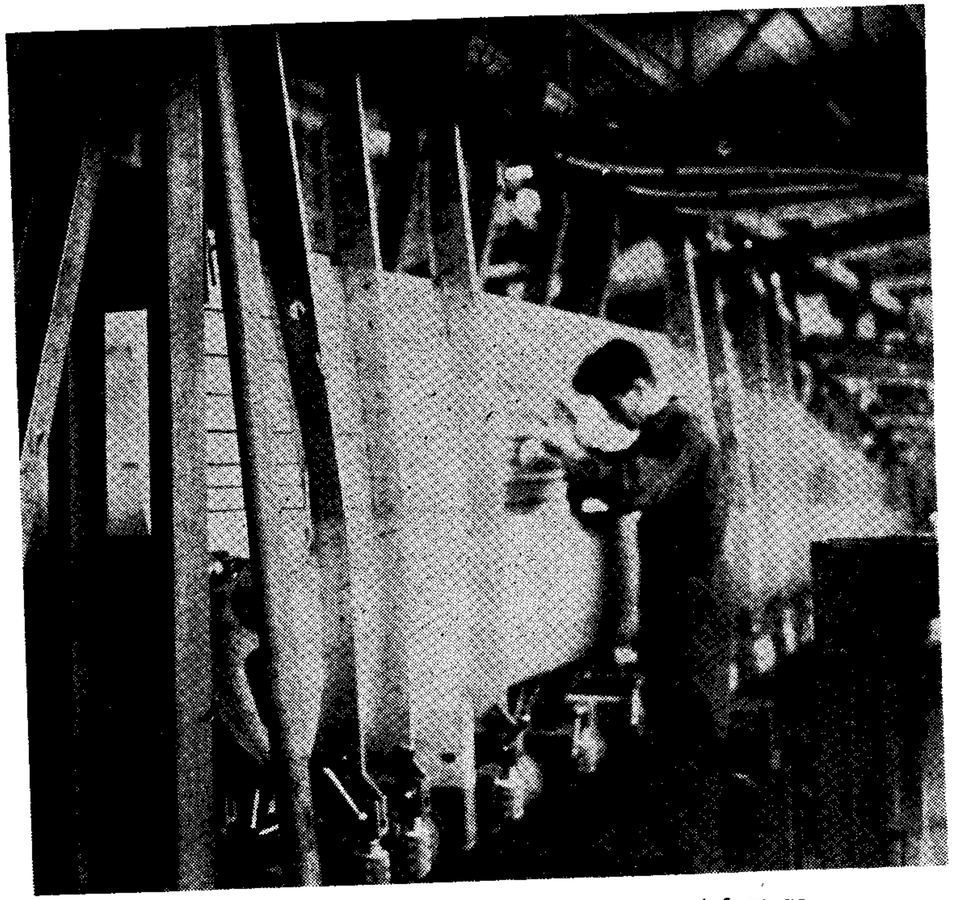
Na zakończenie naszych rozważań o konstrukcji szybowców drewnianych należy jeszcze wspomnieć o tym, że skrzydła mogą być umieszczone na kadłubie na różnej jego wysokości, przy czym na rysunku 3—32 pokazano schematycznie trzy zasadnicze typy stosowanych rozwiązań.

Rysunek 3—32a przedstawia układ górnopłata, w którym skrzydło jest umieszczone nad kadłubem. Takie skrzydła są bardzo korzystne aerodynamicznie, lecz ze względów wytrzymałościowych muszą być zastrzałowane. Z kolei na rysunku 3—32b pokazano przykład najczęściej w szybowcach stosowanego układu grzbietopłata, a na rysunku 3—32c układ średniopłata. Układu dolnopłata nie stosuje się w szybownictwie ze względu na zbyt małą odległość skrzydła od ziemi, co mogło by prowadzić do jego uszkodzeń przy starcie lub lądowaniu.

6. Szybowce metalowe

Szybowce metalowe mają konstrukcję różniącą się zasadniczo od konstrukcji drewnianych. Materiałami używanymi do ich budowy są: blachy duralowe, kształtowniki duralowe, rury stalowe i duralowe oraz elementy stalowe lub duralowe na okucia nośne.

Prawidłowa konstrukcja szybowca metalowego powinna uwzględniać wszystkie korzystne własności duralu, a więc jego wysoką wy-



Rys. 3—33. Typowe skrzydło szybowca metalowego

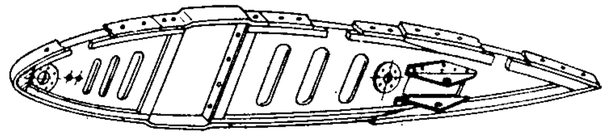
trzymałość i stosunkowo nieduży ciężar właściwy oraz powinna umiejętnie unikać jego cech niekorzystnych, z których najbardziej kłopotliwa jest jego niespawalność. Podstawową technologią łączenia elementów duralowych jest nitowanie.

Dzięki dużej wytrzymałości i sztywności pokrycia skrzydła wykonanego z blachy duralowej można uniknąć w ogóle stosowania dźwigara głównego. Odpowiednio bowiem usztywnione pokrycie skrzydła podłużniczkami duralowymi przenosi doskonale naprężenia ściskające i rozciągające pochodzące od zginania skrzydła. Dopiero w pobliżu okuć łączących skrzydło z kadłubem wbudowuje się w skrzydło szczątkowy dźwigar, a to z względu na konieczność punktowego wyprowadzenia sił z konstrukcji skorupowej.

Ze względu na brak możliwości stosowania innych połączeń jak nitowanie, żebra skrzydła składane są najczęściej z dwóch połówek znitowanych ze sobą (rys. 3—34).

Spływ skrzydła oraz lotki i stery są przeważnie kryte płótnem, chociaż czasami stosuje się również cienką blachę duralową

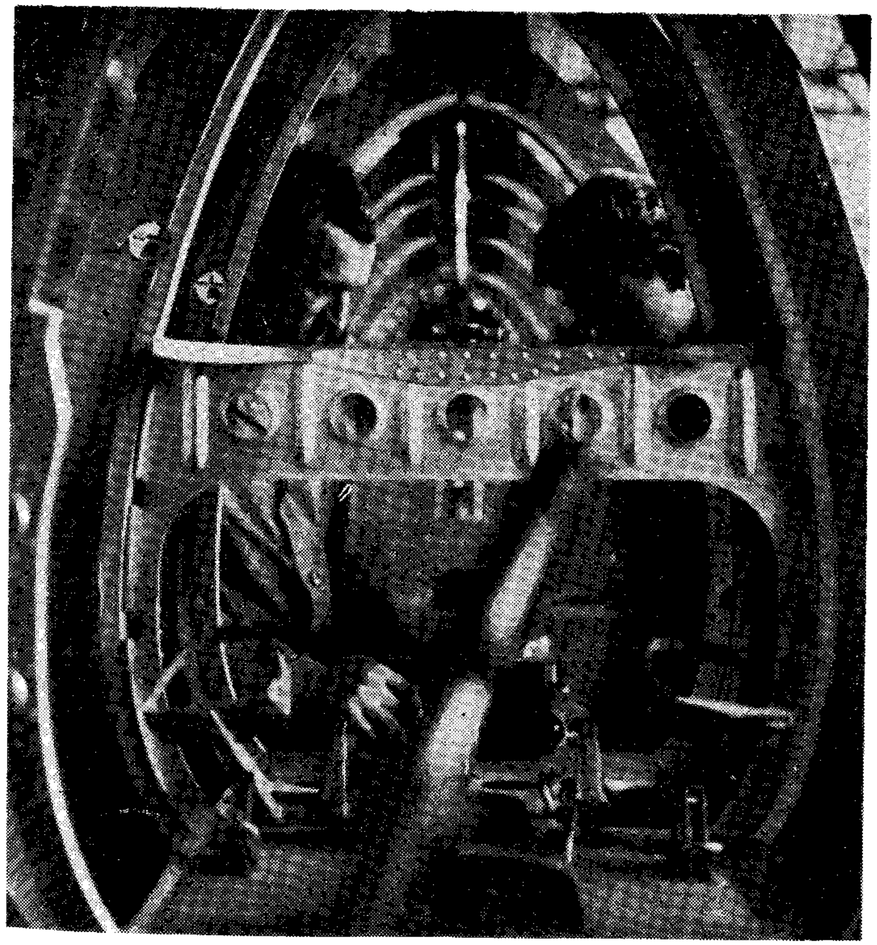
o grubości 0,3 — 0,4 mm. Wówczas zamiast żeberek na spływach lotek lub sterów daje się jedynie podłużne wąskie wgniecenia blachy pokryciowej, co znakomicie je usztywnia, zaś zamiast dźwigarków na sterach i lotkach używa się ceowników z blachy duralowej.



Rys. 3—34. Typowe żebro szybowca metalowego

Kadłuby metalowych szybowców mogą mieć konstrukcję skorupową lub kratową.

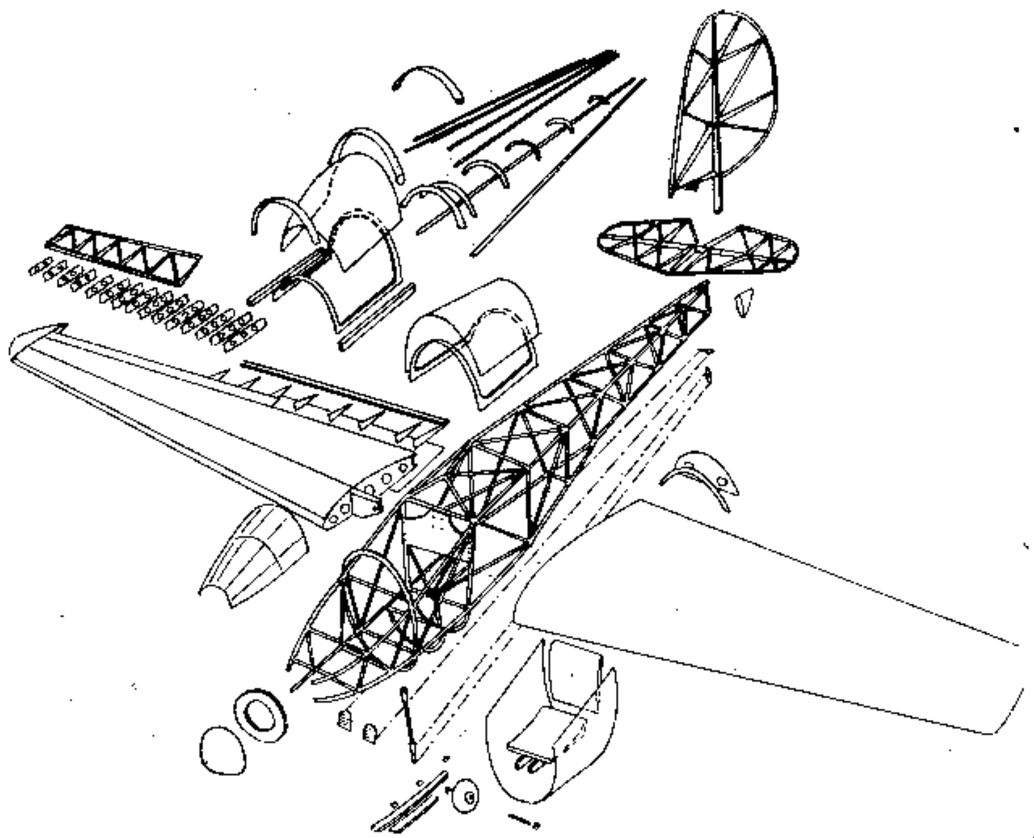
Konstrukcja kadłuba skorupowego jest zbliżona do konstrukcji skrzydła. Elementem nośnym jest tu również pokrycie z blachy duralowej, usztywnione nielicznymi wręgami utrzymującymi



Rys. 3—35. Kadłub szybowca metalowego konstrukcji skorupowej

kształt przekroju kadłuba oraz wzmocnione w miarę potrzeby podłużnicami z kształtowników duralowych.

Kadłub metalowy konstrukcji kratowej ma zupełnie inną konstrukcję (rys. 3—36). W tego typu konstukcji elementem przenoszącym siły jest krata przestrzenna wykonana z rurek stalo-



Rys. 3—36. Konstrukcja szybowca metalowego

wych i pokryta płótnem. Kadłuby kratowe są stosunkowo tan
i łatwe do wykonania dzięki stosowaniu spawania, jednakże są c
cięższe od skorupowych.

Ze względów remontowych szybowiec konstrukcji metalowej
winien się składać z zespołów łatwo wymiennych w razie uszkod
nia. Na rysunku 3—36 przedstawiono właśnie szybowiec metalo
w „rozsypce", tzn. rozłożony na zespoły konstrukcyjne, z któ
został zbudowany.

Główną wadą szybowców wyczynowych konstrukcji met

wej jest — jak narazie — konieczność stosowania połączeń nitowanych, co powoduje powstawanie na powierzchni szybowca nierówności uniemożliwiających zachowanie opływu laminarnego. Aby więc osiągnąć żądaną gładkość powierzchni, konieczne jest z kolei stosowanie grubej warstwy podkładów i lakierów pokryciowych.

Oczywiście sytuacja zmieni się całkowicie na korzyść konstrukcji metalowych z chwilą wprowadzenia na szerszą skalę łączenia części metalowych za pomocą klejów. Stosowana bowiem obecnie w przemyśle lotniczym technologia klejenia metali wymaga jeszcze kłopotliwych i kosztownych urządzeń oraz nie jest dostatecznie wypróbowana w przypadkach konstrukcji szybowcowych.

Metalowe konstrukcje skorupowe mają jeszcze w zastosowaniu do szybowców tę niekorzystną cechę, że przeważnie wymagają „przewymiarowywania" elementów pod względem wytrzymałościowym. Na przykład — pokrycie z blachy duralowej, czyli z materiału o dużej wytrzymałości, zwymiarowane odpowiednio do przenoszonych obciążeń wypadłoby bardzo cienkie i łatwo ulegałoby odkształceniom oraz uszkodzeniom przy niezbyt ostrożnej obsłudze.

7. Mechanizmy sterowania szybowcem

Urządzenie do sterowania szybowcem znajduje się w kabinie pilota i składa się ze sterownicy (drążka sterowego) i pedałów (orczyka).

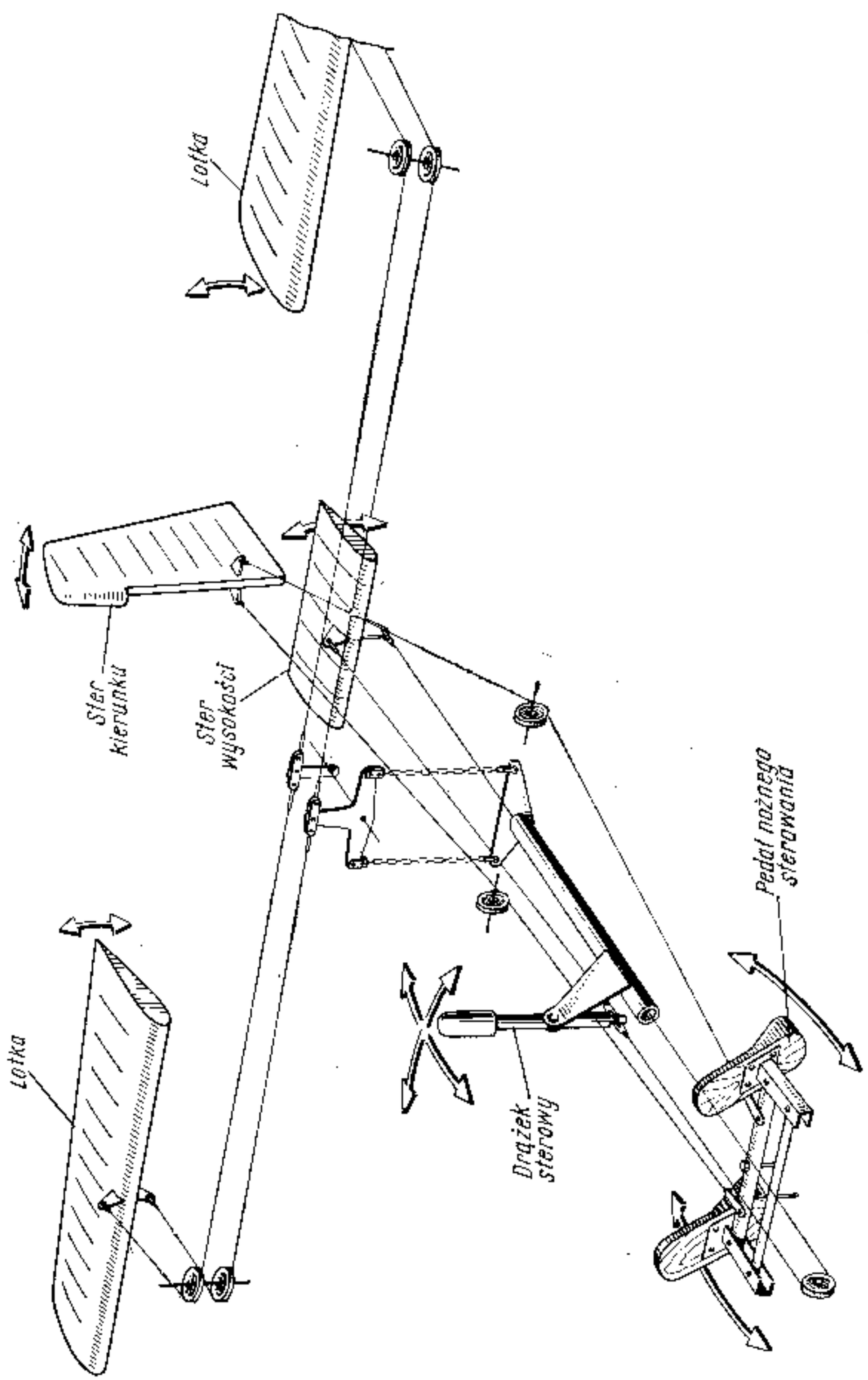
Jak już wspomniano poprzednio drążek sterowy służy do sterowania szybowcem wokół jego osi poprzecznej i osi podłużnej, tzn. do wychylania steru wysokości oraz lotek. W położeniu neutralnym, czyli przy nie wychylonym sterze wysokości i nie wychylonych lotkach, drążek sterowy powinien się znajdować w pozycji pionowej.

Ze sterem wysokości drążek sterowy połączony jest najczęściej za pomocą linek i krążków prowadzących. Taki napęd nazywa się linkowy. Jeżeli jednak połączenie drążka ze sterem wykonane jest za pomocą popychaczy, tzn. sztywnych prętów w postaci drążków lub rurek, to taki system napędu nazywa się sztywny lub popychaczowy.

Drążek sterowy połączony jest w podobny sposób również z napędem lotek. Pilot może więc wychylać drążek „od siebie" i „na siebie" oraz w prawo i w lewo (rys. 3—37).

Jak widać z rysunku 3—37, wychylenie drążka „na siebie" i „od siebie" powoduje wychylenie steru wysokości w górę lub w dół. Równocześnie z przechyleniem drążka sterowego na boki wychylają się lotki — jedna z nich się opuszcza, a druga podnosi.

Lotki są ze sobą związane kinematycznie za pomocą linek lub popychaczy w taki sposób, że ich wychylenie na obu skrzydłach odbywa



Rys. 3—37. Napęd lotek, steru wysokości i steru kierunku

się równocześnie. Jeżeli pilot wychyli drążek w lewo, to lewa lotka podniesie się, a prawa opuści — jeżeli natomiast wychyli drążek w prawo, to na odwrót — prawa lotka się podniesie, a lewa opuści. Kąty wychylenia lotek do góry i do dołu nie zawsze są jednakowe. W szybowcach stosuje się przeważnie wychylenia lotek do góry większe niż do dołu. Tego rodzaju napęd lotek nazywa się różnicowy i ma za zadanie zmniejszenie odwrotnego momentu kierunkowego, jaki powstaje przy wychyleniu lotek (patrz również rozdział 1, pkt 20).

Pedały ewentualnie orczyk sterowania nożnego łączą się ze sterem kierunku za pośrednictwem linek. Same pedały mają ruch posuwisto-obrotowy — do przodu i do tyłu. Jeżeli pilot przesunie do przodu prawy pedał, to wówczas ster kierunku wychyli się w prawo, a gdy naciśnie lewy pedał — ster wychyli się w lewo.

Wychylanie sterów szybowca połączone jest z pewnym wysiłkiem ze strony pilota. Pod wpływem bowiem działania strug powietrza wszystkie stery wykazują tendencję do powrotu do położenia zerowego, przy którym szybowiec będzie kontynuował lot prosty z ustaloną prędkością, zwaną prędkością wyważenia (patrz również rozdział 1, pkt 20 i 21). Jeżeli jednak pilot zechce lecieć z jakąś inną prędkością, to będzie musiał stale „odpychać" lub też „ciągnąć" drążek, zależnie od tego czy poleci prędzej, czy też wolniej od prędkości wyważenia.

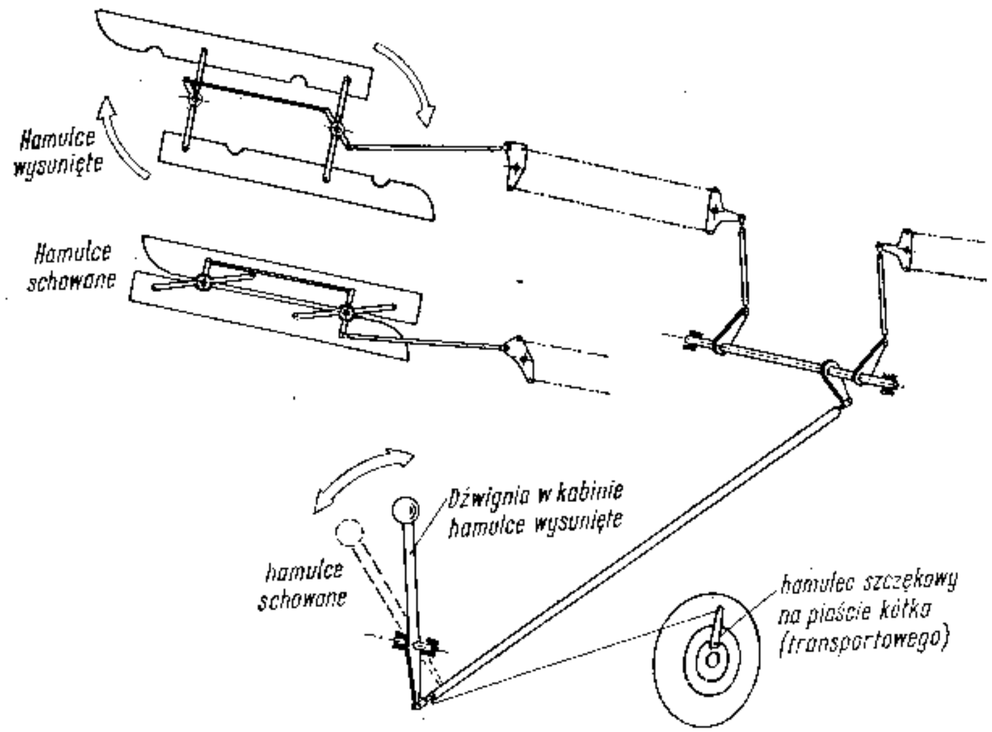
Dlatego też w wielu szybowcach stosuje się klapkę wyważającą (trymer) omówioną już w rozdziale 1, pkt 20 i pokazaną na rysunku 1—66. Klapka ta, w postaci dodatkowego małego steru, umieszczona jest na tylnej krawędzi właściwego steru wysokości. Jej napęd znajduje się w kabinie szybowca w zasięgu ręki pilota, tak aby mógł on dowolnie „wyważać" szybowiec w czasie lotu na odpowiednią prędkość.

Przy pewnej niesymetrii lub też przy wyważaniu się szybowca, nie wyposażonego w klapkę wyważającą, na nieodpowiednim kącie natarcia stosuje się stałe klapki w postaci odginanych blaszek przykręcanych na spływie steru. Czasem również, w przypadku gdy siła niezbędna do wychylenia powierzchni sterowej (np. lotek) jest zbyt duża, stosuje się klapkę odciążającą (patrz również rozdział 1, pkt 20 oraz rys. 1—65). Klapka ta wychyla się automatycznie przy każdym ruchu steru, zmniejszając siłę potrzebną do jego wychylenia i spełniając identyczne zadanie, co powierzchnia odciążenia aerodynamicznego przed osią obrotu steru.

Dźwignia napędu hamulców aerodynamicznych umieszczona jest na lewej burcie szybowca. Jeżeli jest ona odchylona całkowicie do przodu aż do ogranicznika, wówczas płyty hamulcowe schowane są w obrysie skrzydła (rys. 3—38). Chcąc zatem wysunąć płyty hamulcowe pilot przesuwa dźwignię ku sobie. Przy sprzę-

żonym hamulcu kółka podwozia, w końcowej fazie ruchu dźwigni zaczyna również działać hamulec osadzony na piaście kółka.

Napęd hamulców aerodynamicznych musi ponadto mieć niezawodne blokowanie w położeniu zamkniętym, gdyż gwałtowne samoczynne wysunięcie się płyt hamulcowych przy dużej prędkości



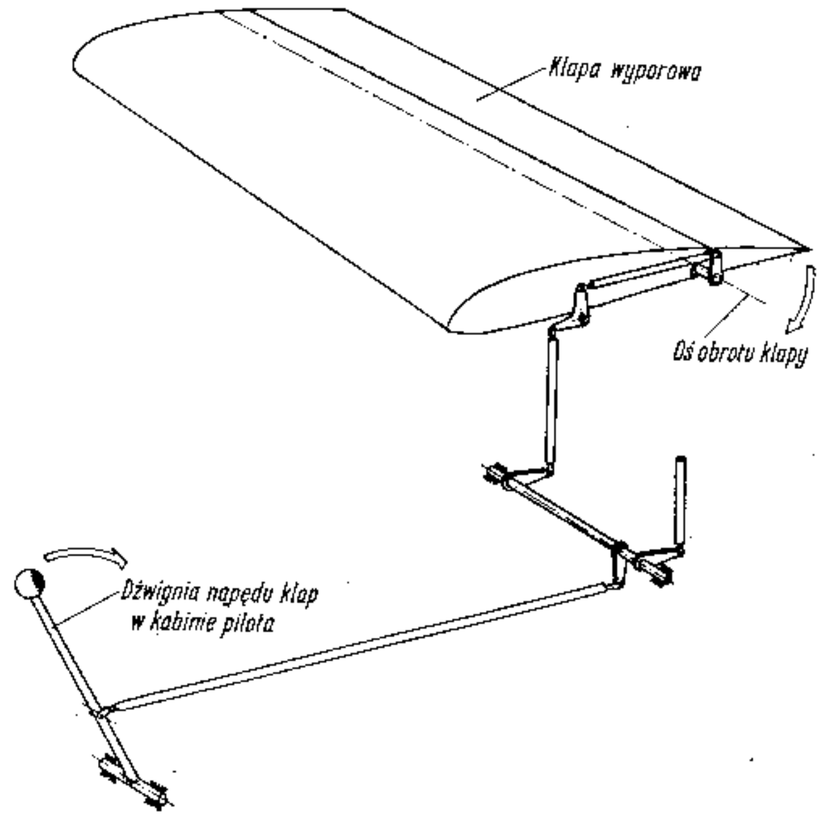
Rys. 3—38. Napęd hamulców aerodynamicznych

lotu (np. wskutek działania sił ssących na powierzchni skrzydeł) m
że spowodować uszkodzenie skrzydeł i rozsypanie się szybowca w
wietrzu.

Klapy wyporowe na szybowcu wyczynowym wychyla się
pomocą dźwigni podobnej do dźwigni hamulców, lecz różniącej
uchwytem, który jest umieszczony również po lewej stronie kabi
Schemat najczęściej stosowanego napędu klap pokazuje rysu
3—39.

W kabinie, oprócz wyżej wymienionych mechanizmów napędowy
znajduje się jeszcze jedno bardzo ważne urządzenie, a mianow
gałka umieszczona przeważnie w pobliżu tablicy z przyrządami,
ra służy do uruchamiania zaczepu i wyzwalania linki holującej
bowiec. Zaczep startowy szybowca jest to hak, który w
łożeniu opuszczonym (zamkniętym) przytrzymuje mocno i niezaw
nie stalowe ogniwko znajdujące się na końcu linki holującej. Je
dokładniej opisany w rozdziale 5 — *Urządzenia startowe* (rys. 5—

Większość szybowców jest wyposażona w dwa zaczepy: przedni i dolny. Przedni zaczep służy do holowania za samolotem lub do startu za wyciągarką, dolny zaś jedynie do startów za wyciągarką. Oba zaczepy są sprzężone ze sobą i pilot wyzwala je równocześnie



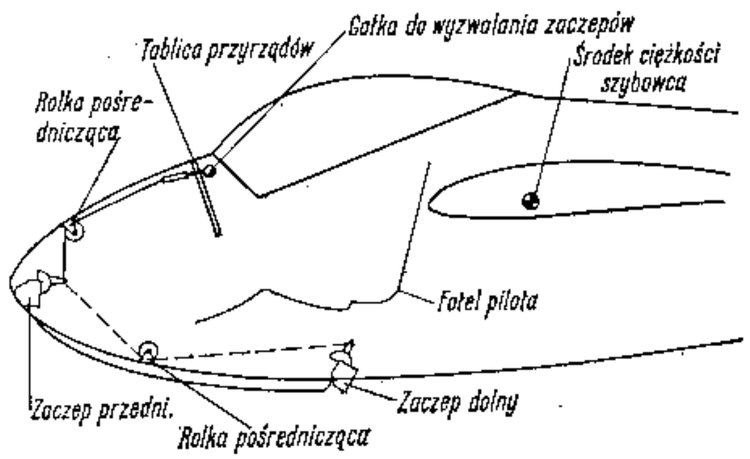
Rys. 3—39. Napęd klap wyporowych

przez pociągnięcie jednej tylko gałki umieszczonej z lewej strony tablicy przyrządów. Umieszczenie na szybowcu zaczepów oraz przebieg linek napędowych przedstawia rysunek 3—40.

Szybowce dwumiejscowe są z reguły wyposażone w podwójne sterowanie. Daje to możność prowadzenia szybowca równocześnie przez ucznia i instruktora, ewentualnie pozwala na zmianę i odpoczynek członków załogi w czasie długotrwałych lotów. Drążki podwójnego napędu sterowniczego są ze sobą związane w taki sposób, że przy wychyleniu jednego z nich, drugi wychyla się równocześnie w tę samą stronę. Również i pedały nożnego sterowania oraz dźwignie napędu hamulców aerodynamicznych są ze sobą sprzężone w podobny sposób (rys. 3—41).

Nie wszystkie jednak szybowce mają takie proste mechanizmy ste-

rowania jak te, które zostały omówione wyżej. Na przykład usterzenie motylkowe, stosowane czasem w szybownictwie ze względu na mniejszy opór aerodynamiczny oraz nieco zmniejszony ciężar w stosunku do usterzeń klasycznych, charakteryzuje bardzo skomplikowany system napędowy. Usterzenie tego typu przedstawio-



Rys. 3—40. Schemat umieszczenia napędu zaczepów szybowcowych

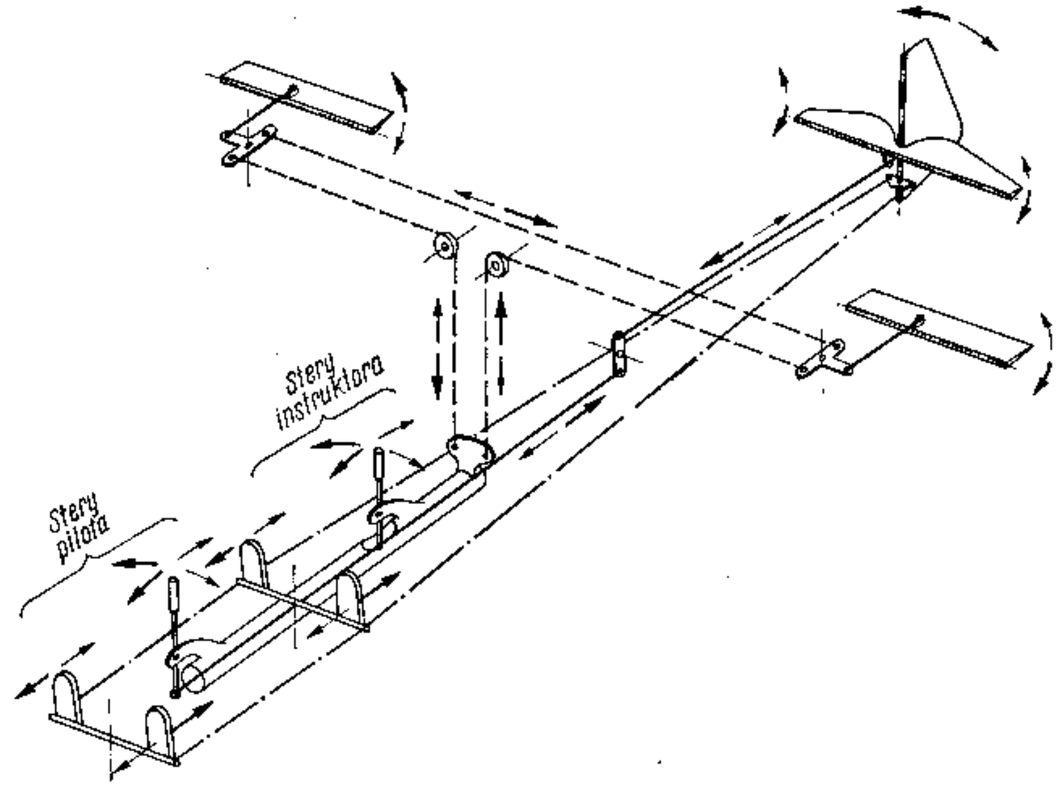
ne na rysunku 3—42, chociaż ma tylko dwie skośnie ustawione do poziomu powierzchnie sterujące, pracuje równocześnie jako usterzenie kierunku oraz jako usterzenie wysokości.

Przy ruchu drążka „od siebie" lub „na siebie" stery motylka wychylają się równocześnie do góry lub do dołu — i w tym przypadku usterzenie działa jako usterzenie wysokości.

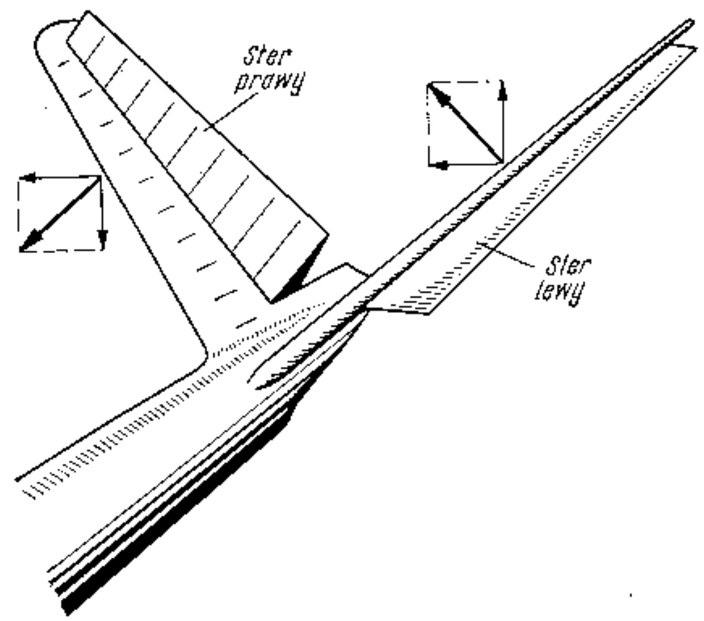
Przy wychyleniu pedałów stery motylka wychylają się w różne strony. Jeżeli naciśnie się prawy pedał, to wówczas prawy ster motylka opuści się, a lewy podniesie, przy naciśnięciu lewego pedału na odwrót — lewy ster opuści się, a prawy podniesie. Motylek pracuje wtedy jako usterzenie kierunku. Można także równocześnie poruszać drążkiem i naciskać pedały — wówczas kąty wychyleń sterów motylka będą się sumować.

Jeszcze bardziej skomplikowane mechanizmy sterowania występują w układach niekonwencjonalnych. Rozpatrzmy dla przykładu jeden ze sposobów sterowania szybowca bezogonowego, który przedstawiono schematycznie na rysunku 3—43.

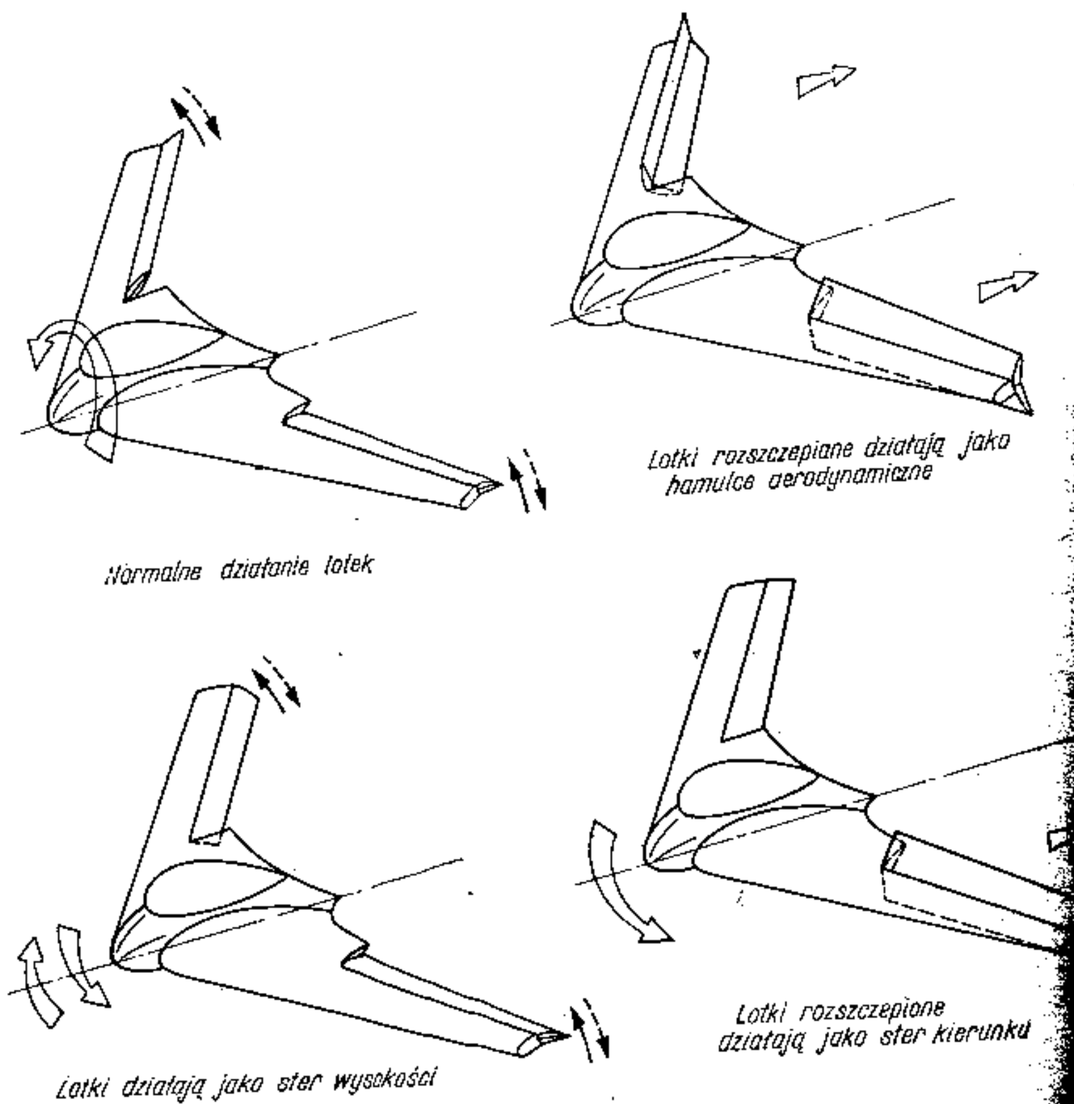
Ponieważ szybowiec bezogonowy typu latające skrzydło z skrzydłem skośnym zasadniczo nie ma ani usterzenia wysokości, ani usterzenia kierunku, musi być sterowany wyłącznie za pomocą lotek. W takim przypadku lotki, oprócz swojej zwykłej funkcji sterowania poprzecznego, muszą przejąć funkcję steru wys



Rys. 3—41. Napęd dwusterowy



Rys. 3—42. Przykład sterowania usterzeniem motylkowym



Rys. 3—43. Przykład sterowania szybowcem bezogonowym

kości — wychylając się zgodnie do góry lub do dołu wywołują zm
nę kąta natarcia.

Sterowanie kierunkowe szybowca bezogonowego odbywa się
częściej przez w y c h y l a n i e c z ę ś c i s t e r o w e j jednej z
sterowych, które znajdują się na końcach skrzydeł. Wywołuje to
tym skrzydle przyrost oporu, który z kolei działając na dużym
mieniu od środka ciężkości powoduje zakręcanie szybowca w st
wychylonej płyty.

Sterowanie kierunkowe szybowca bezogonowego może również
bywać się za pomocą c e n t r a l n e g o s t e r u k i e r u n k u um
czonego na szczątkowym kadłubie, jednakże działanie takiego
jest mało skuteczne ze względu na krótkie ramię działania.

Najbardziej pożądanym sposobem sterowania kierunkowego latającego skrzydła jest sterowanie za pomocą r o z s z c z e p i a n y c h l o t e k, ponieważ nie wymaga ono stosowania dodatkowych powierzchni zwiększających opór aeordynamiczny szybowca. Lotki takie składają się z dwóch płaskich połówek nałożonych jedna na drugą i ściśle przylegających do siebie. W celu uzyskania efektu sterowania kierunkowego rozszczepia się szeroko jedną lotkę i wówczas przyrost siły oporu na tym skrzydle powoduje zakręcanie szybowca. Rozszczepiona lotka musi oczywiście zachować w dalszym ciągu możność wychylania się jako ster wysokości oraz jako lotka właściwa.

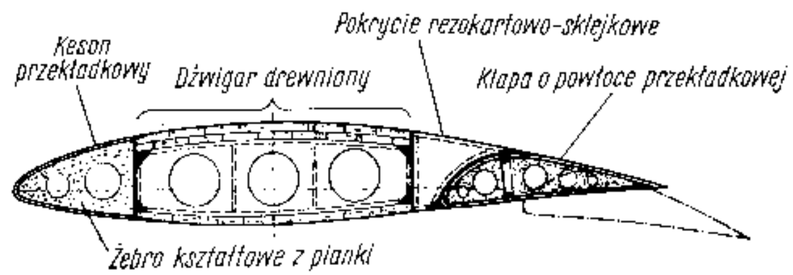
Ten ostatni sposób sterowania latającego skrzydła ma jeszcze tę zaletę, że obie lotki rozszczepione symetrycznie na obu skrzydłach mogą także służyć j a k o h a m u l c e a e r o d y n a m i c z n e do lotu nurkowego lub do lądowania.

8. Nowe metody budowy szybowców

Żywiołowy rozwój sprzętu szybowcowego stawia coraz wyższe wymagania dotyczące sprzętu. Zwłaszcza kluczowym zagadnieniem stała się doskonałość szybowców. Opracowanie profili laminarnych odpowiednich dla szybowców dało ze strony aerodynamiki podstawę do uzyskania wysokich doskonałości, jednakże warunkiem otrzymania opływu laminarnego w konstrukcji szybowca jest idealne dotrzymanie teoretycznie wyznaczonych kształtów.

Chcąc sprostować wymaganiom aerodynamiki konstruktorzy musieli więc zerwać z dotychczas stosowanymi metodami budowy szybowców i rozpocząć poszukiwania nowych materiałów oraz opracować nową technologię produkcji, która umożliwiłaby otrzymanie gładkiej i odpowiednio usztywnionej powierzchni zewnętrznej szybowca, mało podlegającej odkształceniom pod wpływem obciążeń zewnętrznych i naprężeń wewnętrznych oraz niewrażliwej na wpływy atmosfery.

Szeroko dotąd stosowane pokrycia szybowców za pomocą cienkiej sklejki, która z reguły faluje się i zapada pomiędzy żebrami, oraz płótna, które właściwie nadaje się tylko do krycia płaskich powierzch-



Rys. 3—44. Przykład żeber konstrukcji warstwowej

ni, a poza tym nie daje możliwości osiągnięcia właściwej gładkości pokrycia, musiały zostać zastąpione bardziej odpowiednimi materiałami. Najpierw próbowano pokrywać szybowiec, a zwłaszcza jego skrzydło, sklejką o znacznie większej grubości niż wymagały tego względy wytrzymałościowe, przy równoczesnym zastosowaniu dużej liczby żeber w celu odpowiedniego zabezpieczenia pokrycia przed jakąkolwiek deformacją.

Naturalnie ciężar takich szybowców był bardzo duży, co wymagało zwiększenia powierzchni nośnej i w dużej mierze anulowało korzyści osiągnięte przez większą gładkość powierzchni skrzydła. Aby obniżyć ciężar szybowca, próbowano konstrukcję nośną stosowaną dotychczas w postaci pasów dźwigara zastąpić grubym pokryciem części górnej i dolnej skrzydła pracującym na zginanie. Sklejka jednak, nawet paromilimetrowej grubości, nie jest w stanie przenieść dużych naprężeń ściskających, ponieważ łatwo ulega lokalnemu wyboczeniu. Chcąc ją więc zabezpieczyć przed wyboczeniem, trzeba zastosować dużą ilość podłużnic lub żeber przyklejonych do pokrycia, co spowodowałoby niepożądany wzrost ciężaru szybowca.

Niektórzy konstruktorzy zastosowali inną metodę. Pozostawiając cienką (zwymiarowaną z punktu widzenia wytrzymałości) sklejkę pokrycia podparli ją użebrowaną płytką drewnianą, która dzięki nacięciom mogła dopasować się do prostokreślnej krzywizny, np. noska skrzydła. Takie rozwiązanie konstrukcyjne ma czeski szybowiec wyczynowy „Spartak", jest ono jednak dosyć ciężkie.

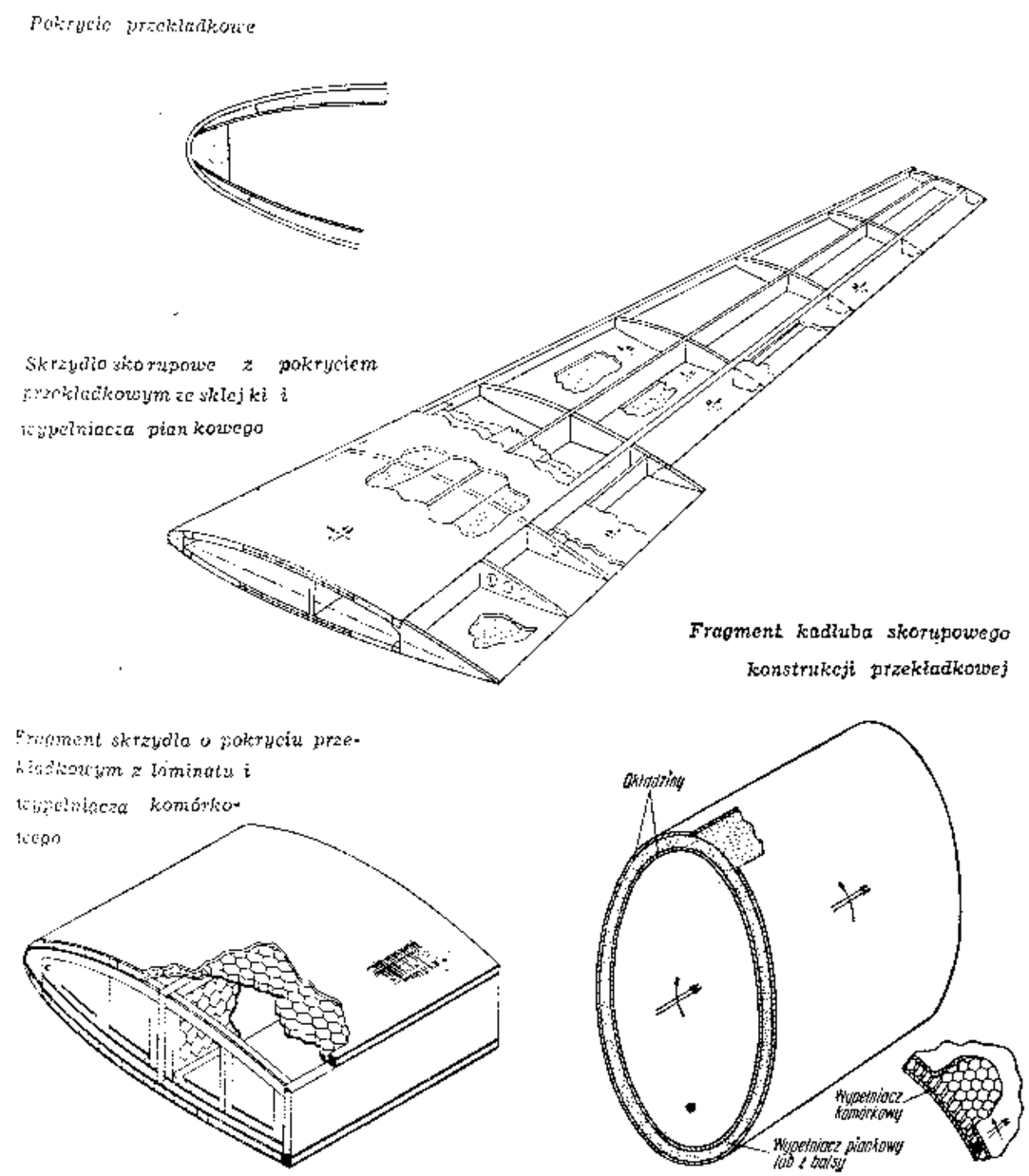
Krokiem naprzód w konstrukcji nowoczesnych szybowców okazało się zastosowanie tworzyw sztucznych i laminatów. Trudne dotychczas do wykonania w sklejce nierozwijalne powierzchnie sferyczne stały się całkiem łatwe w produkcji przy zastosowaniu jako materiału laminatów szklanych. Metoda wytwarzania laminatów jest przy tym bardzo prosta, nie wymaga bowiem stosowania docisków, lecz jedynie nieco podwyższonych temperatur. Na odpowiednio ukształtowanym kopycie układa się warstwy tkaniny szklanej przesycając ją żywicą poliestrową lub epoksydową. Po pewnym okresie czasu utwardzony już laminat zdejmuje się z kopyta i dokleja do konstrukcji szybowca.

Wytrzymałość prawidłowo wykonanego laminatu przewyższa na ogół wytrzymałość sklejki, jednakże wykazuje stosunkowo duży rozrzut własności fizycznych ze względu na indywidualne wykonawstwo poszczególnych egzemplarzy produktu. Dla tej też przyczyny, jak również z braku pełnych danych doświadczalnych odnośnie wytrzymałości trwałej i zmęczeniowej, w chwili obecnej laminaty nie są jeszcze szerzej stosowane w konstrukcji nośnej szybowców.

Istotny postęp w budowie szybowców przyniosło wprowadzenie konstrukcji przekładkowych, czyli popularnie zwanych „sandwiczów". Konstrukcja ta polega na zastosowaniu dwóch

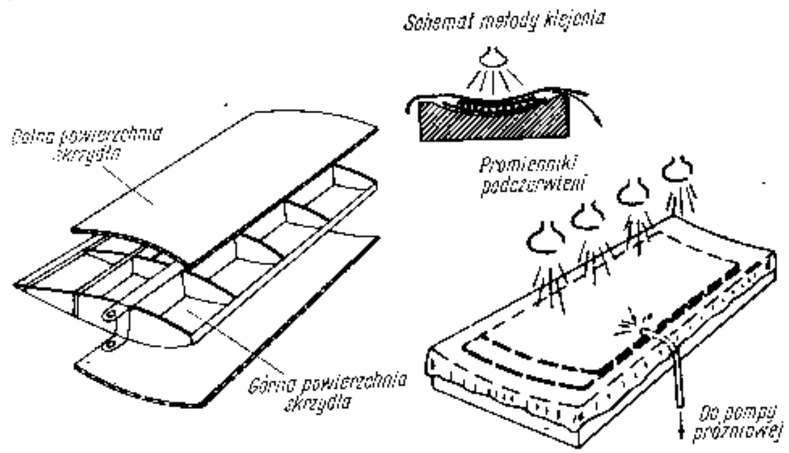
bardzo cienkich okładzin, pomiędzy którymi znajduje się wypełniacz (materiał możliwie jak najlżejszy) podpierający cienkie okładziny i nie dopuszczający do ich lokalnego wyboczenia. Grubość okładzin jest zwymiarowana naprężeniem przenoszonym przez konstrukcję, bez obawy ich wyboczenia się ze względu na bardzo duży moment bezwładności przekroju konstrukcji sandwiczowej.

Dzięki dużej sztywności pokrycia możliwe jest osiągnięcie konstrukcji szybowca praktycznie nieodkształcalnej a równocześnie bar-



Rys. 3—45. Przykład konstrukcji przekładkowych

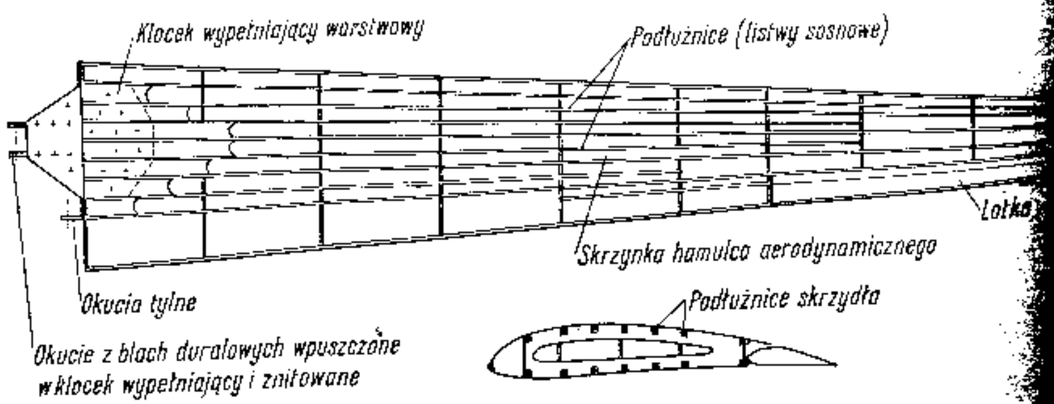
dzo lekkiej, jak również otrzymania dużej dokładności w kształtach profili, co z kolei jest najważniejszym czynnikiem przy profilach laminarnych.



Rys. 3—46. Proces wytwarzania konstrukcji przekładkowej skrzydła

Jako materiały okładzin stosuje się cienkie sklejki, cienką blachę duralową oraz pokrycia ze sztucznych żywic i laminatów szklanych. Jako wypełniaczy używa się tzw. pianek, to jest spienionych tworzyw (np. polichlorek winylu), rdzeni komórkowych w kształcie plastra miodu o ściankach z utwardzanego papieru, albo też balsy lub innych lekkich materiałów.

Zasadniczym wymaganiem dla konstrukcji przekładkowej jest dobre doklejenie wypełniacza do okładzin. Nie jest to jednak zadanie łatwe do wykonania, zwłaszcza jeśli chodzi o elementy mające krzywiznę, które niestety dominują w konstrukcji szybowca. Aby otrzymać prawidłowe doklejenie okładzin do wypełniacza, należy stosować dość znaczny docisk oraz podwyższoną temperaturę.



Rys. 3—47. Skrzydło wielopodłużnicowe

Ze względu na to, że szybowce są na ogół produkowane w bardzo niedużych seriach, stosowanie kosztownych autoklawów czy matryc byłoby nieopłacalne. Stosuje się więc bardziej laboratoryjne sposoby produkcji. Jako przykład wytwarzania konstrukcji przekładkowej podany został na rysunku 3—46 schemat procesu technologicznego skrzydła szybowca SZD-24 „Foka". Kolejność operacji klejenia skrzydła „Foki", które odbywa się w formach betonowych, przedstawia się następująco:

a) klejenie górnej skorupy przekładkowej metodą podciśnieniową,
b) wklejanie dźwigarów,
c) doklejanie dolnej skorupy.

Ciekawym przykładem konstrukcji przekładkowej, składającej się z cienkiej warstwy laminatu szklanego przyklejonego do balsy jako wypełniacza, jest szybowiec FS-24 „Phoenix". Konstrukcja taka daje nadzwyczaj gładką powierzchnię, jednakże nieco kruchą i mało odporną na uszkodzenia zewnętrzne. Ogólną wadą konstrukcji przekładkowych jest trudność ich remontowania.

Jeszcze inny rodzaj konstrukcji skrzydła został pokazany na rysunku 3—47. Jest to tak zwane s k r z y d ł o w i e l o p o d ł u ż n i c o w e, w którym zamiast jednego dźwigara pod jego górną i dolną powierzchnią biegną wzdłuż liczne podłużnice. Suma przekrojów poprzecznych tych podłużnic odpowiada wymaganemu ze względów wytrzymałościowych przekrojowi pasów dźwigara, one bowiem przenoszą zginanie skrzydła. Dużą zaletą tego typu konstrukcji jest gęste podparcie pokrycia skrzydła i co za tym idzie — zapewnienie utrzymania właściwego kształtu profilu.

Najbardziej celowa, czysto skorupowa konstrukcja szybowca (tzn. nie mająca dźwigara, podłużnic, wręg itp.), jest trudna do realizacji ze względu na konieczność stosowania okuć umożliwiających demontaż szybowca. Okucia bowiem wprowadzają siły w poszczególne zespoły szybowca w jednym tylko punkcie.

Chcąc więc, aby pracowała cała skorupa danego zespołu, na przykład skrzydła, należy siły punktowe rozprowadzić odpowiednio w całym przekroju, co wymaga stosowania dodatkowych nakładek, dźwigarków szczątkowych, podłużnic itp. wzmocnień skorupy w celu uniknięcia groźnych koncentracji naprężeń. Z trudnościami tego typu mamy do czynienia również i w konstrukcjach przekładkowych oraz wielopodłużnicowych. Bardzo korzystne w takich przypadkach byłoby wklejanie okuć bezpośrednio w konstrukcję skorupy unikając kłopotliwych nitów i śrub.

Bez wątpienia klejenie metal-drewno, metal-metal oraz użycie tworzyw sztucznych na zasadnicze elementy nośne szybowca doczeka się szerszego zastosowania już w najbliższych latach, gdy odpowiednia technologia zagwarantuje nowym konstrukcjom zadowalającą wy-

trzymałość, zwłaszcza ze względu na zmęczenie pod wpływem obciążeń powtarzalnych występujących w czasie użytkowania szybowca.

Na zakończenie niniejszego rozdziału należy zaznaczyć, że zbudowanie nowoczesnego szybowca przy obecnych wymaganiach technicznych nie jest rzeczą łatwą. Szybowce, jako statki powietrzne nie mające silnika, zdane są na wykorzystywanie jedynie źródeł energii zdobywanych z atmosfery. Muszą w związku z tym być zbudowane bardzo „funkcjonalnie", tzn. ze specjalnym zwróceniem uwagi na lekkość konstrukcji przy wyeliminowaniu wszystkich zbędnych urządzeń oraz elementów, które wpłynęłyby na wzrost jego ciężaru. Z drugiej jednak strony, szybowiec musi być odpowiednio mocno zbudowany, aby wykluczyć możliwość katastrofy w przypadku wystąpienia obciążeń, których napotkanie w normalnym użytkowaniu jest możliwe. Ponadto i wymagania pilotów dotyczące wyposażenia szybowca są coraz większe, co z kolei pociąga za sobą nieunikniony wzrost ciężaru szybowca.

Konstrukcja szybowca musi więc być do pewnego stopnia kompromisem pomiędzy tymi dwoma przeciwstawnymi żądaniami i dlatego musi być bardzo starannie i wszechstronnie przeanalizowana.

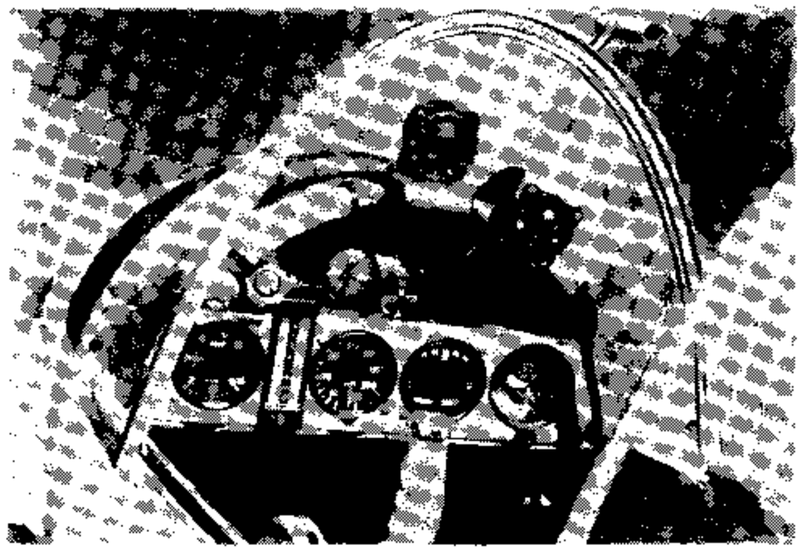
Istotnym zagadnieniem związanym z bezpieczeństwem załogi jest więc właściwe użytkowanie szybowca i ścisłe przestrzeganie wszelkich ograniczeń obowiązujących dany typ, a czasem nawet egzemplarz szybowca.

Inż. *Andrzej Abłamowicz*

Rozdział czwarty

Wyposażenie szybowców

W celu umożliwienia pilotowi szybowca kontroli prawidłowości pilotażu, wykorzystania pionowych prądów wznoszących i wreszcie zapewnienia bezpieczeństwa lotu potrzebna jest pomoc, którą stanowią przyrządy pokładowe. Ze względu jednak na szczupłość miejsca w kabinie szybowca, brak większych źródeł prądu elektrycznego oraz konieczność oszczędzania na ciężarze szybowca, jego wyposaże-



Rys. 4—1. Przyrządy pokładowe szybowca wyczynowego

nie w przyrządy pokładowe jest bardzo skromne i nie może się równać z wyposażeniem współczesnego samolotu.

Komplet przyrządów pokładowych szybowca stanowią najczęściej: prędkościomierz, wysokościomierz, wariometr, zakrętomierz i busola. Rzadziej do tego kompletu wchodzą — chyłomierz podłużny i sztuczny horyzont.

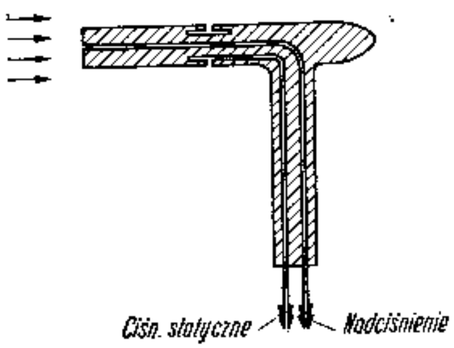
Pierwsze trzy spośród wymienionych przyrządów działają na zasadzie pomiaru ciśnienia. Aby taki pomiar był możliwy, trzeba mieć urządzenie, które pozwoli pobrać ciśnienie z zewnątrz szybowca. Tym urządzeniem jest rurka aerodynamiczna lub dysza, zwane dajnikami ciśnienia powietrza.

1. Dajniki ciśnienia powietrza

a. Rurka Pitota

Rurka Pitota, zwana również rurką spiętrzeniową, ma dwa obwody: ciśnienia całkowitego i ciśnienia statycznego.

Obwód ciśnienia całkowitego jest rurką otwartą w kierunku lotu. Powietrze wpadające podczas ruchu (lotu) do wnętrza rurki wytwarza w niej nadciśnienie. Drugi obwód rurki służy do pomiaru ciśnienia statycznego. Jest to rurka zamknięta w kierunku lotu posiadająca na obwodzie otworki, dzięki którym ciśnienie wewnątrz niej wyrównuje się z ciśnieniem atmosferycznym — statycznym z zewnątrz (patrz również rozdział 1, pkt 3 — *Równanie Bernoulliego — pomiar prędkości lotu*).



Rys. 4—2. Rurka aerodynamiczna Pitota, zwana również rurką spiętrzeniową (patrz rys. 1—3a)

Ze względów konstrukcyjnych obydwa obwody mieszczą się wewnątrz jednej rurki o dwóch końcówkach. Jedna z końcówek daje ciśnienie całkowite, druga ciśnienie statyczne. Różnica tych ciśnień jest ciśnieniem prędkości.

Na szybowcach wysokowyczynowych, ze względu na zmniejszenie oporów do minimum, a także ze względu na estetykę szybowca, rurkę Pitota chowa się w kadłub pozostawiając na zewnątrz jedynie wlot rurki. W takim przypadku ciśnienie statyczne może być pobierane z otworków w bokach kadłuba lub z wnętrza kadłuba, co jednak powoduje znacznie większe błędy wskazań przyrządów. Takie umieszczenie rurki Pitota sprawia, że jest ona znacznie bardziej czuła na wszelkiego rodzaju zakłócenia opływu szybowca (ślizgi), co z kolei odbija się ujemnie na jakości wskazań przyrządów.

Niestety zwyczaj chowania rurki Pitota w kadłub rozprzestrzenia się również na inne szybowce, nie tylko wysokowyczynowe. Wydaje się przy tym, że znikomy zysk na oporze szybowca w żadnym razie nie równoważy gwałtownego spadku jakości wskazań prędkościomierza nawet przy małych ślizgach.

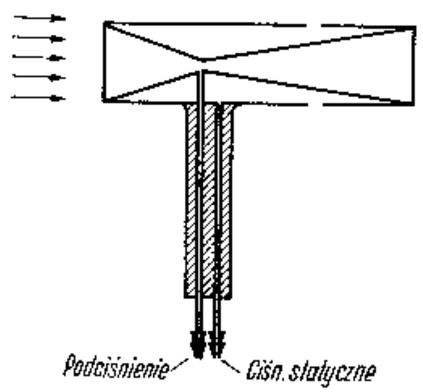
b. Dysza Venturi

Dysza ta, zwana również rurką Venturi, działa na zasadzie prawa Bernoulliego, które mówi — suma ciśnienia statycznego i ciśnienia prędkości w ciągłym strumieniu powietrza jest w każdym przekroju wielkością stałą (patrz również rozdział 1, pkt 3 — *Równanie Bernoulliego — pomiar prędkości lotu*).

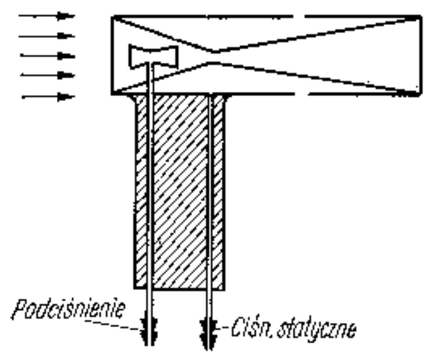
Dysza Venturi to otwarta z obu stron rurka, która ma między swymi końcami charakterystyczne przewężenie. Powietrze przepływające przez przewężenie rurki musi zwiększyć swą prędkość i dlatego w tym miejscu rośnie jego ciśnienie prędkości, ciśnienie statyczne zaś maleje, gdyż suma ich w myśl przytoczonego wyżej prawa musi być stała. Wskutek zmniejszenia ciśnienia statycznego powstaje podciśnienie w przewodzie podłączonym w miejscu największego zwężenia dyszy. Bezwzględna wielkość tego podciśnienia jest na ogół większa niż wielkość ciśnienia prędkości uzyskanego w tym samych warunkach z rurki Pitota. Z tego też powodu do pomiaru małych prędkości stosowano do niedawna częściej dyszę Venturi niż rurkę Pitota.

Wartość stosunku podciśnienia uzyskanego z dyszy Venturi do ciśnienia prędkości nazywa się współczynnikiem dyszy i jest oznaczana literą „k".

Aby otrzymać w tych samych warunkach jeszcze większą wartość podciśnienia (np. dla napędu pneumatycznego przyrządów giroskopowych), stosuje się tzw. podwójną dyszę Venturi. Wewnątrz dyszy



Rys. 4—3. Dysza Venturi (patrz również rys. 1—3b)



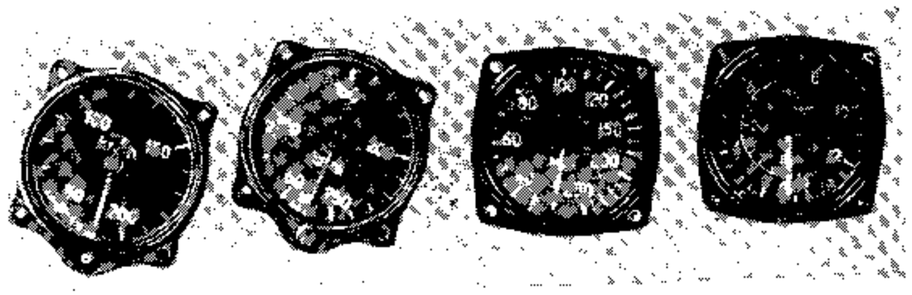
Rys. 4—4. Podwójna dysza Venturi stosowana do napędu pneumatycznych przyrządów giroskopowych

większych rozmiarów umieszcza się mniejszą dyszę, tak aby jej wylot znajdował się w przewężeniu dyszy dużej. Tym samym prędkość przepływu we wspomnianym przewężeniu jest większa od prędkości lotu i warunkuje taką samą wartość prędkości u wylotu (a także i u wlotu) małej dyszy, a jeszcze większą prędkość w jej przewężeniu. W przewodzie doprowadzonym do przewężenia uzyskujemy więc większe podciśnienie niż to, które uzyskalibyśmy z pojedynczej dyszy Venturi.

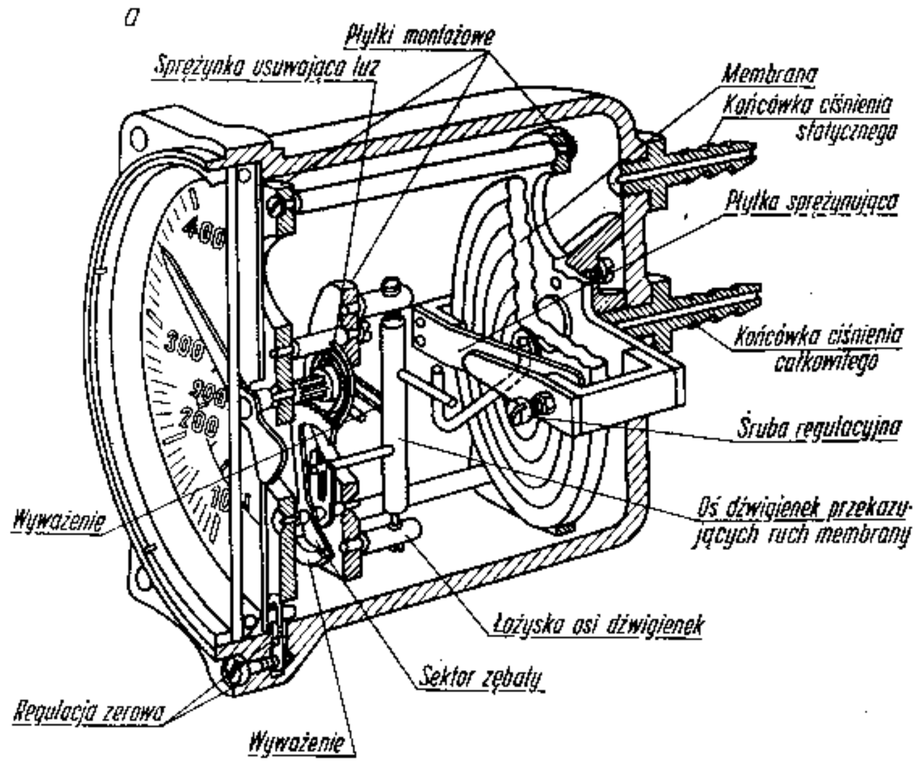
2. Prędkościomierze

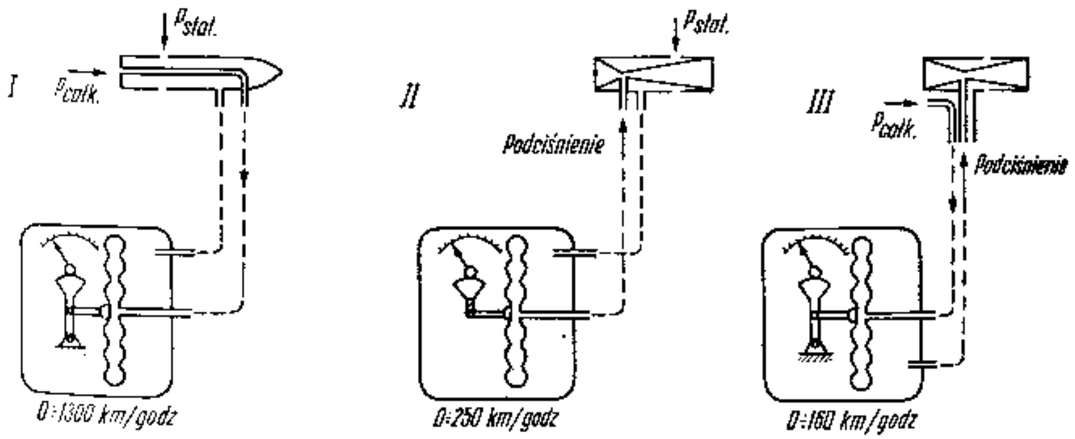
Jeżeli w czasie lotu z końcówki rurki aerodynamicznej Pitota doprowadzimy ciśnienie całkowite do wnętrza membrany, to wskutek różnicy pomiędzy wielkością ciśnienia całkowitego i statycznego, a więc pod wpływem ciśnienia prędkości, membrana odkształci się. Podobnie — podłączając do wnętrza membrany końcówkę podciśnienia z dyszy Venturi otrzymamy również odkształcenie membrany. Odkształcenie to będzie zawsze tym większe, im większa będzie różnica ciśnień, która z kolei wzrasta wraz z prędkością lotu. Tak więc, przenosząc odkształcenia membrany poprzez odpowiednią przekładnię na wskazówkę przyrządu, uzyskamy jej wychylenia proporcjonalne do prędkości lotu.

Na tej właśnie zasadzie budowane są prędkościomierze. Obecnie w szybownictwie stosuje się jedynie prędkościomierze podłączone do rurki Pitota, jednak jeszcze do niedawna w szerokim użyciu były przede wszystkim prędkościomierze podłączane do dyszy Venturi, a dla pomiaru małych prędkości (do 150 km/h) można było nawet spotkać prędkościomierze podłączane do obwodu nad- i podciśnienia (patrz rys. 4—6b). Przejście do stosowania prędkościomierzy opartych na pomiarze ciśnienia prędkości (rurka Pitota) pozwoliło na ujednolicenie wyposażenia i zrezygnowanie z różnych typów dysz o rozmaitych współczynnikach.



Rys. 4—5. Tarcze różnych rodzajów prędkościomierzy





Rys. 4—6. Przekrój puszki prędkościomierza (a) oraz schematy działania różnych typów prędkościomierzy (b) zależnie od zastosowanych dajników ciśnienia powietrza; I — rurka Pitota, II — dysza Venturi, III — dysza Venturi sprzężona z rurką Pitota

Dawniej przed podłączeniem prędkościomierza należało upewnić się o współczynniku dyszy, aby w wyniku zastosowania takiego a nie innego przyrządu otrzymać poprawne wskazania prędkości. W związku z tym przy końcówkach puszki przyrządu umieszczano odpowiednie napisy. Obecnie, mimo ujednolicenia stosowanych prędkościomierzy, należy nadal upewnić się co do oznakowania końcówki puszki prędkościomierza pamiętając, że pomylenie tych końcówek i podłączenie ciśnienia całkowitego do końcówki obwodu statycznego i odwrotnie spowoduje ruch wskazówki przyrządu w kierunku odwrotnym niż normalnie. Oczywiście takie wskazania prędkościomierza są zupełnie niemiarodajne, a sam przyrząd może zostać w ten sposób uszkodzony.

Obserwując wskazania prędkościomierza trzeba zdawać sobie sprawę z tego, że są one obciążone błędami. Pierwszym z nich jest błąd laboratoryjny, tj. błąd wynikający z niedoskonałości samego przyrządu. Drugim błędem jest błąd aerodynamiczny wynikający z umieszczenia rurki Pitota w opływie szybowca, a nie w niezakłóconej strudze powietrza. W przypadku zastosowania rurki schowanej w kadłubie szybowca powstają bardzo znaczne błędy wskazań nawet w wyniku niewielkiego ślizgu szybowca, o czym koniecznie trzeba pamiętać.

3. Wysokościomierze

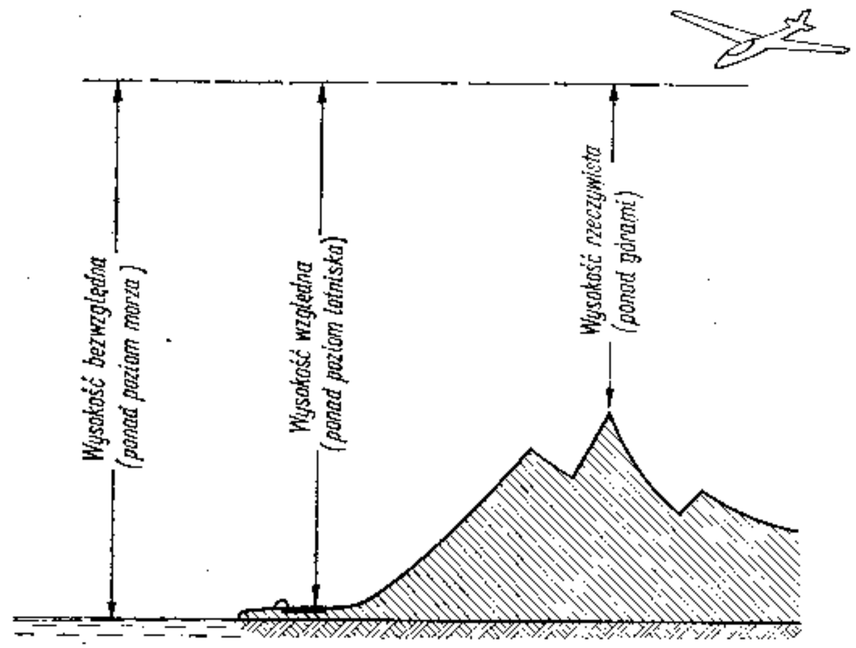
Wysokością, na której znajduje się szybowiec, nazywamy pionową odległość dzielącą go od pewnego umownego poziomu. Za poziom ten zwykliśmy najczęściej przyjmować albo tzw. średni poziom morza, lub poziom lotniska, z którego wystartowaliśmy, albo też poziom terenu, nad którym w danej chwili przelatujemy. W związku z tym wysokość określamy jako b e z w z g l ę d n ą, jeżeli poziomem odniesienia jest średni poziom morza, albo jako w z g l ę d n ą w stosunku do lotniska, albo wreszcie r z e c z y w i s t ą, tj. aktualną wysokość mierzoną w stosunku do terenu nad którym przelatujemy.

W szybownictwie stosuje się obecnie jedynie wysokościomierze barometryczne. Działają one na zasadzie zjawiska zmniejszania się ciśnienia atmosferycznego w miarę wznoszenia się. Ponieważ jednak rozkład ciśnień w atmosferze nie jest stały, a wskazania rozmaitych wysokościomierzy muszą być z wielu względów ze sobą porównywalne, ustalono pewien średni umowny rozkład ciśnień w atmosferze, według którego cechuje się te przyrządy. Atmosfera o takim rozkładzie ciśnienia nazwana została Atmosferą Wzorcową i oparta na następujących założeniach:

— ciśnienie na wysokości 0 m wynosi 760 mm słupa Hg,
— temperatura na wysokości 0 m wynosi plus 15°C,

— spadek temperatury ze wzrostem wysokości wynosi 0,0065°C na 1 m,
— począwszy od wysokości 11 000 m temperatura jest stała i wynosi minus 56,5°C,
— powietrze w całym zakresie wysokości jest suche.

Przejdźmy jednak do omówienia sposobu mierzenia wysokości metodą barometryczną. W puszce wysokościomierza znajduje się membrana, której ruch przenoszony zostaje za pomocą przekładni na

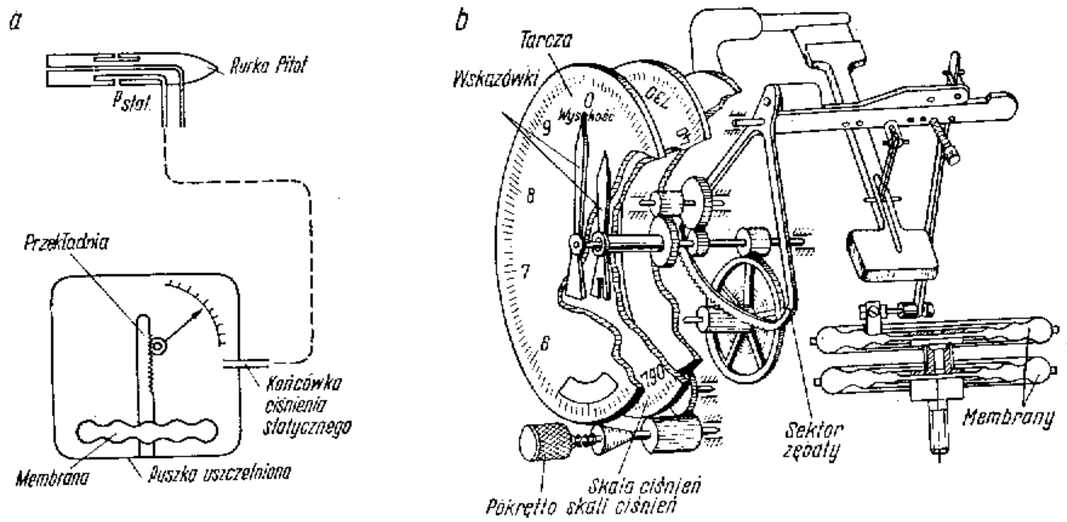


Rys. 4—7. Wysokość lotu szybowca — bezwzględna, względna i rzeczywista

wskazówkę (lub wskazówki) przyrządu. Membrana jest to szczelna metalowa puszka wykonana z dwóch krążków blachy falistej. Z wnętrza membrany wypompowuje się powietrze, wskutek czego ścianki jej są ugięte pod wpływem ciśnienia atmosferycznego.

W miarę wznoszenia się, wobec zmniejszenia się ciśnienia w powietrzu otaczającym membranę, rozpręża się ona, a jej ruch napędza poprzez przekładnię wskazówkę (lub wskazówki) przyrządu. Dla wygody w użytkowaniu wysokościomierze są tak skonstruowane, że ich wskazania można przed startem sprowadzić do „0" skali. Dokonuje się tego pokręcając moletowaną nakrętkę umieszczoną poniżej tarczy wysokościomierza, co powoduje obrót mechanizmu przyrządu wewnątrz puszki i daje w wyniku sprowadzenie wskazań przyrządu do „0". Tym samym w czasie lotu wysokościomierz wskazuje wysokość względną ponad poziom lotniska.

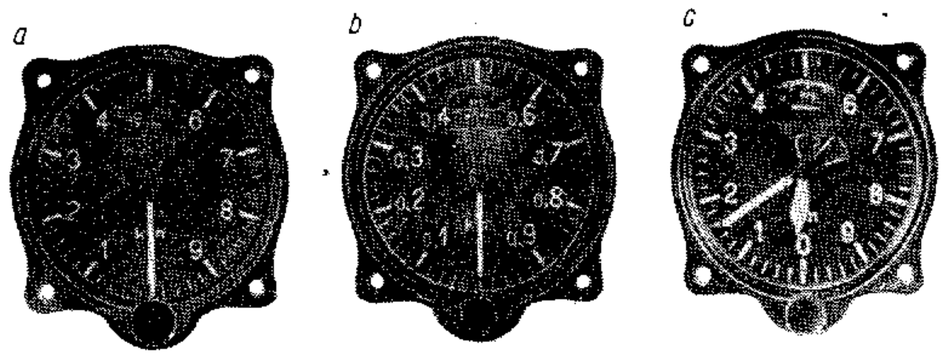
W „okienku" tarczy przyrządu znajduje się ponadto skala wartości



Rys. 4—8. Schemat ideowy (a) i schemat kinematyczny (b) wysokościomierza barometrycznego

ciśnienia, zwana skalą barometryczną. Jeżeli według niej ustawimy ciśnienie na 760 mm Hg (1013 mb), to wskazania wysokościomierza dotyczyć będą wysokości bezwzględnej. Jeżeli natomiast ustawiliśmy wysokościomierz na poziom lotniska (0 m), to wartość, która pokaże się w „okienku" jest ciśnieniem barometrycznym panującym na poziomie lotniska.

O ustawieniu wysokościomierza na właściwe ciśnienie należy zwłaszcza pamiętać wykonując loty w terenie górskim. Przed startem powinno się zanotować aktualne ciśnienie barometryczne na poziomie lotniska, aby móc je później ustawić na wysokościomierzu przed lądowaniem. W czasie lotu bowiem wysokościomierz powinien być ustawiony na ciśnienie 760 mm Hg. Daje to wówczas możliwości



Rys. 4—9. Tarcze różnych rodzajów wysokościomierzy

a — wysokościomierz zwykły jednowskazówkowy, b — wysokościomierz dokładny jednowskazówkowy, c — wysokościomierz dokładny dwuwskazówkowy

porównywania wskazań z wysokością gór oznaczoną na mapie, przy czym błąd nie będzie większy niż to wynika z wahania ciśnienia atmosferycznego (Wyż-Niż).

Ustawiając wysokościomierz przed zamierzonym lądowaniem na ciśnienie barometryczne lotniska zanotowane przed startem lub gdy nie zmieniliśmy jego ustawienia w czasie lotu, powinniśmy pamiętać, że błąd wskazań wysokościomierza zależeć będzie jedynie od zmiany ciśnienia atmosferycznego na lotnisku zaistniałej w czasie wykonywania lotu. Jeżeli natomiast szybowiec wyposażony jest w radio, za pomocą którego jesteśmy w stanie otrzymać informacje o aktualnym ciśnieniu na poziomie lotniska, to po ustawieniu wysokościomierza na podane ciśnienie możemy liczyć na jego dokładne wskazania wysokości względem lotniska.

Spotyka się bardzo wiele typów wysokościomierzy barometrycznych. Ogólnie można je podzielić na zwykłe i dokładne. Wysokościomierze zwykłe bywają przeważnie typu jednowskazówkowego i o zakresie wskazań do 6000 m. Do wysokościomierzy dokładnych natomiast zalicza się takie, w których pełen obieg skali przez wskazówkę odpowiada wzniesieniu się o 1000 m (w niektórych konstrukcjach o 500 m), a liczbę pełnych obiegów dużej wskazówki — a więc liczbę tysięcy metrów — podaje mała wskazówka albo ruchoma tarczka z naniesionymi cyframi ukazującymi się w „okienku" tarczy przyrządu.

Korzystając z wysokościomierzy barometrycznych trzeba zawsze pamiętać o tym, że pokazują one tylko ciśnienie zamienione na jednostki wysokości według umownej Atmosfery Wzorcowej. Wobec tego wysokość wskazywana przez przyrząd prawie nigdy nie jest dokładna, a może nią być dopiero po uwzględnieniu odpowiednich poprawek.

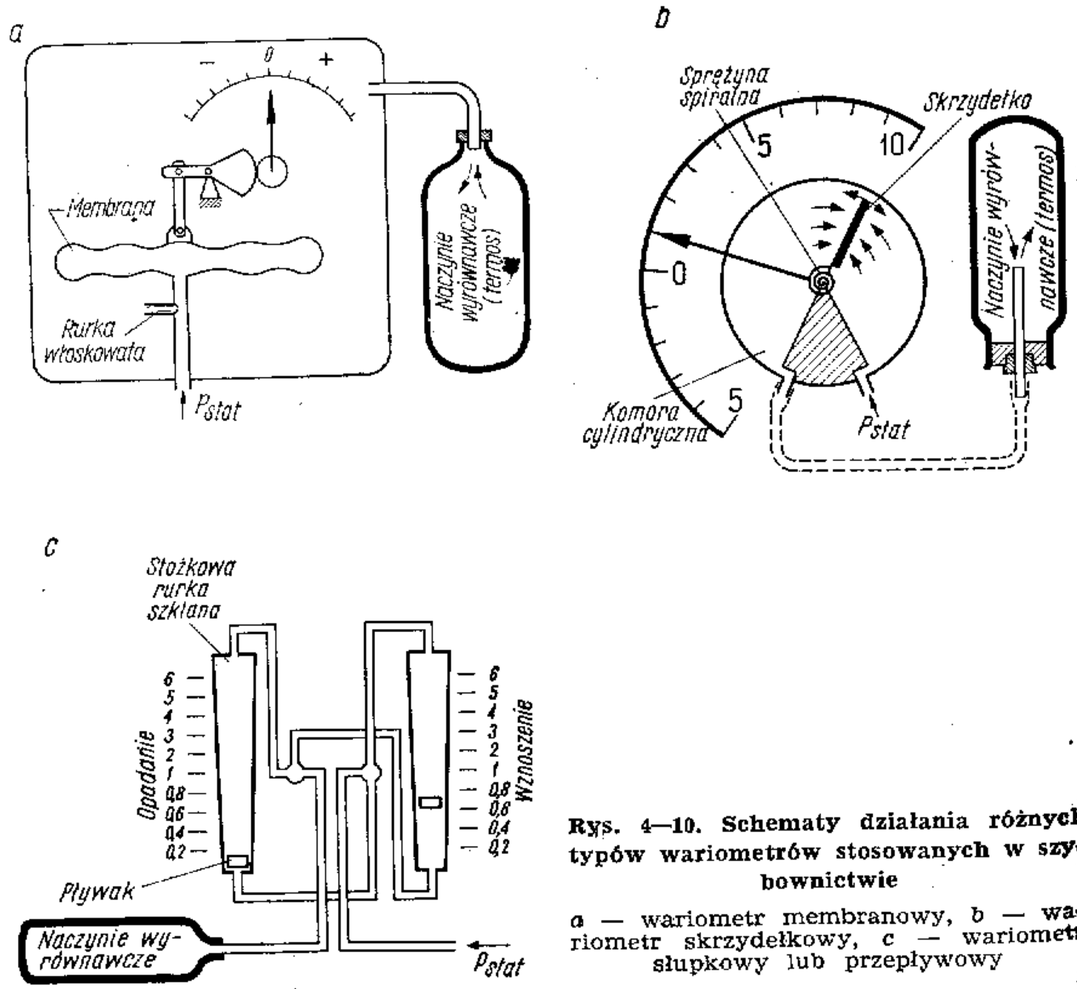
4. Wariometry

Wariometr jest to przyrząd wskazujący prędkość pionową szybowca, a więc prędkość jego wznoszenia się lub opadania. Dla pilota szybowcowego jest on jednym z najważniejszych przyrządów, umożliwia mu bowiem wykonywanie lotu termicznego.

Zasada działania wariometru jest następująca. W miarę wznoszenia się szybowca ciśnienie otaczającego powietrza maleje i w związku z tym powstaje różnica ciśnień pomiędzy wnętrzem przyrządu a powietrzem zewnętrznym. Wartość ciśnień wyrównywana jest poprzez rurkę włoskowatą, tak że wkrótce po zaprzestaniu pionowego ruchu (czyli wznoszenia lub opadania szybowca) ciśnienia wyrównują się i wskazówka przyrządu powraca do „0" skali.

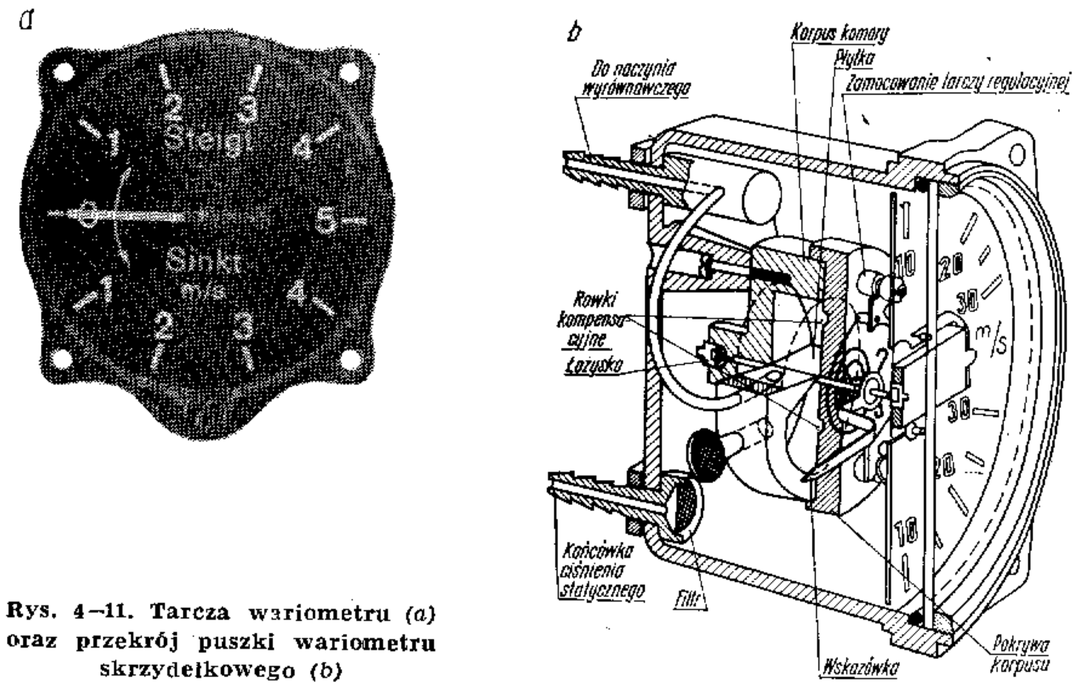
Jeżeli prędkość pionowa szybowca waha się, tzn. ciśnienie zewnętrzne ciągle maleje lub wzrasta, to wskutek bardzo małego przekroju rurki włoskowatej powietrze jak gdyby „nie nadąża" przetłoczyć się przez nią, a daje tylko stałą wartość różnicy ciśnień — a więc stałe wskazanie wznoszenia lub opadania. Przy wznoszeniu się ciśnienie zewnętrzne oczywiście maleje, a zatem przez rurkę włoskowatą powietrze przechodzi z wnętrza przyrządu na zewnątrz. Przy opadaniu dzieje się odwrotnie, gdyż ciśnienie zewnętrzne wzrasta i ma zawsze większą wartość od ciśnienia wewnątrz przyrządu.

Mniej więcej tak właśnie zbudowany jest w a r i o m e t r m e m b r a n o w y (rys. 4—10a). Wewnątrz puszki przyrządu znajduje się membrana, połączona z ciśnieniem statycznym, mająca z wnętrza ujście dla powietrza w postaci rurki włoskowatej. Ponieważ objętość puszki przyrządu jest nieznaczna i w związku z tym wyrównanie ciśnień następowałoby zbyt szybko, jej wnętrze łączy się z naczyniem



Rys. 4—10. Schematy działania różnych typów wariometrów stosowanych w szybownictwie

a — wariometr membranowy, *b* — wariometr skrzydełkowy, *c* — wariometr słupkowy lub przepływowy



Rys. 4—11. Tarcza wariometru (*a*) oraz przekrój puszki wariometru skrzydełkowego (*b*)

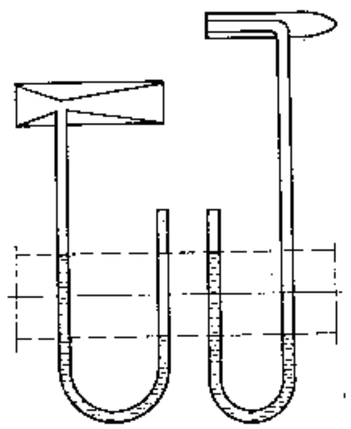
wyrównawczym, tzw. termosem. Naczynie to wykonuje się tak, aby zawarte w nim powietrze nie ulegało zmianom temperatury, gdyż wpływałoby to na jego ciśnienie, a tym samym spowodowałoby wadliwe wskazania przyrządu. Stąd właśnie powstała nazwa termos na określenie naczynia wyrównawczego.

Zasada działania w a r i o m e t r u s k r z y d e ł k o w e g o jest analogiczna do wyżej opisanej, z tym że zasadnicze różnice polegają na odmiennej konstrukcji (rys. 4—10b). W płaskiej komorze o kształcie cylindra znajduje się skrzydełko, a na osi jego osadzona jest wskazówka przyrządu. Całość tego układu w położeniu zerowym utrzymuje spiralna sprężynka. Skrzydełko dzieli komorę na dwie części. Do jednej części doprowadzone jest ciśnienie statyczne, druga natomiast część łączy się z naczyniem wyrównawczym. Różnica ciśnień powoduje wychylenia skrzydełka, a rolę rurki włoskowatej odgrywają nieszczelności pomiędzy krawędziami skrzydełka i ścianami komory. Właśnie przez te nieszczelności następuje wyrównywanie się ciśnień. Ten typ wariometru odznacza się dużą czułością i dokładnością wskazań.

Trzeci typ wariometru to w a r i o m e t r s ł u p k o w y, zwany również p r z e p ł y w o w y m (rys. 4—10c). W miarę wzrostu prędkości przepływu (spowodowanej różnicą ciśnień) w kalibrowanych rurkach unosi się tłoczek tym wyżej, im większa jest prędkość przepływu. Przy wznoszeniu się szybowca unosi się tłoczek (zielony) w jednej z rurek, kiedy drugi pozostaje w najniższym położeniu, przy opada-

niu natomiast unosi się drugi tłoczek (czerwony), podczas gdy pierwszy opada do najniższego położenia. Zaletę tego typu wariometru stanowi bardzo duża czułość w zakresie małych prędkości pionowych (rzędu 1 m/sek), niestety przy bardzo małej równocześnie dokładności wskazań w zakresie dużych prędkości pionowych.

Ze względu na ogromne znaczenie posiadania dobrego wariometru dla szybowcowych lotów wyczynowych prace nad ulepszeniem jego konstrukcji trwają ciągle. Dwiema podstawowymi wadami opisanych wyżej typów wariometrów są: opóźnienie we wskazaniach oraz reagowanie na zmiany wysokości lotu szybowca wynikające nie tylko z napotkania obszarów wznoszeń lub duszeń, lecz także na zmiany wysokości wynikające z techniki pilotażu (np. skierowanie w górę rozpędzonego uprzednio szybowca).



Rys. 4—12. Dajniki podciśnienia i nadciśnienia wariometru energii całkowitej (WEC)

Zagadnienia te rozwiązano, jak dotychczas, w dwojaki sposób. Pierwszym z nich było zbudowanie wariometru elektrycznego. Zasada działania tego wariometru polega na tym, że przepływ powietrza do lub z naczynia wyrównawczego powoduje zmianę oporu przewodnika elektrycznego, co z kolei powoduje niemal natychmiastowe wskazania przypadku. Warto przy tym zaznaczyć, że pobór prądu przez taki przyrząd jest znikomo mały.

Drugim usprawnieniem wariometru było uniezależnienie jego wskazań od techniki pilotażu szybowca. W ten sposób powstał wariometr energii całkowitej *(WEC)*. Wariometr ten działa w oparciu o zasadę, że suma energii potencjalnej i kinetycznej szybowca jest stała. Jeśli więc szybowiec zyskuje lub traci wysokość (zmiana energii potencjalnej) jedynie kosztem zmiany prędkości lotu (zmiana energii kinetycznej), to wariometr wskazuje ustaloną wartość prędkości pionowej, gdyż całkowita energia szybowca pozostaje wielkością stałą.

Oto przykład: szybowiec z ustalonej prędkości lotu rozpoczyna pętlę. Ponieważ wzrost wysokości w pierwszej połowie pętli następuje kosztem zmniejszenia się prędkości, a rozpędzanie się szybowca w drugiej połowie pętli następuje kosztem wysokości, więc wariometr energii całkowitej będzie wskazywał tę wartość opadania, jaka wynika z prędkości lotu. Jeżeli natomiast szybowiec znajdzie się w obszarze wznoszenia, to utrzymując stałą prędkość lotu — a tym samym stałą energię kinetyczną — szybowiec zacznie zwiększać wysokość lotu — a więc i energię potencjalną — odbierając ją od strumienia wznoszącego się powietrza. Wtedy suma energii (energia całkowita szybowca) rośnie i wariometr wskazuje wznoszenie.

Osiągnięcie takich rezultatów stało się możliwe przy użyciu nie zmienionych wariometrów (opisanych typów), jednak po podłączeniu ich zamiast do obwodu ciśnienia statycznego — do obwodu podciśnienia dyszy Venturi o współczynniku $k - 1$, tj. takiej dyszy, z której otrzymane podciśnienie równe jest co do bezwzględnej wartości nadciśnieniu otrzymanemu z rurki spiętrzeniowej Pitota.

Dla zrozumienia zasady pracy wariometru energii całkowitej prześledźmy jego działanie.

Jeżeli szybowiec leci poziomo z ustaloną prędkością (np. na holu za samolotem), to do przyrządu zostaje doprowadzone ciśnienie:

$$p = p_{st} + \left(-\frac{1}{2}\rho v^2\right),$$

gdzie:

p_{st} = ciśnienie statyczne,
ϱ = gęstość powietrza,
v = prędkość lotu.

Gdy ciśnienia pomiędzy końcówką dyszy i wnętrzem termosu wyrównają się — wariometr wskaże „0".

A co się stanie, gdy szybowiec opada przy ustalonej prędkości lotu? — Ponieważ prędkość lotu jest stała, więc wyrażenie $-\frac{1}{2}\rho v^2$ jest także wielkością stałą. Zmienia się natomiast p_{st}, więc wariometr proporcjonalnie do zmiany tego ciśnienia wskaże opadanie.

A jeśli kosztem prędkości spowodujemy dynamiczne wznoszenie się szybowca? — Wtedy zmniejszy się prędkość lotu i w związku z tym wyrażenie $-\frac{1}{2}\varrho v^2$ zwiększy się o wartość $\frac{1}{2}\varrho\Delta v^2$, ale i ciśnienie statyczne p_{st} ulegnie zmianie zmniejszając się w miarę wzrostu wysokości. Ponieważ suma tych ciśnień musi być wielkością stałą, więc zmniejszenie ciśnienia statycznego nastąpi właśnie o wielkość $\frac{1}{2}\varrho\Delta v^2$. W rezultacie wariometr nie zmieni swych wskazań, gdyż to co dała mu zmiana wysokości pochłonęła zmiana prędkości lotu.

Tak więc wskazania wariometru energii całkowitej określają nam wielkość prędkości pionowej szybowca w locie ustalonym i informują nas o wejściu w obszar wznoszenia lub opadania podając prawidłowe prędkości pionowe z tym związane.

Równocześnie wskazania wariometru energii całkowitej pozostają obojętne na chwilowe zmiany prędkości pionowej szybowca wynikające ze zmiany prędkości lotu, a więc ze zmian związanych z techniką pilotażu.

5. Zakrętomierze

Zakrętomierz jest przyrządem pilotażowym działającym na zasadzie giroskopu. Wskazuje on prędkość kątową dookoła osi pionowej szybowca (a więc i samego przyrządu). Prędkość ta tylko w przypadku całkowicie płaskiego zakrętu (bez przechylenia) równa się prędkości kątowej zakręcania, a w miarę wzrostu przechylenia szybowca jest coraz mniejsza od prędkości kątowej zakręcania, aż wreszcie przy przechyleniu równym 90° wynosi zero. Trzeba o tym pamiętać, gdyż przy zakrętach o dużym przechyleniu, począwszy od pewnego kąta przechyłu w miarę jego dalszego wzrostu, wychylenie wskazówki zakrętomierza będzie malało (nie dotyczy to pewnej grupy zakrętomierzy z korektorem, które wskazują poprawnie przy przechyleniach do 70° — 80°). Dlatego też posługując się zakrętomierzem należy wykonywać tylko takie zakręty, aby nie uzyskiwać pełnych wychyleń wskazówki.

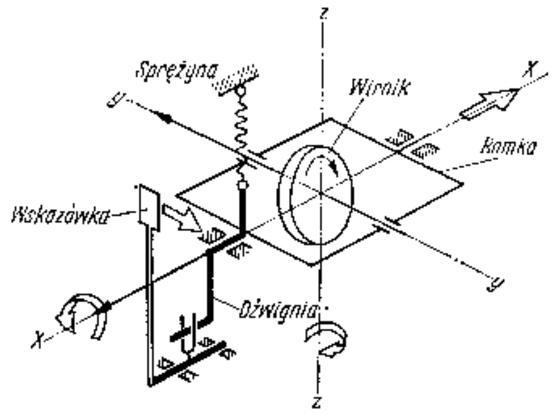
W budowie zakrętomierza oparto się o zasadę tzw. giroskopu precesyjnego, tj. giroskopu o dwóch stopniach swobody. Przytoczone określenia wymagają ich wyjaśnienia niezbędnego dla zrozumienia działania zakrętomierza.

G i r o s k o p e m nazywamy sztywne ciało szybko obracające się dookoła swojej osi. Jeśli to ciało może się obracać jedynie wokół swojej osi, wtedy mówimy, że ma ono jeden stopień swobody. Jeżeli jednak tę oś umocujemy w łożyskach ramki, która także ma możność wykonywania obrotów, wówczas giroskop zyska nowy stopień swobody i stanie się g i r o s k o p e m o d w ó c h s t o p n i a c h s w o b o d y.

Wiemy już co to jest giroskop o dwóch stopniach swobody, ale użyte na wstępie określenie g i r o s k o p p r e c e s y j n y wymaga jeszcze wyjaśnienia. Precesją nazywamy właściwość giroskopu polegającą na tym, że pod wpływem momentu (siły działającej na pewnym ramieniu) przyłożonego do osi wirującego giroskopu oś ta odchyla się w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny działającego na nią momentu.

Przejdźmy teraz do opisu budowy zakrętomierza. — Wirnik (giroskop) zakrętomierza zawieszony jest obrotowo w ramce, którą z kolei zamocowuje się również obrotowo w puszce przyrządu. Oś obrotu wirnika jest najczęściej równoległa do osi poprzecznej szybowca, zaś oś obrotu ramki do osi podłużnej szybowca. Jak z tego wynika, wirnik zakrętomierza ma dwa stopnie swobody, a zależnie od typu przyrządu może być napędzany pneumatycznie lub elektrycznie. Przechylenia ramki przenoszą się na wskazówkę przyrządu, przy czym całość mechanizmu jest wyważona, a wychylenia odpowiednio tłumione. Ramka jest ponadto utrzymywana w położeniu środkowym przez sprężynę.

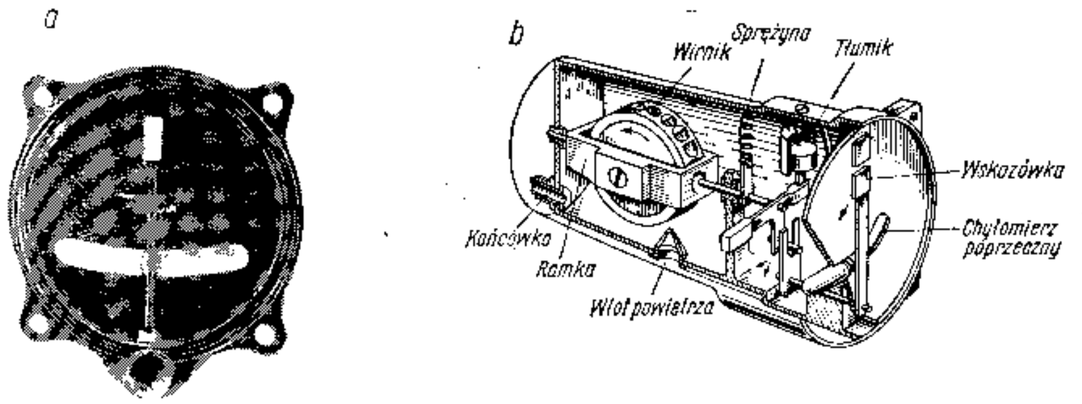
Jeżeli przy obracającym się wirniku szybowiec wraz z przyrządem będzie wykonywał obrót dookoła osi pionowej, to dzięki precesji wirnik giroskopu wraz z ramką będzie przechylał się dopóty, dopóki moment precesji nie zostanie zrównoważony przez sprężynę. Wychylenie ramki spowoduje z kolei wychylenie wskazówki. Jeśli prędkość kątowa zakręcania będzie stała, to wychylenie wskazówki zakrętomierza będzie również stałe.



Rys. 4—13. Schemat działania zakrętomierza

Wielkość wychylenia wskazówki zależy od prędkości obracania się wirnika i od prędkości kątowej zakręcania (ściślej — od prędkości kątowej obrotu dookoła osi pionowej szybowca). W związku z tym, jeżeli posługujemy się zakrętomierzami o napędzie pneumatycznym, musimy zwrócić uwagę na obroty wirnika, które zależą od prędkości lotu. Przy większych prędkościach lotu wskutek większego podciśnienia z dyszy Venturi wirnik będzie się prędzej obracał, a zatem wskazania zakrętomierza będą czulsze. Przy małych prędkościach lotu wskazania zakrętomierza napędzanego pneumatycznie będą powolne. Regulację czułości wskazań możemy w pewnym zakresie zmieniać za pomocą wkrętu regulacyjnego tłumika.

Zaletą zakrętomierzy elektrycznych, w porównaniu z zakrętomierzami pneumatycznymi, jest stała wielkość obrotów wirnika niezależna od prędkości oraz uniezależnienie wskazań przyrządu od oblo-



Rys. 4—14. Tarcza zakrętomierza z umieszczoną na niej kulką chyłomierza poprzecznego (*a*) oraz przekrój puszki zakrętomierza pneumatycznego (*b*)

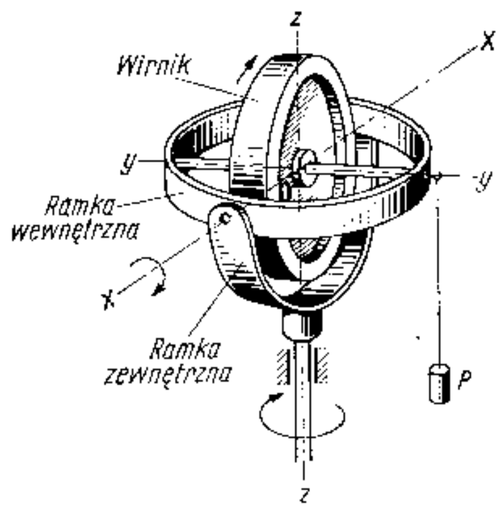
dzenia. Zakrętomierze pneumatyczne bowiem przestają bardzo szybko działać wskutek oblodzenia dyszy Venturi.

Zakrętomierze zabudowywane na szybowce powinny wychylać się „na styk" wskazówki i punktu środkowego przy prędkości kątowej 4°/sek (tzn. 360° w ciągu 90 sek).

6. Sztuczne horyzonty

Sztuczny horyzont podobnie jak zakrętomierz jest przyrządem pilotażowym działającym na zasadzie giroskopu, a jego wskazania informują pilota o pochyleniach i przechyleniach szybowca. W odróżnieniu jednak od giroskopu zakrętomierza tu wykorzystany został giroskop o trzech stopniach swobody. Oznacza to, że wirnik może obracać się wokół swojej osi (pierwszy stopień), oś ta zamocowana jest w ruchomej ramce wewnętrznej (drugi stopień), a ta z kolei jest umieszczona w ramce zewnętrznej, której oś obrotowo tkwi w puszce przyrządu (trzeci stopień swobody).

Taki giroskop o trzech stopniach swobody (rys. 4—15) nazywany jest giroskopem położeniowym, gdyż jego cechą charakterystyczną jest zachowywanie płaszczyzny obrotu wirnika niezależnie od ruchów puszki przyrządu, a więc tym samym niezależnie od obrotów ramki zewnętrznej i wewnętrznej.

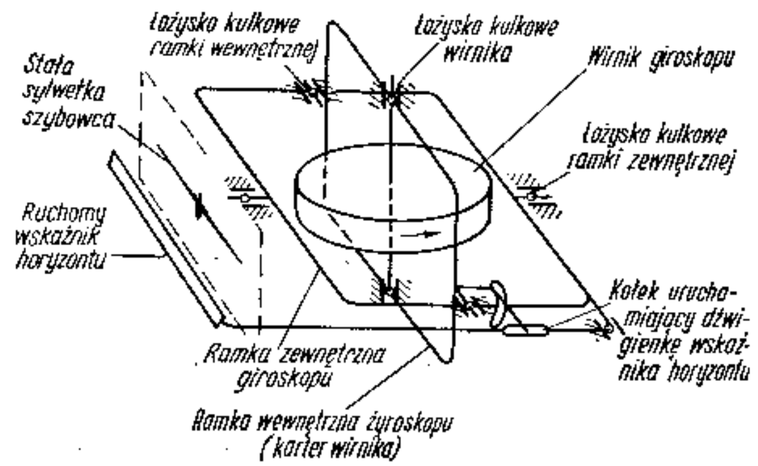


Rys. 4—15. Model giroskopu o trzech stopniach swobody

Dla ścisłości trzeba dodać, że giroskop stosowany w sztucznych horyzontach nie jest giroskopem idealnym i podlega również działaniu sił zewnętrznych pochodzących od niewyważenia, sił przyciągania lub odpychania (np. o charakterze elektrycznym) i sił tarcia w łożyskach ramek. Wszystkie te siły wpływają na wystąpowanie precesji mimo trzech stopni swobody wirnika. Precesji tej zapobiegają specjalne urządzenia antyprecesyjne (otworki kompensujące i wahadłowe zasłonki, których opis wykracza poza ramy niniejszego schematycznego omówienia.

Występuje tu wyraźnie zasadnicza różnica pomiędzy zasadą budowy sztucznego horyzontu, w której konstruktor „walczy" z precesją i zasadą budowy zakrętomierza, gdzie właśnie precesja została wykorzystana dla otrzymania wskazań przyrządu.

Jak widzimy, głównym elementem budowy sztucznego horyzontu jest wirnik zawieszony w sposób zapewniający mu trzy stopnie swobody. Dzięki temu oś wirnika zachowuje stałe położenie w przestrzeni niezależnie od obrotów szybowca dookoła wszystkich trzech



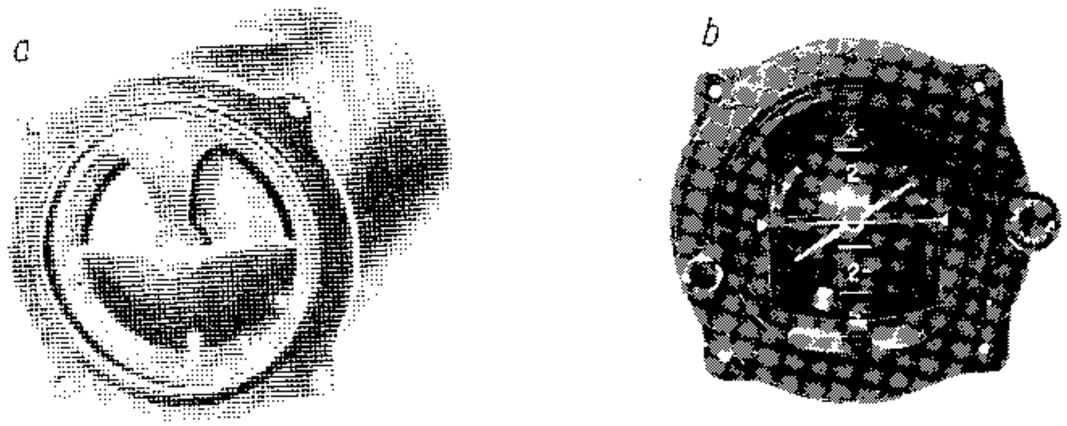
Rys. 4—16. Schemat budowy i działania sztucznego horyzontu

jego osi. Razem z szybowcem wychyla się obudowa sztucznego horyzontu połączona na stałe z sylwetką szybowca na tarczy przyrządu (rys. 4—16).

Zmiana położenia obudowy przyrządu względem osi wirnika powoduje za pomocą odpowiednich przekładni przemieszczanie się linii horyzontu względem nieruchomej małej sylwetki szybowca na tarczy przyrządu. Położenie ruchomej linii horyzontu w stosunku do sylwetki szybowca na tarczy przyrządu przedstawia pilotowi obraz położenia całego szybowca względem rzeczywistego horyzontu, wskazując przechylenia szybowca na boki lub pochylenia „nad" czy też „pod" horyzont. Istnieją też typy sztucznych horyzontów, w których sylwetka szybowca jest ruchoma, a linia horyzontu związana na stałe z obudową (rys. 4—17b), nie wpływa to jednak w żadnym stopniu na wzajemne położenie względem siebie sylwetki szybowca i linii horyzontu w obydwu typach przyrządów.

Podobnie jak zakrętomierze, tak i sztuczne horyzonty buduje się z napędem pneumatycznym lub elektrycznym. Do napędu pneumatycznych sztucznych horyzontów używa się prawie wyłącznie podwójnych dysz Venturi.

Jeżeli szybowiec jest wyposażony w sztuczny horyzont, przed lotem na wykonywanie akrobacji należy go zablokować (jeśli ma on takie urządzenia) lub odłączyć od źródła napędu, a najlepiej



Rys. 4—17. Różne rodzaje tarcz sztucznego horyzontu

a — tarcza z ruchomą linią horyzontu i nieruchomą sylwetką szybowca, *b* — tarcza z ruchomą sylwetką szybowca i nieruchomą linią horyzontu (ten typ połączony jest razem z zakrętomierzem i chyłomierzem poprzecznym — wskazuje prawidłowy zakręt w lewo o przechyleniu 20°)

w ogóle wybudować — chyba że jest to typ przyrządu specjalnie dostosowany do akrobacji. W przeciwnym przypadku nadmierne przechylenia i pochylenia spowodują zaburzenia wskazań sztucznego horyzontu, co z kolei może prowadzić do uszkodzenia przyrządu, a zawsze wpływa niekorzystnie na stan jego łożysk.

Podobnie zresztą tylko niektóre sztuczne horyzonty znoszą dobrze długotrwałe krążenie, inne mimo wszystko „wybijają się" po pewnym czasie dając mylne wskazania.

Sztuczne horyzonty, mimo że ogromnie ułatwiają pilotaż bez widoczności, są niestety bardzo rzadko stosowane w szybownictwie. Składa się na to szereg przyczyn, z których najważniejsze są: pneumatyczne — przy lotach w chmurach na ogół nie działają ze względu na łatwe i szybkie oblodzenie dyszy Venturi, elektryczne natomiast — pobierają dość duży prąd, a więc zachodzi konieczność zabudowywania do szybowca bardzo ciężkich akumulatorów, niezależnie od dużego ciężaru samego przyrządu, a przede wszystkim przetwornicy. Przetwornica jest tu niezbędna ze względu na to, że giroskopy sztucznych horyzontów napędzane są silniczkami elektrycznymi synchronicznymi bezkolektorowymi na prąd zmienny. Tłumaczy się to tym, że silniczki kolektorowe na prąd stały mają znacznie większe opory, co bardzo niekorzystnie zwiększa precesję giroskopu.

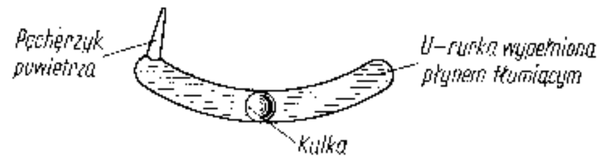
Szersze rozpowszechnienie sztucznych horyzontów w szybownictwie łączy się więc ściśle ze zmniejszeniem ciężaru i rozmiarów źródła zasilania oraz przetwornicy. Ostatnim osiągnięciem w tej dziedzinie są sztuczne horyzonty mieszczące w sobie lekką przetwornicę tran-

zystorową (wykonaną przy zastosowaniu półprzewodników). Należy się również spodziewać, że dalszy rozwój szybowcowego wyposażenia elektrycznego nie ominie także miniaturyzacji akumulatorów.

7. Chyłomierze

a. Chyłomierz poprzeczny

Chyłomierz poprzeczny jest przyrządem działającym na zasadzie przyciągania ziemskiego. W rurce szklanej, wygiętej w kształcie litery „U" i wypełnionej płynem, znajduje się metalowa lub szklana kulka. Płyn w rurce ma za zadanie tłumić wahania kulki. Ponieważ nie można tak dobrać szkła, z którego wykonana jest rurka, aby miało ono ten sam współczynnik rozszerzalności cieplnej co i płyn ją wypełniający, zatem w jednym końcu rurki znajduje się maleńki zbiorniczek na pęcherzyk powietrzny występujący w wyniku niecałkowitego wypełniania rurki płynem.



Rys. 4—18. Schemat budowy chyłomierza poprzecznego

Kulka znajdująca się w rurce pod wpływem przyciągania ziemskiego zajmuje zawsze najniższe położenie, jeżeli przyrząd pozostaje w spoczynku. Podczas lotu szybowca kulka zajmuje środkowe (najniższe) położenie tylko w locie prostym bez przechyleń.

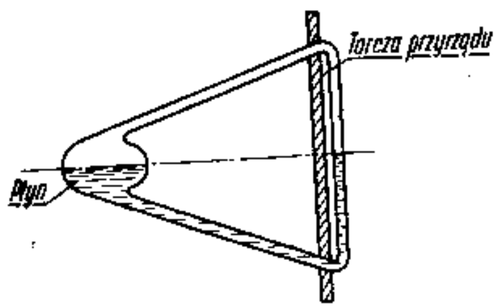
Jeżeli wystąpi przechylenie szybowca (dotyczy to jedynie lotu prostego), kulka wychyli się w tę samą stronę. W zakrętach natomiast kulka znajduje się zarówno pod wpływem siły ciężkości, jak i siły odśrodkowej, zatem ustawi się na wypadkowej tych dwóch sił.

Jak wynika z powyższego chyłomierz poprzeczny wskazuje przechylenia jedynie w locie prostolinijnym, w zakrętach zaś ogranicza się do roli wskaźnika prawidłowości zakrętu. W związku z tym chyłomierze poprzeczne są zawsze zabudowywane na tarczy zakrętomierza, a czasem i sztucznego horyzontu (patrz rys. 4—14a i 4—17b). Wtedy widząc ze wskazań zakrętomierza, że szybowiec wykonuje lot prosty, pilot może sądzić o przechyleniach, w zakrętach zaś — o prawidłowości ich wykonania. W prawidłowym zakręcie kulka chyłomierza poprzecznego zawsze ustawia się w środku.

b. Chyłomierz podłużny

Chyłomierz podłużny, dość rzadko używany w szybownictwie, jest jednak bardzo cennym przyrządem.

W trójkątnej rurce szklanej, w jednym jej wierzchołku, znajduje się zbiorniczek (rys. 4—19). Połowę zbiorniczka i połowę rurki wypełnia kolorowy płyn, najczęściej czerwony, o niskiej temperaturze zamarzania. Bok trójkąta utworzonego z rurki, znajdujący się naprzeciw zbiorniczka, ustawiony jest pionowo. W miarę pochylania przyrządu do przodu poziom płynu w rurce opada, odwrotnie natomiast przy przeciwnym pochyleniu rurki (podnosi się). Przewężenia u dołu i na górze pionowej rurki mają na celu tłumienie wahań płynu. Obudowa chyłomierza podłużnego (tarcza) ma skalę wycechowaną w stopniach.



Rys. 4—19. Schemat budowy chyłomierza podłużnego

Po zabudowaniu przyrządu na szybowiec należy tak ustawić jego tarczę, aby poziom płynu wskazywał „0" na skali przy położeniu szybowca odpowiadającemu jego przeciętnemu lotowi ślizgowemu.

Z opisu działania chyłomierza podłużnego wynika, że zastępuje on częściowo wskazania sztucznego horyzontu informując pilota o podłużnym pochyleniu szybowca. Ponadto w przypadku uszkodzenia prędkościomierza pozwala (tak samo zresztą jak sztuczny horyzont) wnioskować z pochylenia szybowca o prędkości lotu. Ma to bardzo duże znaczenie podczas lotów chmurowych, kiedy prędkościomierze często przestają działać wskutek oblodzenia rurki aerodynamicznej.

8. Kominoszuk

Marzenie szybowników o posiadaniu urządzenia, które mogłoby wskazywać — gdzie należy szukać wznoszeń, zostało nareszcie zrealizowane. I choć nie jest to jeszcze urządzenie powszechnie w szybownictwie używane, to jednak już jest.

Kominoszuk-termowizor działa w oparciu o stwierdzenie, że różnice temperatury w poziomym przekroju komina termicznego jest nierównomierny. Temperatury w centrum prądu wznoszącego są wyższe, zaś na jego skrajach są oczywiście niższe. Różnice mogą

dochodzić nawet do kilku stopni. Sprawę komplikuje oczywiście fakt, że chodzi o wykrycie prądu wznoszącego z pewnej odległości, gdzie różnice temperatur są już bardzo małe. Ale z pomocą przyszły tu znowu półprzewodniki, a wśród nich termistory.

Termistor jest to taki półprzewodnik, który przy bardzo małej bezwładności cieplnej reaguje na zmiany temperatury poprzez zmianę swej oporności.

Wyobraźmy sobie, że na końcu skrzydeł, na przodzie oraz na tyle kadłuba szybowca umieściliśmy czujniki (oparte na termistorach). Jeżeli prąd wznoszący znajdzie się np. przed szybowcem z jego lewej strony, to czujnik lewy i czujnik przedni wykażą wyższe temperatury niż czujnik prawy i tylny. W oparciu o te informacje na wskaźniku otrzymamy takie wychylenia wskazówek, z których będzie można wywnioskować, że prąd wznoszący znajduje się przed szybowcem z jego lewej strony. Oczywiście nie wystarczą same czujniki i wskaźnik. W skład kominoszuka (termowizora) opracowanego w Instytucie Lotnictwa wchodzą ponadto: generator lampowy, wzmacniacze i demodulatory.

Mogłoby się wydawać dziwne, że przyrząd oparty na tak prostej zasadzie tak długo nie zostawał skonstruowany. Stały temu jednak na przeszkodzie trudności techniczne związane z pomiarem tak małych różnic temperatury — wynoszących tysięczne części stopnia, oraz trudności związane z rozwiązaniem takich zagadnień, jak wpływ różnych prędkości końców skrzydeł szybowca w krążeniu, zagadnienie zmiany temperatury wywołane cieniem (np. chmury lub kadłuba) i wiele innych.

Eksperymentalny przyrząd opracowany w Instytucie Lotnictwa miał oczywiście — jak każdy niemal prototyp — szereg niedoskonałości. Do najważniejszych należały nieciągłe wskazania oraz nadmierna czułość i ruchliwość wskazówek podlegających wielu ubocznym wpływom.

Praktyczne wykorzystanie wskazań było więc utrudnione, jednak fakt uzyskania wskazań określających położenie prądu wznoszącego należy uznać za duże osiągnięcie.

Nie jest sprawą przesądzoną czy właśnie ta zasada zyska prawo obywatelstwa jako podstawa do budowy kominoszuków, ze względu na trudności konstrukcyjne budowanych w oparciu o nią przyrządów.

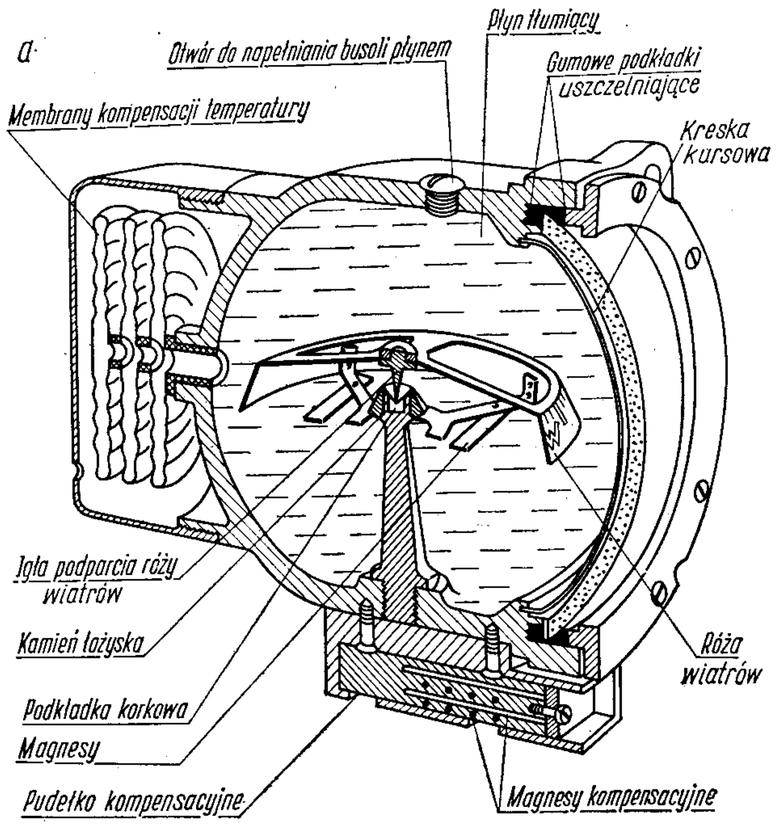
Już dzisiaj na przykład wiadomo, że istnieje również inna — kto wie czy nie bardziej przydatna — zasada budowy w oparciu o pomiar natężenia pola elektrostatycznego.

W każdym razie pierwsze lody w budowie kominoszuków zostały przełamane i choć nie mamy jeszcze powszechnych oraz sprawnie działających przyrządów tego typu, to jednak należy wierzyć, że w niedalekiej przyszłości wszystkie szybowce wyczynowe zostaną wyposażone w kominoszuki.

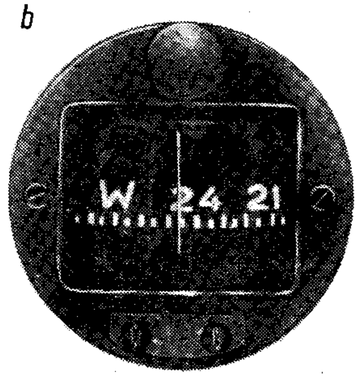
9. Busole

Busola jest przyrządem, który umożliwia pilotowi utrzymanie stałego kierunku lotu, czyli jak zwykle mówimy kursu. Właśnie dzięki busoli można prowadzić nawigację.

Najważniejszą częścią składową busoli jest igła magnetyczna z przymocowaną do niej podziałką kątową. Podziałka ta naniesiona jest na pobocznicę płaskiego walca, co ułatwia pilotowi obserwację wskazań busoli. Ten szczegół konstrukcyjny jest charakterystyczny



b



Rys. 4—20. Busola lotnicza, tzw. busola pilota

a — budowa busoli, *b* — widok zewnętrzny busoli

przede wszystkim dla tzw. busoli pilota, która jest stosowana w szybownictwie.

Igłę magnetyczną umocowuje się obrotowo w łożysku. W celu odciążenia łożyska do podziałki przymocowuje się pływaki. Południowy biegun igły magnetycznej jest dodatkowo obciążony nieco dla zapobieżenia przechylaniu się jej pod wpływem składowej pionowej magnetyzmu ziemskiego (zjawiska tzw. inklinacji). Całość mieści się w korpusie busoli, który wypełnia mieszanka spirytusowa lub czysta nafta, a to w celu tłumienia wahań igły magnetycznej. Ponadto w korpusie, w tylnej jego części, znajduje się membrana spełniająca rolę kompensatora rozszerzalności płynu. Korpus ma od strony pilota „okienko" ze szklaną szybą do obserwacji podziałki (tzw. róży wiatrów). Za tym okienkiem, a przed podziałką, przebiega pionowo kreska kursowa.

Bardzo istotną częścią składową busoli jest ponadto zespół magnesów do kompensacji. Magnesy te umieszcza się w ten sposób, że można zmieniać ich położenie usuwając błędy wskazań busoli spowodowane własnym polem magnetycznym szybowca.

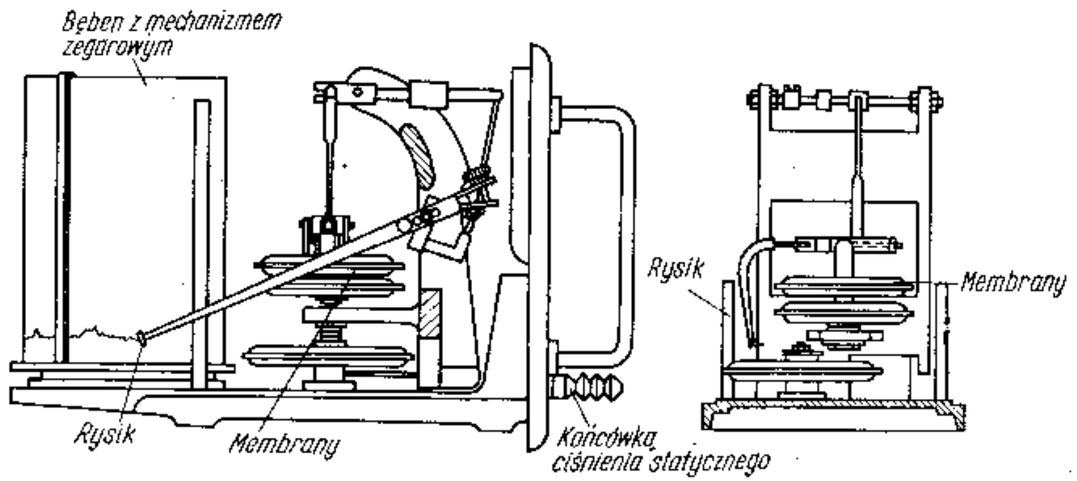
Na wskazaniach busoli polegać możemy jedynie w ustalonym locie prostym. Podczas zakrętu bowiem, wskutek oddziaływania na igłę magnetyczną busoli składowej pionowej linii sił ziemskiego pola magnetycznego oraz tarcia cieczy w przyrządzie, wskazania jej nie są prawidłowe. Dopiero po ustaleniu lotu prostego i po wytłumieniu wahań igły busola powraca do miarodajnych wskazań.

10. Barografy

Barograf służy do rejestrowania wysokości lotu, a ściślej mówiąc — do rejestrowania ciśnienia, które panuje na danej wysokości w funkcji czasu. W związku z tym barograf składa się z dwóch zasadniczych mechanizmów: mechanizmu manometru membranowego (wysokościomierza) i mechanizmu zegarowego nadającego jednostajny ruch obrotowy walcowi, na którym wskazania są rejestrowane.

Mechanizm zbliżony budową do mechanizmu wysokościomierza przenosi odkształcenia membran na ruch rysika (lub piórka) dotykającego swym ostrzem pobocznicy walca. Opuszczenie ostrza rysika na walec powoduje jednocześnie włączenie mechanizmu zegarowego, a zatem uruchomienie całego przyrządu. Na walec napięty jest okopcony pasek papieru, po którym posuwa się rysik pozostawiając za sobą ślad w postaci jasnej linii. Istnieją oczywiście i inne sposoby zapisu. Mogą to być: zapis tuszem na czystej powierzchni papieru lub na przykład nakłuwanie ostrzem (kolcem) woskowanego papieru.

Całość mechanizmów barografu jest umocowana na podstawie wsuwanej do szczelnej skrzynki ochronnej, która wyposażona jest w końcówkę pozwalającą na podłączenie barografu do obwodu ciśnienia statycznego. Ścianka skrzynki, w miejscu gdzie rysik styka się z bębnem, wyposażona jest prawie zawsze w okienko zamknięte szybą, co umożliwia również obserwację zapisu przyrządu podczas jego pracy.



Rys. 4—21. Budowa barografu

Ponieważ barografy należą do przyrządów kontrolnych, np. w przypadku wyczynu szybowcowego, dlatego skrzynka i podstawa (wraz z mechanizmem) mają końcówki („oczka") umożliwiające zaplombowanie, tak aby dostęp do przyrządu był niemożliwy bez naruszenia plomby. Po zakończeniu pomiaru i otwarciu barografu wyjmuje się z niego barogramkę (papier z zapisem przyrządu), opisuje ją i utrwala (np. w szelaku rozpuszczonym w spirytusie), aby podczas odczytywania nie zamazać wykresu.

Barografy typu PERAVIA są spośród stosowanych u nas najwygodniejsze w obsłudze. Składają się na to następujące cechy tego przyrządu:

— zapis odbywa się na woskowanym papierze (z nadrukowaną podziałką wysokości) przez nakłucia kolca, którego wznios jest proporcjonalny do wysokości lotu;
— nakłucia papieru następują w równych odstępach czasu, co pozwala na bardzo dokładne jego określenie;
— kolec porusza się w pionie, a nie po łuku, wskutek czego nie ma trudności z rozprostowywaniem wykresu.

Na koniec trzeba jeszcze wspomnieć o jednej — wspólnej wszystkim barografom i przyrządom samopiszącym — właściwości, która niejednemu pilotowi dała się mocno we znaki. A mianowicie

przyrząd nie nakręcony i nie uruchomiony nie działa i nie notuje nawet najlepszego lotu rekordowego, którego jest jedynym obiektywnym — zresztą koniecznym — świadkiem. Dlatego też barograf powinien być zawsze dobrze wyskalowany, dobrze konserwowany, właściwie zamocowany w szybowcu oraz nakręcony i uruchomiony przed lotem, aby nie zawiódł wtedy, gdy jego wskazania i zapis są niezbędne dla rejestracji przebiegu lotu.

11. Aparaty tlenowe

Powietrze atmosferyczne zawiera w sobie składnik niezbędny dla życia ludzkiego — tlen. Aby tlen mógł się dostać do organizmu człowieka, musi on po wdechu zetknąć się w pęcherzykach płucnych z krwią. Tam łączy się ze składnikiem krwi — hemoglobiną, dając w wyniku oxyhemoglobinę. Krew w drodze po organizmie człowieka oddaje tlen tkankom, po czym cały cykl się powtarza.

Brak tlenu w organizmie ludzkim powoduje zmiany, które początkowo są niedostrzegalne, jednak po pewnym czasie odbijają się ujemnie na sprawnym funkcjonowaniu organizmu, prowadzą do omdlenia, a nawet mogą spowodować zgon.

Aby tlen mógł przenikać do krwi, musi mieć dostatecznie duże ciśnienie cząsteczkowe. Ciśnienie cząsteczkowe jest to iloczyn procentowej zawartości tlenu w powietrzu i ciśnienia barometrycznego podzielony przez 100. Jak więc z tego wynika, ze wzrostem wysokości maleje ciśnienie cząsteczkowe tlenu, bowiem zmniejsza się ciśnienie barometryczne przy stałym w przybliżeniu składzie powietrza.

W celu poprawienia warunków pracy człowieka w lotach na dużych wysokościach podaje mu się dodatkowo do oddychania tlen. W ten sposób, zwiększając ilość tlenu w jednostce objętości powietrza, zwiększa się jego ciśnienie cząsteczkowe, które przy oddychaniu czystym tlenem równa się ciśnieniu panującemu na danej wysokości. To wprawdzie nie rozwiązuje całkowicie zagadnienia ochrony załogi przed objawami głodu tlenowego, jednak w znacznej mierze polepsza warunki pracy człowieka na dużych wysokościach i podnosi osiągalny dla ludzi „pułap" do wysokości około 10 000 m, a nawet nieco wyżej.

Ze względu na masowy charakter, jaki przybierają w ostatnich latach loty wysokościowe na szybowcach, do stałego wyposażenia szybowców wyczynowych wprowadza się aparaty tlenowe. Istniejące przy tym obecnie typy aparatów tlenowych można podzielić na dwie zasadnicze grupy: aparaty z ciągłym przepływem tlenu i aparaty o przerywanym przepływie tlenu.

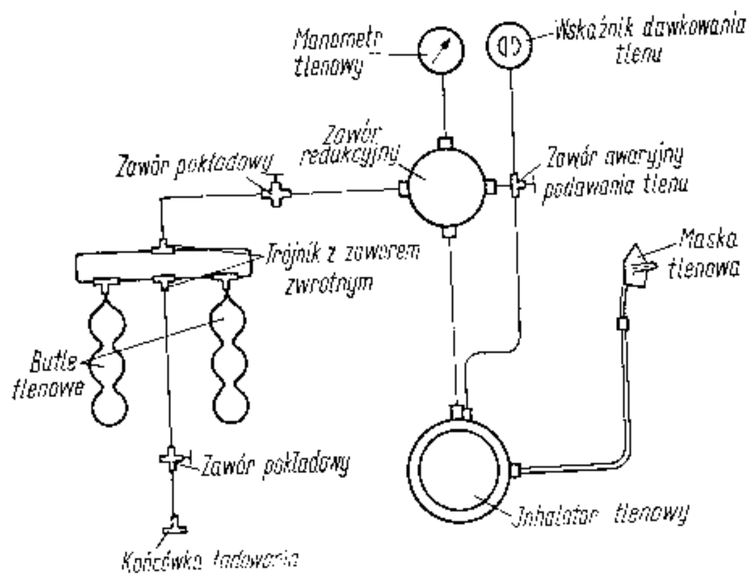
Aparaty należące do pierwszej grupy podają tlen bez przerwy niezależnie od tego, czy pilot w danej chwili wykonuje wdech, czy też wydech. Aparaty zaliczające się do grupy drugiej, tzw. płucne lub oszczędnościowe, podają tlen jedynie podczas wdechu. Podciśnienie podczas wykonywania wdechu powoduje otwarcie odpowiedniego zaworu, dzięki czemu tlen przedostaje się do maski inhalatora.

W dalszym ciągu aparaty tlenowe podzielić można ze względu na sposób regulacji podawania tlenu. Istnieją aparaty z ręczną regulacją podawania tlenu i automatyczną, przy czym tej ostatniej dokonuje zespół membran, który w miarę zmniejszającego się ciśnienia (z wysokością lotu) oddziałuje na samoczynny zawór regulując jego przepustowość.

Można ponadto dokonać podziału aparatów tlenowych na aparaty o obwodzie oddechowym otwartym i zamkniętym. W pierwszym z wymienionych typów tlen dostaje się z butli przewodami do inhalatora, a następnie — również przewodami — do maski, skąd jest wdychany przez korzystającego z aparatu. Reszta niezużytego tlenu wraz z wydychanym przez człowieka powietrzem uchodzi bezużytecznie. W aparatach o obiegu zamkniętym tlen nie wykorzystany podczas oddechu zostaje oczyszczony przez filtry umieszczone w obwodzie oddechowym inhalatora, po czym wdycha się go powtórnie.

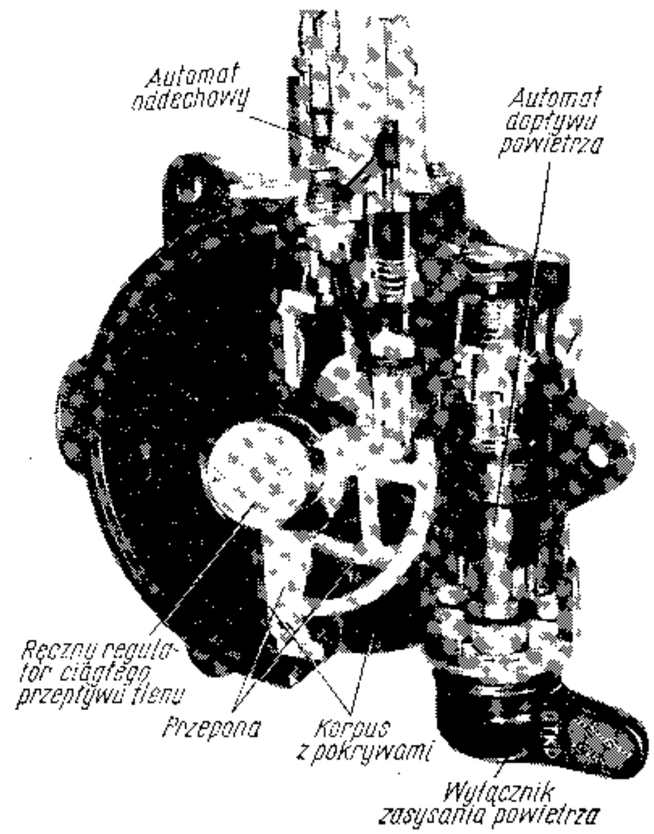
Aparaty o otwartym obwodzie oddechowym są prostsze w konstrukcji i tym samym tańsze w produkcji, natomiast aparaty o zamkniętym obwodzie oddechowym są znacznie oszczędniejsze pod względem zużycia tlenu.

Wreszcie ostatniego podziału aparatów tlenowych można dokonać



Rys. 4—22. Schemat montażowy aparatury tlenowej KP-14

według sposobu przechowywania tlenu. Najczęściej zapas tlenu przechowuje się w butlach jako gaz sprężony pod wysokim ciśnieniem (do 150 kG/cm^2). Istnieją również rozwiązania konstrukcyjne, które pozwalają na przechowywanie tlenu ciekłego, a nawet w postaci stałej. Te dwa ostatnie rozwiązania nie są jednak spotykane w szybownictwie.



Rys. 4—23. Przekrój inhalatora tlenowego KP-14

Aby lepiej zrozumieć zasadę działania i budowę aparatu tlenowego, rozpatrzmy ją na przykładzie aparatury typu KP-14. Na całość tej aparatury tlenowej składają się: inhalator tlenowy, zawór redukcyjny, maska tlenowa, przewód gumowy, manometr tlenowy, wskaźnik dawkowania tlenu, butle tlenowe oraz armatura pokładowa.

a. Inhalator tlenowy

W skład inhalatora tlenowego wchodzą następujące podzespoły: automat oddechowy, automat dopływu powietrza, wyłącznik zasysania powietrza i ręczny regulator ciągłego przepływu tlenu.

Automat oddechowy zapewnia podawanie tlenu podczas wdechu. Gaz rozrzedzony w korpusie inhalatora podczas początku wdechu powoduje otwarcie zaworu, przez który przepływa tlen. Równocześnie z tlenem poprzez automat dopływu powietrza dostaje się do inhalatora powietrze atmosferyczne tworząc mieszankę przeznaczoną do oddychania. W czasie wydechu, wskutek wzrostu ciśnienia w korpusie inhalatora, zawór dopływu tlenu zostaje zamknięty.

Automat dopływu powietrza, dzięki zespołowi membran rozszerzających się z wysokością, zmniejsza stopniowo dopływ powietrza atmosferycznego będącego wraz z tlenem składnikiem mieszanki oddechowej. Począwszy od wysokości około 8000 metrów dopływ powietrza zostaje całkowicie odcięty, a do oddychania podawany jest już tylko czysty tlen.

Wyłącznik zasysania powietrza, znajdujący się także na korpusie inhalatora, pozwala wcześniej niż na wysokości 8000 metrów przejść na oddychanie czystym tlenem przez ręczne zamknięcie dopływu powietrza. Z urządzenia tego należy korzystać w przypadku stwierdzenia zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego trującymi gazami, co zdarza się czasami w czasie lotów na samolotach.

W razie złego samopoczucia pilot może użyć jeszcze jedno z urządzeń wchodzących w skład inhalatora, tj. ręczny regulator ciągłego przepływu tlenu. Urządzenie to jest znacznie skuteczniejsze niż wyłącznik zasysania powietrza, ponieważ przez naciśnięcie na jego przycisk (przycisk znajduje się na bocznej pokrywie inhalatora) powoduje się stałe podawanie czystego tlenu — niezależnie od tego, czy w danej chwili pilot wykonuje wdech, czy też wydech.

b. Zawór redukcyjny

Zawór redukcyjny służy do obniżenia ciśnienia tlenu znajdującego się w butlach z 150 kG/cm² do wartości 10 kG/cm² (dalsze obniżenie ciśnienia następuje w automacie oddechowym). Reduktor wyposażony jest dodatkowo w zawór awaryjny, którego otwarcie powoduje podawanie tlenu z ominięciem automatu oddechowego. Należy z niego korzystać w razie złego samopoczucia pilota lub w przypadku stwierdzenia wadliwego funkcjonowania automatu oddechowego.

c. Maska tlenowa

Maska tlenowa jest częścią składową aparatury tlenowej służącej dla doprowadzenia tlenu do nosa i ust pilota, przy równoczesnym odizolowaniu ich od otaczającej atmosfery. W masce znajdują się

zawory: wdechowy i wydechowy. Przez pierwszy z nich do maski dostaje się tlen podczas wdechu, przez drugi natomiast uchodzą gazy wydechu do otaczającej atmosfery.

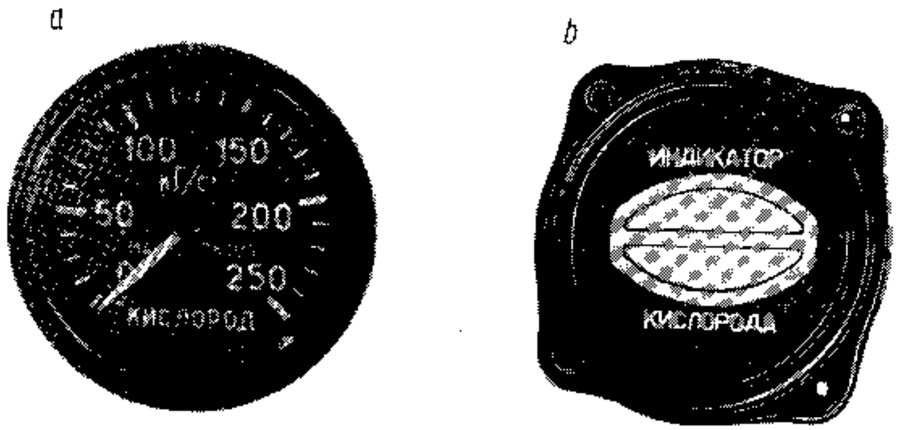
Maska tlenowa, będąc indywidualnym wyposażeniem lotnika, jest produkowana w rozmaitych rozmiarach. Znajdują się na niej taśmy gumowe i zaczepy ułatwiające jej szczelne dopasowanie do twarzy oraz hełmofonu. Maska jest wyposażona również w przewód z gumy falistej, zakończony zamkiem podłączonym do przewodu gumowego aparatury tlenowej. W miejscu połączenia tych przewodów znajduje się ponadto zaczep do umocowania na wysokości piersi pilota, co nie obciąża maski ciężarem przewodów, a lotnikowi ułatwia ruchy głową.

d. Przewód gumowy

Przewód ten łączy inhalator tlenowy z przewodem maski tlenowej. Celem przeciwdziałania załamaniom i zgnieceniom przewodu, w jego wnętrze wmontowana jest sprężyna z drutu stalowego.

e. Manometr tlenowy

Jak w większości manometrów, głównym jego elementem pomiarowym jest rurka Bourdona, która zmienia swój kształt zależnie od mierzonego ciśnienia. Manometr ten służy do pomiaru ciśnienia tlenu dopływającego z butli tlenowych do zaworu redukcyjnego. W oparciu o wskazania tego manometru lotnik ocenia pozostający w jego dyspozycji zapas tlenu.



Rys. 4—24. Tarcze przyrządów kontrolnych aparatury tlenowej
a — manometr tlenowy, *b* — wskaźnik dawkowania tlenu

f. Wskaźnik dawkowania tlenu

Jest to przyrząd kontrolny, według którego wskazań lotnik wnioskuje o prawidłowym działaniu inhalatora. Na tarczy przyrządu znajdują się ruchome segmenty pokryte masą świecącą. Segmenty te rozchylają się w czasie wdechu i powracają do poprzedniego położenia w czasie wydechu. W przypadku ciągłego przepływu tlenu segmenty wskaźnika pozostają rozchylone.

Elementem pomiarowym tego wskaźnika jest membrana reagująca na zmiany ciśnienia w dopływie tlenu wywołane wdechem i wydechem.

g. Butle tlenowe

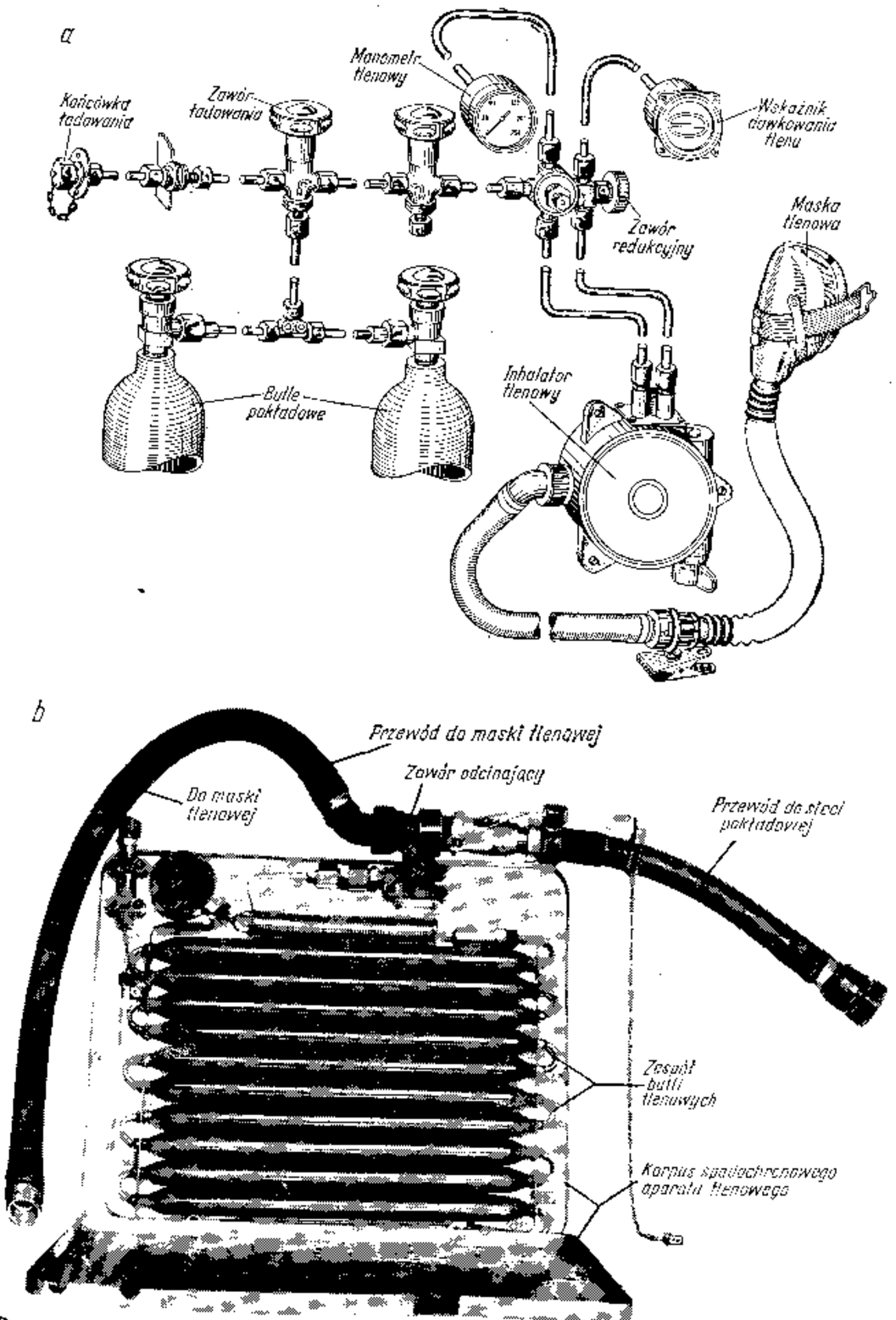
Butle zawierające sprężony tlen są wykonane najczęściej ze stali. Kształt ich jest albo zbliżony do normalnej butelki, albo też jest kulisty. Spotyka się także butle tlenowe stanowiące jak gdyby połączenie trzech kul ze sobą.

Pojemność najczęściej stosowanych butli wynosi od 1 do 3 litrów. Jeżeli na przykład przyjąć, że ciśnienie tlenu w butli wynosi 150 kG/cm², to po zredukowaniu ciśnienia do 1 kG/cm² można otrzymać z jednego litra pojemności butli około 150 litrów tlenu (przy temperaturze około 0°C). Oczywiście planując dłuższy lot wysokościowy zabiera się i podłącza ze sobą kilku butli naraz, co w znacznym stopniu zwiększa zapas tlenu.

Butle przeznaczone do przechowywania sprężonego tlenu przyjęto malować na kolor niebieski z dwoma poprzecznymi białymi pasami. Butle takie, jak naczynia ciśnieniowe, podlegają specjalnej kontroli okresowej nadzoru kotłów i powinny być oznaczone stemplami tej kontroli z podaniem wartości ciśnienia, do którego wolno je napełniać.

h. Armatura pokładowa

W skład armatury pokładowej instalacji tlenowej wchodzą takie elementy jak: przewody montażowe, zawory butli, trójniki oraz końcówka ładowania. Opis tych elementów nie zostaje zamieszczony, ponieważ nie jest istotny przy zrozumieniu zasady działania aparatury tlenowej.



Rys. 4—25. Schemat montażowy szybowcowej (pokładowej) aparatury tlenowej (*a*) oraz widok spadochronowego aparatu tlenowego (*b*)

i. Spadochronowa aparatura tlenowa

Opisana aparatura tlenowa jest aparaturą pokładową, z której pilot może korzystać tak długo, jak długo znajduje się w kabinie szybowca. Aparatura ta staje się bezużyteczna w razie konieczności opuszczenia szybowca, np. przez wykonanie skoku ze spadochronem. W celu zapewnienia korzystania z tlenu w czasie skoku zastosowano spadochronowe aparaty tlenowe. Są to aparaty o małym zapasie tlenu (około 0,7 l), który podawany jest w sposób ciągły aż do całkowitego wyczerpania zapasu.

Całość spadochronowego aparatu tlenowego jest niewielka, ma kształt płaskiego pudełka i mieści się łatwo w pokrowcu spadochronu. W czasie lotu spadochronowa aparatura tlenowa jest poza obiegiem aparatury pokładowej. Dopiero przy skoku, przez wyciągnięcie zawleczki (przymocowanej do konstrukcji szybowca), aparat spadochronowy rozpoczyna swoją pracę.

j. Uwagi eksploatacyjne

A teraz kilka uwag natury eksploatacyjnej na temat całości instalacji tlenowej szybowca.

Specjalną uwagę należy przede wszystkim zwracać na szczelność wszystkich połączeń, przy czym szczelność sprawdza się w następujący sposób. — Otworzyć zawór butli, a następnie, gdy instalacja wypełni się tlenem, zawór ten z powrotem zamknąć. Po zamknięciu zaworu manometr tlenowy w przeciągu ustalonego warunkami technicznymi czasu nie powinien wykazać nadmiernego spadku ciśnienia. Jeżeli spadek ciśnienia jest większy, należy znaleźć nieszczelność i usunąć ją. Wykryć nieszczelność można bardzo łatwo smarując miejsca podejrzane cienką warstwą wody z mydłem. Pęcherzyki wydzielającego się tlenu zasygnalizują od razu wszelkie niedokładności montażu aparatury pokładowej.

Podczas sprawdzania ciśnienia w butlach należy pamiętać o tym, że butle tlenowe w czasie ładowania znacznie się nagrzewają. W związku z tym ciśnienie tlenu w butli bezpośrednio po naładowaniu jest większe niż po jej ostygnięciu. Różnice te wynoszą około 20 kG/cm² (przy ładowaniu butli do ciśnienia 150 kG/cm²). W czasie eksploatacji dopuszczalne jest przy tym podwyższenie ciśnienia tlenu w butli wskutek wzrostu temperatury nie więcej niż o 10% w stosunku do nominalnego ciśnienia roboczego. Zależność pomiędzy ciśnieniem a temperaturą tlenu w butli podaje dalej zamieszczona tablica, zestawiona dla butli o ciśnieniu dopuszczalnym do 150 kG/cm².

Tablica 3

Ciśnienie tlenu w butli podczas ładowania zależnie od temperatury otoczenia

Temperatura w °C	Ciśnienie tlenu w butli wysokociśnieniowej w kG/cm²
+35	160
+30	157
+25	155
+20	152
+15	150
+10	148
+ 5	145
0	143
− 5	140
−10	138
−15	136
−20	134
−25	131
−30	128
−35	126
−40	124
−45	121
−50	118
−55	114

Z tej wzajemnej zależności widać, że spadek ciśnienia podczas lotu wznoszącego ma miejsce nie tylko z powodu normalnego zużywania się tlenu, lecz również w wyniku obniżającej się temperatury otoczenia.

Dla pilota ciekawym i ważnym zagadnieniem jest ilość posiadanego zapasu tlenu, jego zużycie na jednostkę czasu oraz w związku z tym czas, na jaki zapas ten wystarczy. Ilość posiadanego tlenu można łatwo obliczyć mnożąc pojemność butli przez wartość ciśnienia wskazywanego przez manometr tlenowy. Uwzględnić przy tym trzeba poprawkę wynikającą z podanej tablicy. Zużycie tlenu zależne od wysokości, na jakiej lot się odbywa, podaje tablica 4. Tablicę tę zestawiono dla różnych typów aparatów tlenowych.

Usuwanie zanieczyszczeń z aparatów tlenowych powinno odbywać się za pomocą irchy lub flanelowej szmatki. Jeżeli zachodzi konieczność przemycia jakiegoś elementu (najczęściej przewodów), wykonywać to można jedynie spirytusem. Po użyciu aparatu tlenowego, zwłaszcza w porze zimowej, należy przesuszyć maskę.

Po wymontowaniu aparatu tlenowego z szybowca należy:

— otwory przewodów (po dokładnym wysuszeniu) zatkać kołkami;
— wszędzie tam, gdzie lakier został starty lub uszkodzony, pomalować przewody i butle uważając, aby nie zamalować gwintów;
— chronić przed zetknięciem z tłuszczami (UWAGA! grozi eksplozją);

Tablica 4

Normy obliczeniowe zużycia tlenu dla różnych typów pokładowych aparatów tlenowych
(w l/min zredukowanych do ciśnienia 760 mm Hg przy temp. +15°C)

Typ aparatu tlenowego \ Wysokość lotu w m	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10 000	11 000	12 000
KPA-3 bis	—	—	—	—	1,5	2,7	3,3	3,9	4,5	5,0	5,5	—	—
KP-14	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10,0*	10,0*	10,0*)
KP-16	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	2–16*	12–16*	12–16*
KP-18	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Angielska aparatura szybowcowa z maską tlenową typu L	—	—	—	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	10,0	10,0

*) Awaryjne podawanie tlenu od wysokości 9000 m

— przewody gumowe wysuszyć (jeżeli zaszła tego potrzeba), jednak nie talkować;
— poszczególne elementy przechowywać w osobnych tekturowych pudełkach w miejscu chłodnym i przewiewnym, w żadnym razie nie w wilgotnym;
— podczas ewentualnego transportu chronić aparat przed wstrząsami.

Opisane aparatury tlenowe — pokładowa i spadochronowa — zabezpieczają wykonywanie lotów wysokościowych do 10 000 — 12 000 m, tj. do wysokości, na których oddychanie tlenem rozwiązuje zagadnienie zapobiegania niedotlenieniu organizmu. Na wysokościach większych, tj. przy jeszcze niższym ciśnieniu, aparaty te stają się niewystarczające. Dla bezpiecznego realizowania lotów na większych wysokościach niezbędne jest stosowanie innych urządzeń, jak np. kabiny ciśnieniowe i skafandry wysokościowe, których opis wybiega poza ramy niniejszego opracowania (patrz — *Literatura pomocnicza*).

12. Radio

Dwustronna łączność radiowa znajduje w szybownictwie coraz szersze zastosowanie. Na pierwszy plan wysuwa się korzystanie z radia dla porozumienia się pomiędzy szybowcami wykonującymi grupowe przeloty, przy czym najczęściej chodzi tu o wzajemne informacje o aktualnie panujących na trasie warunkach atmosferycznych.

W tych samych celach korzysta się również z łączności szybowiec—ziemia. W tym przypadku nieocenione usługi oddaje radio, zwłaszcza podczas mistrzostw i zawodów, w łączności pomiędzy szybowcem i wozem transportowym lub samolotem holującym. Wymienione zastosowania nie wyczerpują oczywiście wszystkich możliwości. Uzupełnić je można jeszcze wykorzystaniem w zakresie łączności pomiędzy szybowcem i ziemią dla otrzymania przez pilota szybowca wskazówek od obsługi radiolokatorów lub w czasie szkolenia — dla przekazywania przez instruktora wskazówek uczniowi będącemu w powietrzu.

Zamieszczanie opisu zasady działania radiostacji nadawczo-odbiorczej wydaje się niecelowe, gdyż jest ona ogólnie znana. Warto jednak zwrócić uwagę na to, że stosowane w szybownictwie radiostacje różnią się od innych spotykanych na co dzień.

Źródłem zasilania radiostacji szybowcowych są akumulatory, z tym że coraz częściej stosuje się baterie anodowe lub akumulatory srebro-cynkowe. Daje to zysk na gabarycie akumulatora i jego ciężarze lub też chroni przed szkodliwym wpływem kwasu na elementy konstrukcji szybowca.

Radiostacje szybowcowe charakteryzują się przede wszystkim małym gabarytem i małym ciężarem oraz niewielkim poborem prądu. Jest to zrozumiałe, jeśli się zważy, że pojemność akumulatora powinna zabezpieczyć pracę radiostacji w przeciągu kilku godzin (do około 10 godz), tj. na przeciąg trwania przeciętnego lotu wyczynowego. Postulat małego poboru mocy i lekkości oraz małego gabarytu radiostacji szybowcowych stał się możliwy do zrealizowania dzięki szerokiemu wprowadzeniu na przestrzeni ostatnich lat półprzewodników (tranzystorów) oraz obwodów drukowanych.

Warto poświęcić nieco uwagi praktycznemu rozwiązaniu sprawy odbioru i nadawania. Stosowane dotychczas słuchawki (odbiór) i mikrofon (nadawanie) są coraz częściej zastępowane innymi rozwiązaniami, a to: głośnik (odbiór) i mikrofon (nadawanie) lub jedynie mikrofon spełniający również rolę głośnika. Rzadko tylko używane bywają laryngofony zamiast mikrofonów.

Do niedawna stosowano jedynie anteny zewnętrzne, które wystając na zewnątrz szybowca psuły jego kształty aerodynamiczne zwiększając opór i pogarszając doskonałość. Obecnie coraz częściej używa się anten wewnętrznych ukrytych w kadłubie lub skrzydłach. Anteny te nie mają wspomnianych wyżej ujemnych cech anten zewnętrznych.

Radiostacje szybowcowe pracują zazwyczaj w zakresie fal ultrakrótkich, tj. fal o długości rzędu 2—3 m, a więc częstotliwości 118—150 MHz. Jest to zakres przyznany dla łączności radiowej w lotnictwie. W tym zakresie częstotliwości podzielone są co 100 kHz, tj. co 0,1 MHz, a w niedługim czasie przewiduje się wprowadzenie po-

działu częstotliwości co 50 kHz, tj. 0,05 MHz. Do łączności w szybownictwie zostały określone konkretne częstotliwości do stosowania *).

Zmiana częstotliwości pracy radiostacji szybowcowej odbywa się przez przełączenie kanału (przestawienie pokrętła lub przez wciśnięcie przycisku), gdyż stosowana bywa najczęściej stabilizacja kwarcowa. Radiostacje szybowcowe mają przy tym zwykle możność pracy na trzech lub więcej częstotliwościach (kanałach).

*) Do chwili obecnej w PRL częstotliwości te nie zostały jeszcze ustalone w sposób obowiązujący.

Mgr inż. *Julian Bojanowski*
Mgr inż. *Roman Zatwarnicki*

Rozdział piąty

Urządzenia startowe

Szybowiec wykonuje swobodny lot ślizgowy wykorzystując energię mas powietrza. Gdy wiatr wieje na naturalną przeszkodę terenową, jak np. pasmo górskie, to przyziemne warstwy powietrza muszą opłynąć ją wierzchem wytwarzając po stronie nawietrznej prądy wznoszące, a po stronie zawietrznej prądy opadające.

Prądy wznoszące tworzą się również wskutek lokalnego nagrzania terenu przez promienie słoneczne, od którego z kolei nagrzewa się powietrze i jako lżejsze przemieszcza się ku górze. Zjawisko to wykorzystuje szybowiec dla zdobycia potrzebnej wysokości oraz kontynuowania lotu ślizgowego w zamierzonym kierunku.

Aby jednak mieć możność swobodnego manewrowania w powietrzu, szybowiec musi się najpierw oderwać od ziemi. Do tego celu służą różnorakie urządzenia startowe, które można posegregować w następujący sposób biorąc za podstawę ich historyczny rozwój:

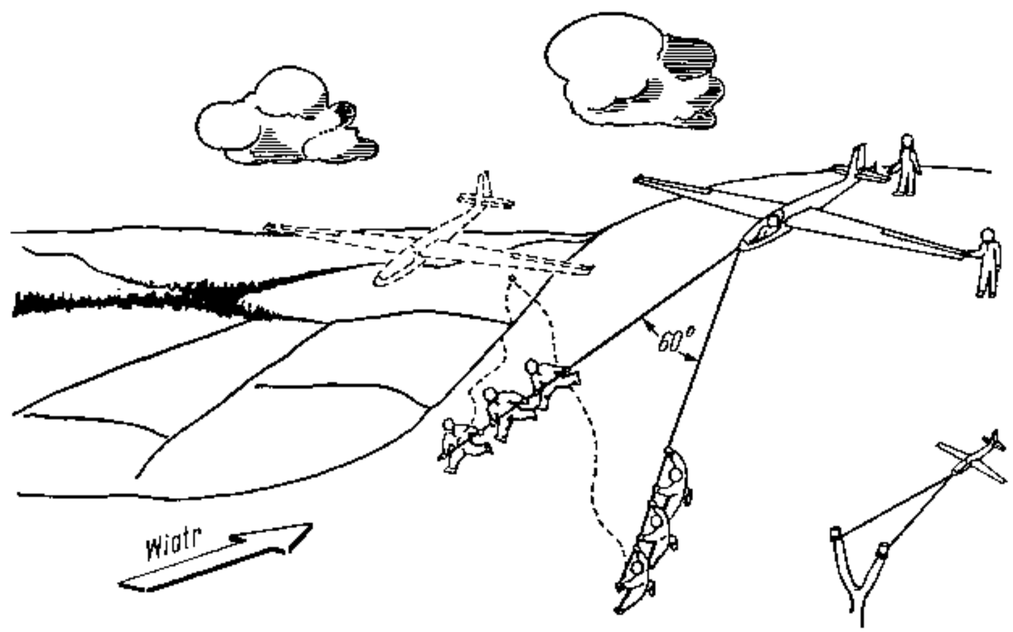
— start za pomocą liny gumowej ze zbocza góry;
— start za pomocą linki stalowej za jadącym samochodem;
— start za pomocą linki zamocowanej jednym końcem do stałej podpory, a drugim do szybowca, i ciągniętej poprzez rolkę umieszczoną na samochodzie;
— start za pomocą linki nawijanej na bęben uniesionego tylnego koła samochodu;
— start za pomocą linki nawijanej na bęben wyciągarki;
— start za pomocą linki ciągniętej przez samolot;
— start za pomocą urządzenia zabudowanego na samym szybowcu.

1. Start za pomocą liny gumowej

Jednym z najdawniej stosowanych w szybownictwie urządzeń startowych są liny gumowe. Najczęściej używane liny gumowe mają średnicę 18 do 20 mm i długość kilkunastu metrów. Składają się one

z rdzenia zawierającego 800 do 1000 nitek gumowych o przekroju 1 × 1 mm oraz podwójnego oplotu bawełnianego chroniącego rdzeń przed przetarciem i nadmiernym wydłużeniem.

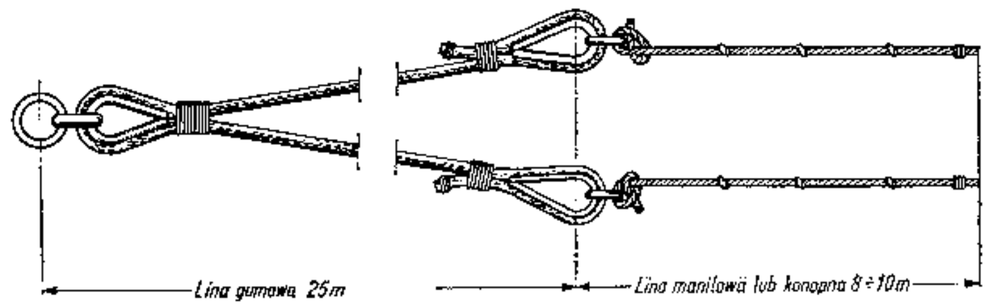
Oplot jest wykonany w taki sposób, że pozwala na wydłużenie się liny przy naciągu nie więcej niż 100 do 110%. Jest on przy tym równie ważną jak i rdzeń częścią liny gumowej, gdyż jego uszkodzenie powoduje nadmierne wydłużanie się liny w tym miejscu i szybkie pękanie poszczególnych nitek prowadzące do zerwania liny. Dlatego też należy unikać ciągnięcia lin po ziemi oraz rozciągania ich w kamienistym terenie. Zerwanie się liny przy starcie może bowiem spowodować poważne uszkodzenie szybowca i obrażenia pilota lub obsługi.



Rys. 5—1. Start szybowca za pomocą liny gumowej

Siła naciągu lin gumowych przy ich stuprocentowym wydłużeniu osiąga wartość 200 do 300 kG. W połowie długości liny gumowej zamocowana jest metalowa sercówka, do której przymocowany jest z kolei stalowy pierścień służący do zaczepienia liny na haku startowym szybowca. Końce liny zaopatrzone są również sercówkami, do których umocowane są przedłużenia z linek konopnych lub bawełnianych służące do tego, aby obsługa naciągająca liny startowe nie chwytała za oplot liny. Naciąganie lin za oplot powoduje bowiem przesuwanie się oplotu względem rdzenia i pofałdowanie oplotu, które staje się przyczyną wewnętrznych pęknięć rdzenia.

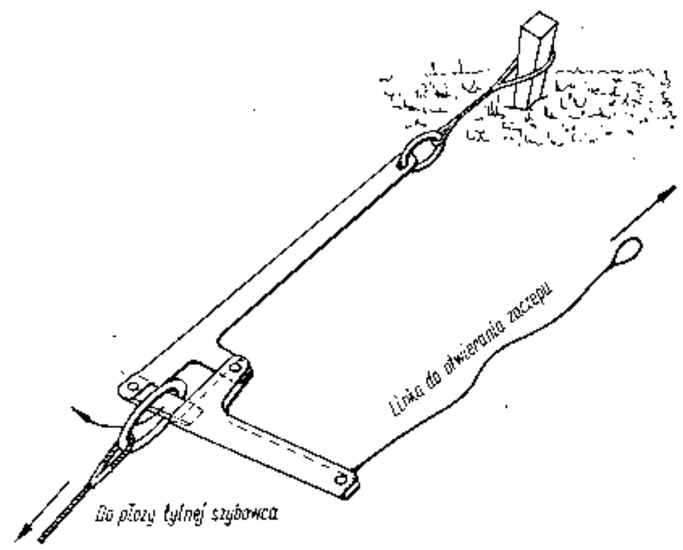
W przypadku zauważenia na powierzchni oplotu pofałdowań należy linę naciągnąć i usunąć fałdy przez odpowiednie przesunięcie i roz-



Rys. 5—2. Lina gumowa z „sercówkami" i nieelastycznymi końcówkami

prowadzenie oplotu. Wewnętrzne pęknięcia rdzenia poznaje się po charakterystycznych przewężeniach. Miejsce, w którym powstało przewężenie, należy wyciąć i linę połączyć za pomocą odpowiedniego mocnego oplotu. Ponadto wszystkie miejsca, w których powstają przetarcia oplotu, należy zawczasu zabezpieczać przez owinięcie taśmą bawełnianą oraz obwiązanie za pomocą cienkiego sznurka.

Praca lin gumowych polega na tym, że w czasie naciągania gromadzą one pewien zapas energii, który po zwolnieniu szybowca zużywa się na pokonanie tarcia oraz na przyspieszenie szybowca do prędkości wystarczającej do lotu ślizgowego. Do startu szybowców jednomiejscowych wystarcza pojedyncza lina startowa, natomiast do startu szybowców dwumiejscowych lub wyjątkowo ciężkich szybowców jednomiejscowych używa się lin podwójnych. Każda z lin jest oczywiście zaczepiona w połowie swej długości na haku szybowca, a końce lin są rozstawione pod kątem około 60°. Poszczególne



Rys. 5—3. Specjalny zaczep startowy używany przy starcie szybowca za pomocą liny gumowej

końce liny naciągane są do startu szybowca przez dwie do czterech osób, zależnie od siły wiatru i warunków startu.

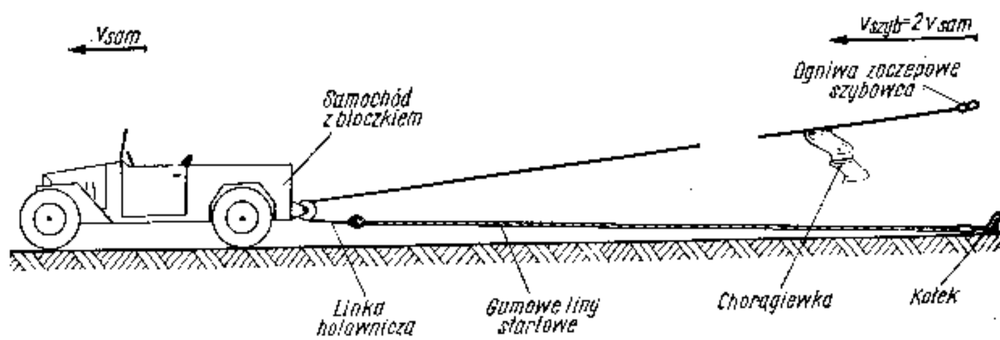
Hak do startu z lin gumowych zabudowany na szybowcu musi mieć odpowiednie zakrzywienie, tzn. takie aby z jednej strony pierścień lin zsunął się z haka nie wcześniej niż po zupełnym zluźnieniu się lin, a z drugiej strony — aby nie groziło zawiśnięcie lin na haku po ich zluźnieniu.

W czasie naciągania lin startowych szybowiec jest umocowany do mocno wbitego w ziemię kołka za pomocą odpowiedniego ucha startowego, umieszczonego na końcu kadłuba (na płozie), oraz specjalnego zaczepu startowego (z linką lub łańcuchem) znajdującego się przy kołku. Zaczep ten zostaje otwarty na komendę instruktora przez pociągnięcie linki połączonej z jego dźwignią otwierającą.

Przy pierwszych lotach szkolnych stosuje się niekiedy zamiast zaczepu przytrzymywanie szybowca przez obsługę za linkę konopną przymocowaną do jego ucha startowego.

2. Start za pomocą mechanicznych urządzeń naziemnych

Start szybowca na terenach płaskich jest możliwy, jeżeli zostanie mu zapewniona prędkość wystarczająca na wytworzenie siły nośnej, która zrównoważy ciężar szybowca. Obecnie służy specjalnie do tego celu zbudowana wyciągarka szybowcowa, która przechodzi ciągle ewolucję rozwojową. Dawniej natomiast przystosowywano do celów startowych dostępne wówczas mechaniczne środki transportu.

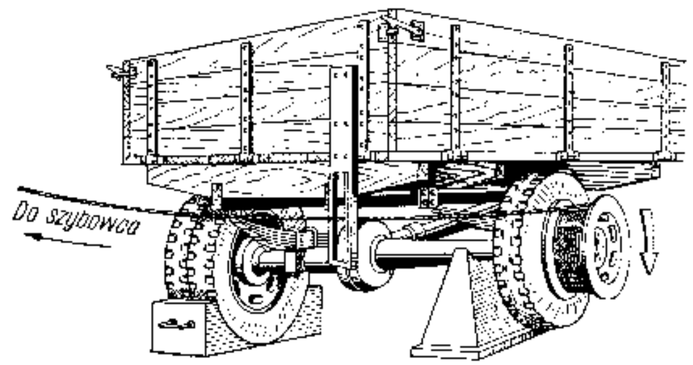


Rys. 5—4. Start szybowca za samochodem przy zastosowaniu krążka

Najprostszym wykorzystaniem na przykład samochodu było u wienie go na długim polu startowym z uwiązanym doń na li szybowcem. Jadący po prostej samochód musiał osiągnąć prędk około 50 km/godz, przy której szybowiec dopiero mógł się oder od ziemi, po czym następowała faza lotu wznoszącego. Oczyw

przez cały ten czas samochód musiał jechać prosto, co wymagało z kolei długich i równych pól startowych.

Następnym etapem wykorzystania samochodu do tego celu było umieszczenie na nim krążka, poprzez który była ciągnięta linka w układzie pokazanym na rysunku 5—4. Przy takim rozwiązaniu



Rys. 5—5. Przystosowanie samochodu ciężarowego do ciągnięcia szybowca w czasie startu i wzlotu

prędkość jazdy samochodu była dwukrotnie mniejsza od prędkości uzyskiwanej przez szybowiec, co pozwalało już na wykorzystywanie mniejszych pól wzlotu, a ponadto umożliwiało zredukowanie prędkości samochodu w terenie nie przystosowanym z reguły do takiej jazdy.

Dalszym etapem rozwojowym było ustawienie samochodu na skraju lotniska w sposób przedstawiony na rysunku 5—5. Uniesione jednostronnie jego tylne koło zostało wyposażone w bęben do nawijania linki startowej, którą przeprowadzono dodatkowo przez podłużny otwór w desce. Linka była teraz przeciągnięta przez całe pole wzlotów do przeciwległego skraju, gdzie znajdował się szybowiec. Mechanizmy samochodu były w tej sytuacji obciążone mocniej niż w normalnych warunkach jazdy i dlatego jedynie cięższe samochody mogły podołać temu zadaniu. Największą pracę wykazywał wtedy mechanizm różnicowy, który przy zablokowanym w podstawkach lewym kole wywoływał dwukrotnie szybsze obroty koła prawego.

Wszystkie te metody pozwalały na przeprowadzanie startu szybowca, ale nie mogły zapewnić optymalnego wykorzystania silnika samochodu do aktualnych potrzeb. Dopiero wyciągarka szybowcowa umożliwiła szerokie rozpowszechnienie szybownictwa, a zwłaszcza szkolenie szybowcowe na terenach płaskich.

a. Wyciągarka szybowcowa

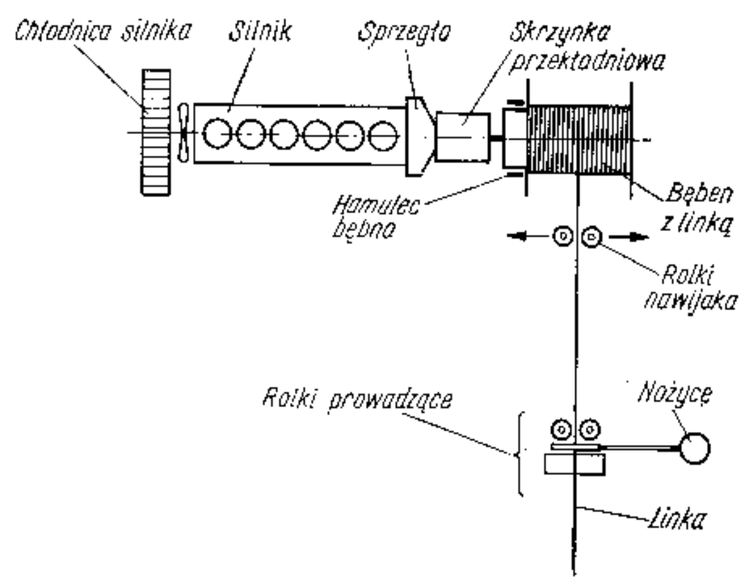
Budowa najczęściej stosowanych wyciągarek szybowcowych przedstawia się następująco.

Na sztywnej stalowej ramie umieszczony jest sześcio- lub ośmiocylindrowy benzynowy (niskoprężny) silnik samochodowy wraz z chłodnicą, sprzęgłem i samochodową skrzynką przekładniową. Moc stosowanych do wyciągarek silników waha się od 75 do 160 KM, zależnie od typu i konstrukcji wyciągarki.

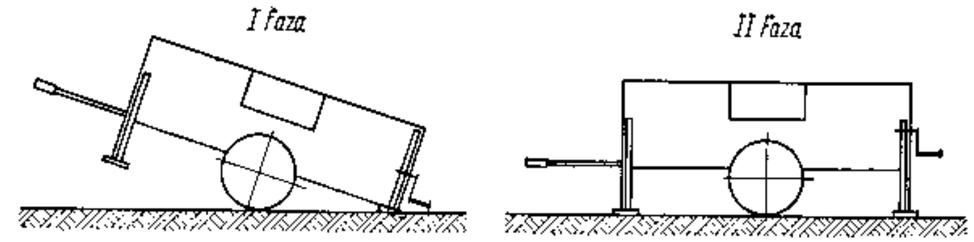
Silnik wyciągarki napędza jeden, a w niektórych rozwiązaniach konstrukcyjnych dwa (pracujące na zmianę) bębny stalowe. Na nich mieści się linka stalowa o długości 800 do 1500 m i średnicy 3,5 do 5 mm, wykazująca wytrzymałość 900 do 1200 kG. Bęben wyciągarki jest przy tym zabezpieczony przed możliwością wypadnięcia linki poza jego obrzeża oraz połączony napędem z mechanicznym nawijakiem, który równomiernie układa linkę na bębnie w czasie jej nawijania.

Linka wyciągarki, którą przed startem zaczepia się do szybowca, jest wprowadzona na bęben poprzez rolki prowadzące i rolki nawijaka. Pomiędzy rolkami prowadzącymi umieszczone są silne nożyce służące do przecinania linki w przypadku nieodczepienia się szybowca po starcie. Bęben wyciągarki jest ponadto zaopatrzony w hamulec, który może być uruchamiany zarówno przez obsługującego wyciągarkę, jak i działać automatycznie pod wpływem zluźnienia się linki.

Pomiędzy silnikiem a bębnem umieszczone jest stanowisko mechanika obsługującego wyciągarkę i zbiornik z paliwem. Na stanowisku



Rys. 5—6. Uproszczony schemat budowy wyciągarki szybowcowej



Rys. 5—7. Ustawianie wyciągarki szybowcowej na starcie

tym zabudowany jest fotel z osłoną mechanika oraz dźwignie sterujące regulacji silnika (najczęściej ręczna), skrzynki przekładniowej, sprzęgła i hamulca. Przed fotelami mechanika znajduje się pulpit sterowniczy, na którym umieszczone są: wyłącznik zapłonu silnika, włącznik rozrusznika, paliwomierz, manometr ciśnienia oleju i termometr wody w chłodnicy. Obok dźwigni regulacji silnika umieszczona jest dźwignia uruchamiająca nożyce do przecinania linki. Ponadto na stanowisku mechanika znajduje się prędkościomierz wskazujący prędkość nawijania linki, dźwignia regulacji chłodzenia wody oraz reflektory sygnalizacyjne.

Silnik wyciągarki wyposażony jest ponadto w prądnicę i rozrusznik elektryczny uruchamiany prądem z akumulatora.

Wyciągarka szybowcowa wyposażona jest w dwukołowe podwozie oraz przestawiany dyszel, które umożliwiają jej transport za samochodem. Ponadto na ramie zabudowana jest zwykle specjalna winda korbowa, która pozwala postawić wyciągarkę na sztywnych podporach lub ponownie podnieść ją na koła do dalszego transportu. Mechanizmy wyciągarki zabezpieczone są odpowiednimi osłonami i siatkami metalowymi.

Praca i obsługa wyciągarki przedstawia się następująco. Wyciągarkę transportuje się najpierw za samochodem do miejsca ustawienia jej na lotnisku. Miejsce to powinno się znajdować w odległości 800 do 1500 m od szybowca w kierunku pod wiatr.

Po odczepieniu wyciągarki odblokowuje się mechanizm podnoszenia kół i za pomocą windy korbowej ustawia się ją na przewidzianych do tego celu stałych lub składanych podporach. Z kolei przeciąga się linkę wyciągarki przez rolki nawijaka, automatycznego hamulca, pomiędzy ostrzami nożyc oraz rolkami prowadzącymi. Następnie rozwija się linkę z bębna prowadząc jej koniec po linii prostej do umieszczonego na miejscu startu szybowca, gdzie zaczepia się ją do umieszczonego na szybowcu zaczepu startowego.

Na sygnał podany przez kierownictwo startu mechanik wyciągarkowy włącza silnik i nagrzewa go tak długo, dopóki woda w chłodnicy nie osiągnie wymaganej temperatury. Rozpoczęcie bowiem startu przy zbyt niskiej temperaturze silnika może spowodować niespodziewane

przerwanie jego pracy, które z kolei stwarza nieprzyjemną, a niekiedy nawet niebezpieczną sytuację dla pilota szybowca. Po nagrzaniu silnika i upewnieniu się o jego nienagannej pracy (kilkakrotne zwiększenie obrotów) mechanik podaje za pomocą reflektorów sygnalizacyjnych lub tarczy sygnał na start, że gotów jest rozpocząć ciągnięcie szybowca.

Po otrzymaniu ze startu rozkazu rozpoczęcia ciągnięcia wyłącza sprzęgło i włącza odpowiednią przekładnię. Następnie powoli zwalniając dźwignię sprzęgła napręża linkę wyciągarkową, aby uniknąć szarpnięcia szybowca przy starcie. Właściwy start szybowca rozpoczyna się skoro tylko linka zostanie naprężona, co mechanik poznaje po sygnale podanym ze startu (pochylenie tarczy) oraz o tym, że dalsze zwalnianie sprzęgła nie powoduje już ruchu linki. W tym celu zwalnia on dalej dźwignię sprzęgła zwiększając jednocześnie moc silnika przez stopniowe otwieranie przepustnicy gaźnika w miarę wzrastającego obciążenia. Wymaga to pewnej wprawy, gdyż zbyt szybkie zwolnienie dźwigni sprzęgła może spowodować zatrzymanie się silnika, a zbyt gwałtowne zwiększenie mocy silnika spowoduje nieprzyjemne szarpnięcie szybowca grożące zerwaniem linki przy niezbyt dokładnym jej naprężeniu.

Skoro tylko dźwignia sprzęgła została całkowicie zwolniona, mechanik nadal zwiększa moc i obroty silnika tak długo, aż szybowiec nabierze odpowiedniej prędkości i zacznie wznosić się do góry. W dalszym ciągu mechanik reguluje prędkość ciągnięcia na podstawie obserwacji wznoszącego się szybowca oraz wskaźnika prędkościomierza, uwzględniając jednak przy tym prędkość wiatru i położenie szybowca.

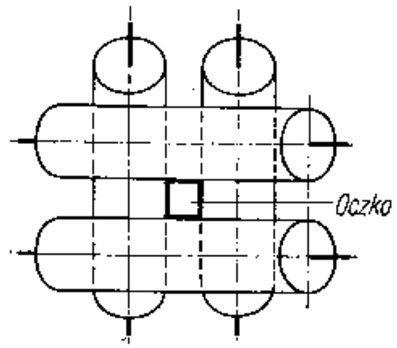
Z chwilą gdy szybowiec zaczyna zbliżać się nad wyciągarkę, mechanik stopniowo zmniejsza moc silnika, tak aby w momencie gdy znajdzie się pod kątem 60° do 70° zamknąć prawie całkowicie przepustnicę gaźnika. W tym momencie pilot szybowca otwiera hak zaczepu startowego łączącego linkę wyciągarki z szybowcem i rozpoczyna swobodny lot.

W przypadku gdy pilot szybowcowy nie wyczepi z jakiegoś powodu linki wyciągarki, stwarza się dla niego bardzo niebezpieczna sytuacja. Szybowiec bowiem musi lecieć naprzód z pewną prędkością, aby utrzymać się w powietrzu, podczas gdy równocześnie jest spięty linką z wyciągarką. Sytuacja taka doprowadziłaby z reguły do katastrofy, gdyby nie nożyce bezpieczeństwa, które muszą znajdować się na każdej wyciągarce. Mechanik wyciągarkowy odcina w takim przypadku linkę od strony wyciągarki i pozwala szybowcowi na swobodny lot.

Trzeba jednak pamiętać, że długi kawałek linki zwisa z szybowca i przy podchodzeniu do lądowania znad przeszkody terenowej może zaplątać się, stwarzając w ten sposób ponowne niebezpieczeństwo. Dlatego też pilot szybowcowy powinien sobie z tego zdawać sprawę

że po starcie nie wyczepił się prawidłowo. Obserwując z powietrza grupę startową otrzyma sygnały, które go upewnią w przekonaniu, że leci z linką. Jego kolejnym obowiązkiem jest ponowna próba odczepienia linki (co można poznać po charakterystycznym trzasku otwierającego się zaczepu) i jeśli ona zawiedzie — lądowanie z ominięciem wszelkich przeszkód terenowych, o które linka mogłaby się zaplątać.

Na podstawie tego przykładu widać, że nożyce bezpieczeństwa spełniają bardzo ważną rolę i są niezbędne w każdej wyciągarce. Umieszcza się je z reguły w pobliżu prowadzenia linki poprzez „oczko" stworzone przez rolki (rys. 5—8), a mogą być napędzane energią potencjalną sprężyny albo ciężarka. W obu jednak przypadkach ich działanie musi być niezawodne. Schemat budowy nożyc napędzanych ciężarkiem przedstawiono na rysunku 5—9.

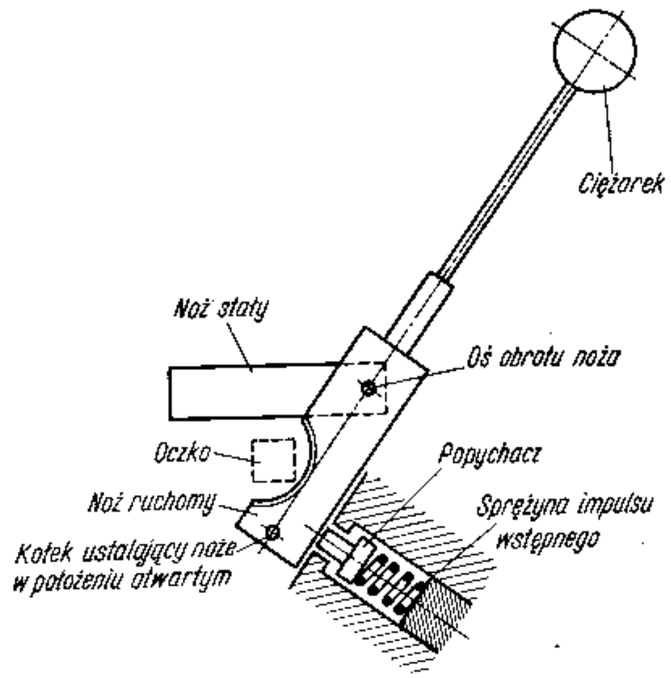


Rys. 5—8. „Oczko" utworzone przez układ rolek prowadzących linkę wyciągarki

W nowoczesnych wyciągarkach stosuje się wahliwe zamocowanie rolek prowadzących linkę wraz z nożycami, wskutek czego linka biegnąca coraz bardziej stromo podnosi cały ten układ nie załamując się ostro na ostatniej rolce. Efektem takiego rozwiązania jest wyraźne zaoszczędzenie zużycia linki wyciągarkowej.

Rysunek 5—10 przedstawia taki właśnie zespół rolek prowadzących linkę wraz z nożycami bezpieczeństwa obciążonymi sprężyną umieszczoną w korpusie wskazanym białą strzałką. Przez zakręcenie lub odkręcenie gwintu uzyskuje się potrzebne napięcie sprężyny obciążającej nóż. Ponadto całość jest zamocowana na wałku z rowkiem naciętym w kształcie prawego i lewego gwintu, który prowadzi równomiernie linkę podczas nawijania na całej szerokości bębna. W dodatku zespół ten jest umieszczony wahliwie wobec osi bębna, wskutek czego linka nie doznaje dodatkowych załamań podczas startu szybowca.

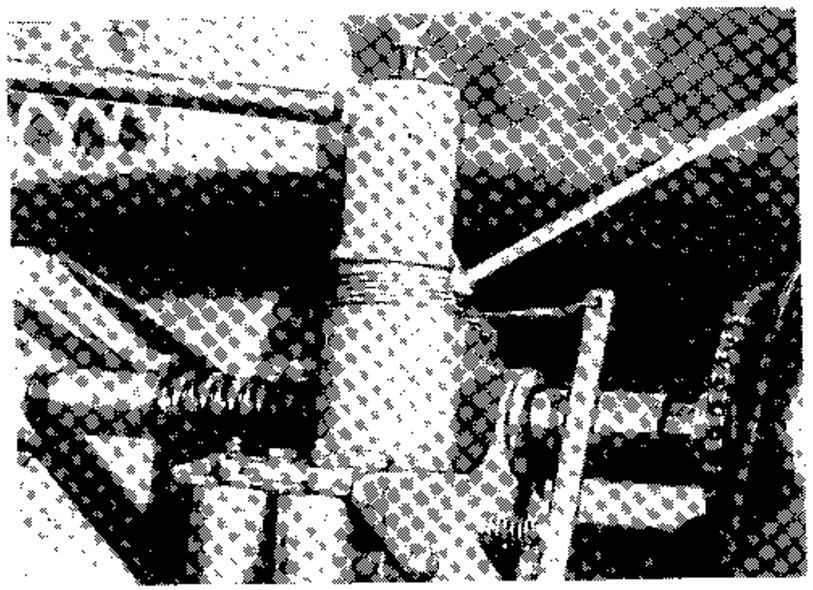
Wysokość, jaką można uzyskać przy starcie za wyciągarką, zależy od wielu czynników jak: początkowa długość linki wyciągarkowej, rodzaj zaczepu startowego, za którym był wykonywany start, prędkość ciągnięcia i prędkość wiatru oraz sposób wykonywania startu i własności szybowca. Przy lince o długości 800 m przeciętna wysokość uzyskiwana przez szybowiec przy starcie za przednim zaczepem wynosi 250 do 350 m, a przy starcie za dolnym lub bocznym zaczepem 300 do 400 m. Przy lince o długości 1500 m można uzyskać



Rys. 5—9. Nożyce bezpieczeństwa w położeniu otwartym

za przednim zaczepem 300 do 450 m, a za dolnym zaczepem 400 do 600 m.

Przy silnym wietrze i dobrze zgranej załodze szybowca oraz mechanika wyciągarkowego można osiągnąć jeszcze większą wysokość startu. Jest to start szybowca podobny nieco do lotu latawców, w któ-



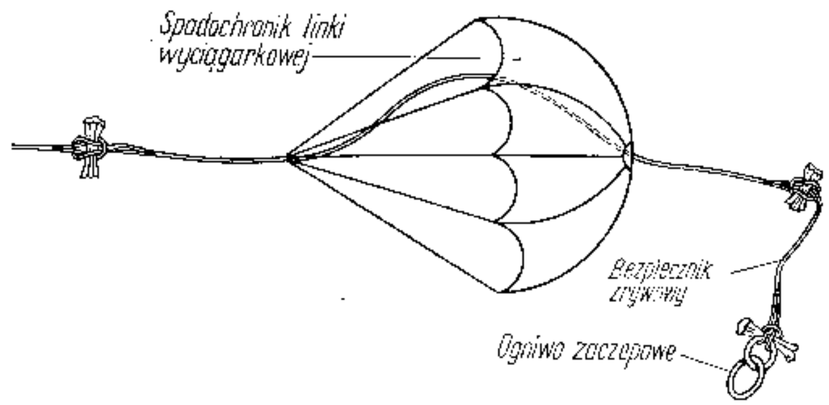
Rys. 5—10. Wahliwe zamocowanie rolek prowadzących oraz nożyc bezpieczeństwa w wyciągarce polskiej produkcji SW-4 „Tur"

rym pierwsza faza nie różni się zasadniczo od normalnego startu za dolnym zaczepem aż do chwili, gdy szybowiec znajdzie się w rejonie nad wyciągarką. Wtedy zamiast normalnego odczepienia następuje dalszy ciąg startu jako lot „na uwięzi". Prędkość wiatru musi oczywiście być wtedy większa od prędkości minimalnej szybowca, co pozwala na wytworzenie potrzebnej siły nośnej nawet przy bezruchu wobec ziemi.

W takich warunkach szybowiec naśladuje lot latawca i przy bardzo silnym wietrze może się nawet cofać wyciągając linkę z bębna wyciągarki. Przewaga prędkości wiatru w stosunku do prędkości minimalnej szybowca wywołuje nadmiar siły nośnej wobec jego ciężaru, co powoduje wznoszenie się szybowca. Mechanik wyciągarkowy luzuje wówczas bęben z linką i pozwala szybowcowi odwijać sobie potrzebną ilość linki, podczas gdy szybowiec-latawiec zdobywa powoli wysokość. Po kilkudziesięciu minutach takiego lotu zdarzały się wysokości startu przewyższające 1000 m.

Odczepiona od szybowca linka spada normalnie na ziemię w pobliżu wyciągarki i musi być z powrotem ściągnięta na start za pomocą samochodu, motocykla lub podobnego do wyciągarki urządzenia zwanego ściągarką. W celu zabezpieczenia linki wyciągarkowej przed pogięciem, połamaniem i poplątaniem przy spadku z dużej wysokości, koniec linki jest zwykle wyposażony w mały spadochronik aby prędkość spadania linki była mniejsza (rys. 5—11).

Oprócz spadochronika koniec linki wyciągarkowej zaopatrzony jest w bezpiecznik zrywowy, który jest wykonany z cienkiej linki stalowej o ściśle określonej wytrzymałości. Bezpiecznik ten chroni szybowiec przed przeciążeniem w następstwie zbyt szybkiego ciągnięcia (patrz również rozdział 2, pkt 7). Niezależnie od zrywania się linki bezpiecznika (której nie naprawia się, a wymienia na nową), ulegają również od czasu do czasu zerwaniu linki wyciągarki i ściągarki, pracujące w bardzo niekorzystnych warunkach. Zerwanych linek nie



Rys. 5—11. Spadochronik linki wyciągarkowej oraz bezpiecznik zrywowy

wolno łączyć za pomocą węzłów, ale przez wykonanie starannego zaplotu, którego koniec należy zabezpieczyć przed strzępieniem się przez owinięcie cienkim drutem.

Po odczepieniu się szybowca mechanik wyciągarkowy wyłącza silnik wyciągarki i ustawia przekładnię w skrzynce przekładniowej na luz.

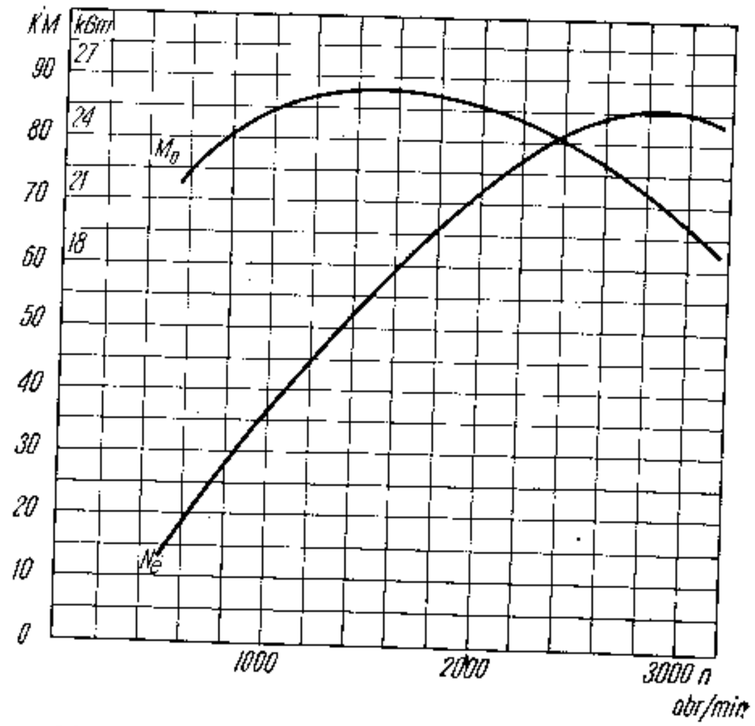
Ściąganie linki z powrotem na start (rozwijanie z bębna) powinno odbywać się równomiernie po łagodnym wstępnym jej naprężeniu. W przypadku bowiem szarpnięcia bęben obraca się chwilami szybciej niż wybierana zeń linka i wyrzuca ją poza swe obrzeża, powodując w ten sposób poplątanie linki połączone najczęściej z jej zerwaniem. W celu uniknięcia tego wyciągarki starszych typów zostały wyposażone w ręczny hamulec, za pomocą którego mechanik przeciwdziała tworzeniu się pętli na bębnie w czasie rozwijania linki. Hamulec ręczny nie pozwala jednak na rozwijanie linki z dużymi prędkościami, gdyż mechanik często nie może dostatecznie szybko przyhamować rozwijającego się bębna.

Wyciągarki bardziej nowoczesne są już wyposażone w hamulec automatyczny. Dźwignia uruchamiająca taki hamulec zakończona jest rolką, która opiera się o linkę pomiędzy bębnem a rolkami prowadzącymi. Jeżeli linka przy rozciąganiu jest naprężona, to rolka dźwigni wówczas jest podniesiona do góry i hamulec nie działa. Jeżeli natomiast linka się zluźni, co ma miejsce, gdy prędkość wybierania linki jest mniejsza niż prędkość obwodowa bębna, wtedy rolka opada i naciska swoim ciężarem na dźwignię hamulca powodując zmniejszenie obrotów bębna.

Charakterystyczną cechą niskoprężnego (benzynowego) silnika spalinowego stosowanego w wyciągarkach jest stateczność jego pracy w pewnym zakresie. Moc użyteczna tego silnika jest proporcjonalna do jego obrotów, natomiast moment obrotowy, od którego zależy wielkość siły ciągu w lince, zachowuje się w ten sposób, że przy wzroście obciążenia moment początkowo rośnie, a następnie maleje (rys. 5—12).

Dzięki takiej charakterystyce momentu obrotowego silnik w pewnym zakresie samoczynnie dostosowuje siłę ciągu linki do potrzeb startującego szybowca. Gdy na przykład pilot w czasie startu szybowca zwiększy jego kąt natarcia, wzrasta siła w lince potrzebna do ciągnięcia szybowca i zmniejszają się pod wpływem wzrostu obciążenia obroty silnika. W następstwie jednak wzrostu momentu obrotowego silnika siła, z jaką bęben ciągnie linkę, również wzrasta, i zapobiega dalszemu spadkowi obrotów silnika. Na rysunku 5—12 widać ten zakres między 1600 a 3000 obr/min.

Silnik więc w pewnym zakresie samoczynnie dostosowuje siłę ciągu w lince do potrzeb startującego szybowca. Jeżeli jednak pilot zwiększy kąt natarcia zbyt gwałtownie, to obroty silnika zmaleją tak silnie



Rys. 5—12. **Charakterystyka niskoprężnego silnika spalinowego stosowanego w wyciągarkach szybowcowych**

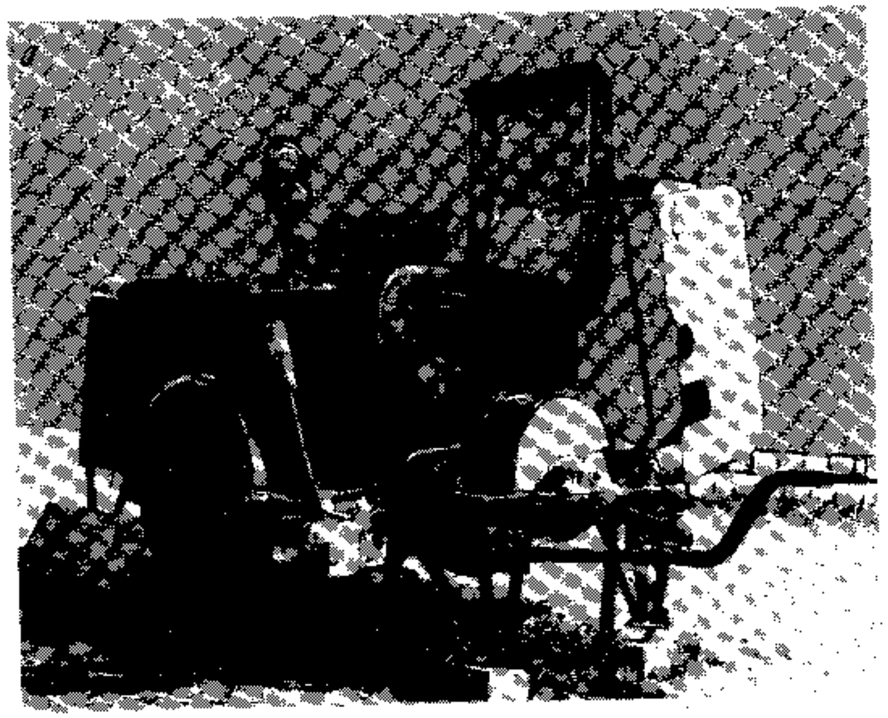
M_o — moment obrotowy, N_e — moc użyteczna

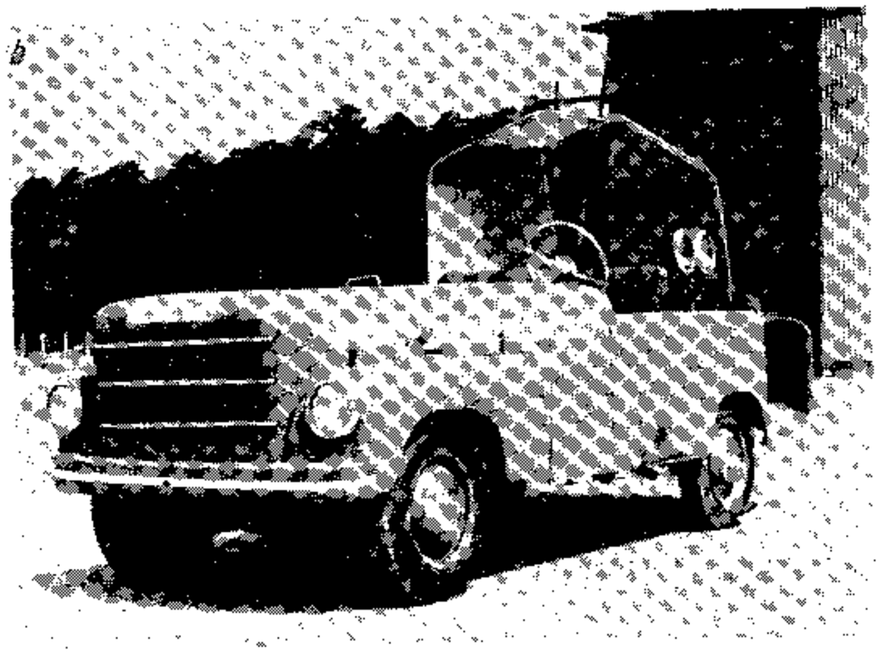
(poniżej 1400 na wykresie), że moment obrotowy silnika zacznie również gwałtownie spadać i silnik się zatrzyma. Z tych właśnie powodów przy starcie za wyciągarką nie wolno pilotowi gwałtownie zwiększać kąta natarcia szybowca.

Jeszcze lepszą charakterystykę momentu obrotowego wykazuje silnik wysokoprężny (Diesla). Dlatego też rozwój konstrukcji wyciągarek dąży do zastąpienia silników niskoprężnych (benzynowych) silnikami wysokoprężnymi (Diesla), co przynosi poza tym jeszcze i korzyści ekonomiczne (mniejsze zużycie paliwa, tańsze paliwo — olej napędowy).

Najnowocześniejsze typy wyciągarek szybowcowych wyposażone są ponadto we własny napęd na koła, umożliwiający im samodzielne poruszanie się i zajmowanie nowego położenia przy ewentualnej zmianie kierunku wiatru (patrz rys. 5—13). Innymi udoskonaleniami są: zastosowanie w wyciągarkach regulatorów obrotów oraz sprzęgieł hydrokinetycznych.

Na wyciągarkach wyposażonych w regulator obrotów mechanik wyciągarkowy nie oddziałuje bezpośrednio na przepustnicę gaźnika silnika niskoprężnego lub pompę wtryskową silnika wysokoprężnego, lecz ustawia jedynie dźwignię regulatora, który już automatycznie utrzymuje odpowiednią prędkość ciągnięcia. System ten ma tę zaletę, że



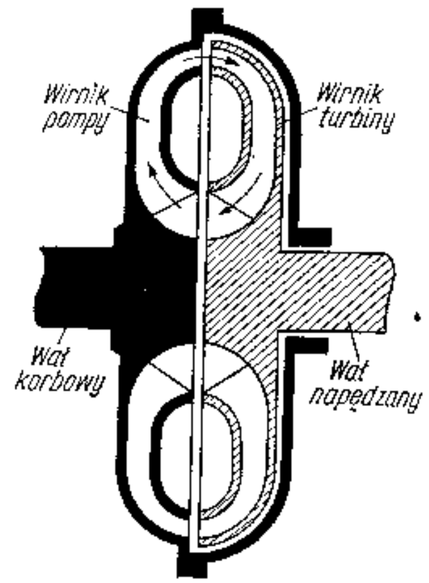


Rys. 5—13. Wyciągarki szybowcowe polskiej konstrukcji
a — wyciągarka ciągniona SW-2 „Żubr", b — samojezdna wyciągarka SW-4 „Tur

regulator o wiele szybciej reaguje na wszelkie zmiany obciążenia silnika niż jest to w stanie wykonać mechanik, dzięki czemu praca wyciągarki jest znacznie bardziej stateczna.

Zastosowanie z kolei sprzęgła hydrokinetycznego (zwane czasem hydraulicznym) zamiast normalnie stosowanego sprzęgła ciernego ma tę zaletę, że przy właściwej jego obsłudze unika się gwałtownych szarpnięć oraz zmian siły ciągu w czasie startu szybowca.

Sprzęgło hydrokinetyczne przenosi napęd dzięki bezwładności cieczy zmuszanej do krążenia pomiędzy łopatkami ustawionymi naprzeciw siebie wirników pompy i turbiny. Wirnik pompy zaklinowany jest na wale korbowym silnika, a wirnik turbiny na wale sprzęgłowym skrzynki przekładniowej. Łopatki obu wirników są tak ukształtowane, że tworzą zakrzywione kanały, które w liczbie kilkudziesięciu rozmieszone są na obwodzie wirników (rys. 5—14).



Rys. 5—14. Zasada budowy i działania sprzęgła hydrokinetycznego (hydraulicznego)

Gdy wał korbowy silnika obraca się, ciecz wypełniająca kanały wirnika pompy pod działaniem sił odśrodkowych usiłuje oddalić się od osi obrotu wirnika, wypływa z kanałów wirnika i natrafia na łopatki wirnika turbiny, które zmuszają ją do powrotu do kanałów wirnika pompy. Zmieniając kierunek ruchu przy wypływie z kanałów wirnika pompy ciecz wywiera nacisk na łopatki wirnika turbiny, zmuszając go do obracania się w ślad za wirnikiem pompy. Gdy prędkość obrotowa wału korbowego silnika jest mała (np. podczas biegu jałowego silnika), wówczas napór cieczy na wirnik turbiny nie wystarcza do spowodowania obrotu wału sprzęgłowego i sprzęgło nie przenosi napędu. Pomimo więc tego, że silnik wyciągarki pracuje, bęben zwijający linkę jest nieruchomy. Przy wzroście obrotów silnika napór cieczy na łopatki wirnika turbiny coraz gwałtowniej wzrasta i powoduje coraz szybsze obracanie się wału sprzęgłowego — a więc wzrost obrotów bębna i kołowanie szybowca.

W miarę dalszego wzrostu obrotów silnika i po osiągnięciu obrotów znamionowych różnica prędkości obrotowych wirnika pompy i wirnika turbiny (tzw. poślizg wirnika pompy i wirnika turbiny) zmniejsza się coraz bardziej i osiąga wartość 2—3%, a więc praktycznie nie odgrywa roli.

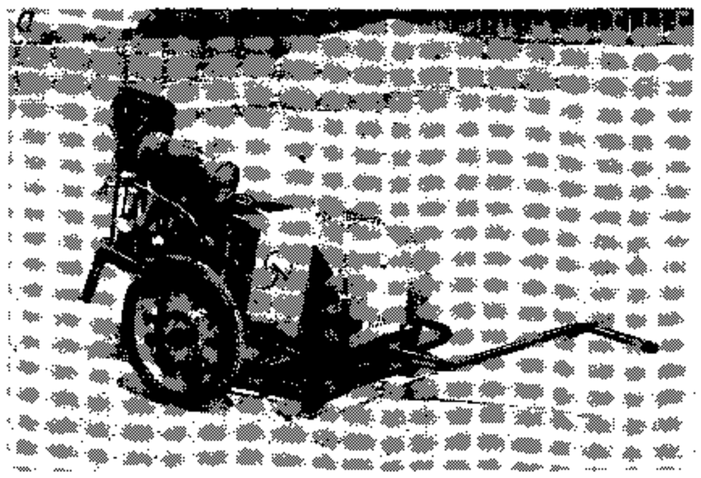
Warto przy tym zapamiętać, że szczególną zaletą sprzęgła hydro-

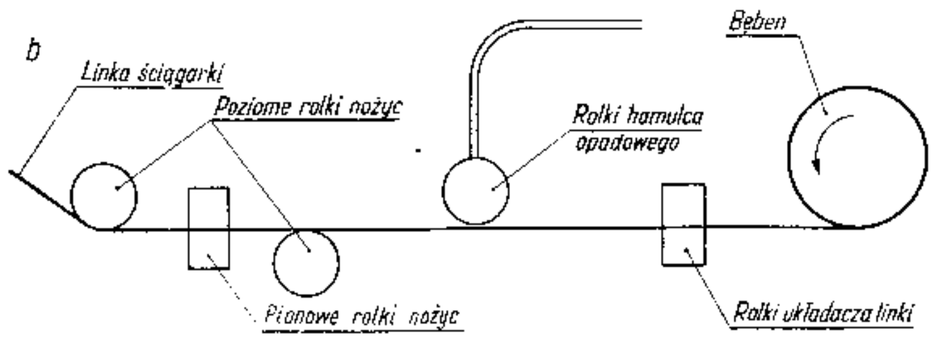
kinetycznego jest zupełne tłumienie wszelkich drgań i wstrząsów w układzie napędowym oraz bardzo elastyczne sprzęganie wału korbowego silnika z wałem sprzęgłowym, a więc i bębnem wyciągarki. Efektem tego jest więc elastyczny i bezpieczny start szybowca.

b. Ściągarka

Powrotny transport linki wyciągarkowej na start wykonuje się najczęściej za pomocą ściągarki. Ściągarka składa się zasadniczo z podobnych elementów składowych jak i wyciągarka, jest jednak od tej ostatniej znacznie mniejsza.

Silnik spalinowy ściągarki jest zwykle jedno- lub dwucylindrowy, dwusuwowy, chłodzony powietrzem, o mocy 8 do 15 KM (najczęściej jest to silnik motocyklowy). Ciężar ściągarki wraz z odejmowanym podwoziem, wynosi około 300 kG, podczas gdy ciężar wyciągarki dochodzi do 1100 ÷ 1600 kG. Na możliwie jak najlżejszym bębnie ściągarki (aby uzyskać mały moment bezwładności) nawinięta jest cienka linka stalowa o średnicy 2,5 do 3 mm i długości około 1200 m.





Rys. 5—15. — Ściągarka polskiej produkcji „Ryś"
a — widok ogólny, b — schemat budowy

Ściągarka wyposażona jest zwykle w mechaniczny nawijak, nożyce podobnej konstrukcji jak nożyce wyciągarki oraz precyzyjnie działający automatyczny hamulec. Bęben jest napędzany za pomocą odpowiednich sprzęgieł kołowych, które przy rozwijaniu się linki pozostają wyłączone, tak aby obracał się wtedy wyłącznie sam bęben. Ma to na celu zmniejszenie do minimum oporów ruchu bębna.

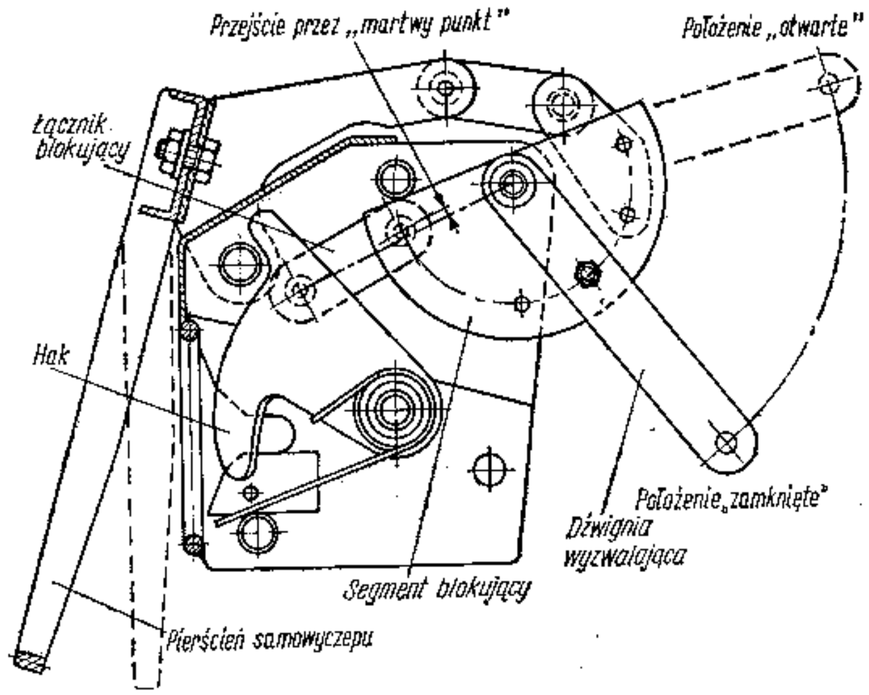
Linkę ściągarki łączy się z linką wyciągarki za pomocą specjalnej rolki w ten sposób, aby miejsce połączenia znajdowało się w odległości 10 do 12 m przed szybowcem. Zabezpiecza to szybowiec przed zaczepieniem płozą lub usterzeniem o linkę ściągarki.

Startujący szybowiec wznosząc się do góry rozwija szybko cienką linkę ściągarkową. Prawidłowe działanie ściągarki zależy w dużej mierze od dobrej regulacji automatycznego hamulca. Szybowiec bowiem wznosi się z niejednakową prędkością, a zatem z niejednakową prędkością rozwija linkę ściągarki. Gdyby na przykład w momencie zwolnienia prędkości wznoszenia się szybowca automatyczny hamulec nie zdołał natychmiast przyhamować szybko obracającego się bębna, linka ściągarki zostałaby natychmiast splątana i zerwana. Z drugiej jednak strony — zbyt silne działanie automatycznego hamulca powiększa opory przy starcie i wpływa niekorzystnie na uzyskanie maksymalnej wysokości.

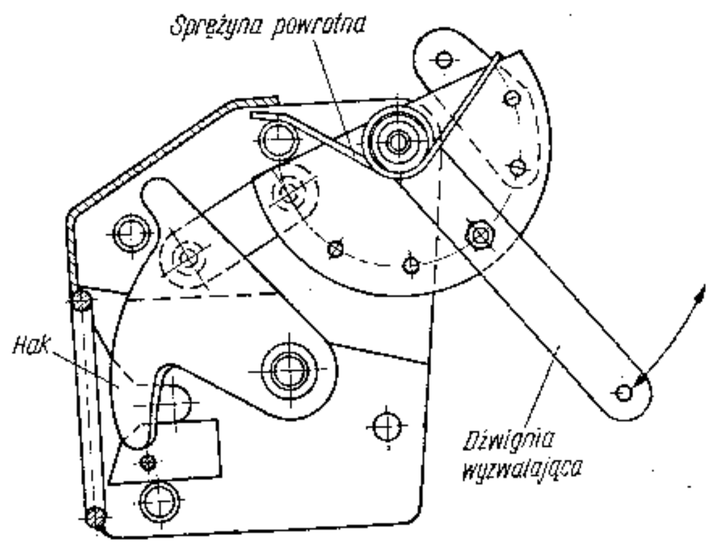
c. Zaczepy startowe na szybowcu

Do startu za wyciągarką większość szybowców wyposażona jest w dwa zaczepy startowe — zaczep przedni i zaczep dolny. Zaczep przedni używany jest do startów w czasie pierwszych lotów szkolnych oraz do holowania szybowca za samolotem, zaczep dolny natomiast wyłącznie do startów za wyciągarką i to w dalszym etapie szkolenia i treningu (ostatnio jednak szkolenie podstawowe przeprowadza się również za dolnym zaczepem). Za pomocą dolnego zaczepu szybowiec uzyskuje większą wysokość oraz jest bardziej stateczny w czasie wznoszenia.

Niekiedy zamiast dolnego zaczepu używa się zaczepu bocznego, który składa się właściwie z dwóch odrębnych zaczepów umieszczonych na ściankach kabiny w pobliżu środka ciężkości szybowca. Zaczep taki wymaga oczywiście rozdwojonej końcówki linki wyciągarkowej. W porównaniu z zaczepem dolnym ma tę zaletę, że szybowiec startujący za bocznym zaczepem ma znacznie mniejszą tendencję do gwałtownego zadzierania przodu kadłuba do góry w czasie pierwszej fazy startu. Wadą zaczepu bocznego jest bardziej skomplikowany jego napęd, który musi zapewnić jednoczesne zwolnienie obu końcówek linki. Z tego też względu jest on rzadko stosowany (w polskim szybownictwie nie stosuje się go w ogóle).



Rys. 5—16. Szybowcowy zaczep startowy



Rys. 5—17. Zaczep samolotowy do holu szybowców

Od zaczepu startowego wymaga się, aby był niezawodny w działaniu i nie ulegał zacięciom ani uszkodzeniom przy dużym obciążeniu. Konstrukcja i działanie najczęściej stosowanego zaczepu szybowcowego została pokazana na rysunku 5—16. Blokowanie tego zaczepu w położeniu „zamkniętym" następuje wskutek przejścia przez „martwy punkt" przegubu łączącego segment z łącznikiem. Otwieranie natomiast haka zaczepu następuje po przerzuceniu przegubu przez martwy punkt" za pomocą dźwigni wyzwalającej i pociągnięcia haka przez łącznik. Hak zaczepu raz otwarty utrzymuje sprężyna w takim położeniu aż do ponownego zamknięcia go z zewnątrz (na ziemi).

Jednomiejscowe szybowce szkolne mają ponadto przedni zaczep wyposażony w specjalny pierścień wyzwalający, na który naciska linka wyciągarkowa, jeżeli jej kąt z osią podłużną szybowca przekroczy podczas startu 70°. Pierścień ten jest połączony z mechanizmem zaczepu w ten sposób, że jego naciśnięcie powoduje samoczynne otwarcie haka zaczepu. Urządzenie to ma za zadanie odczepić szybowiec automatycznie w przypadku gdyby uczeń zapomniał wyczepić linkę lub zmienił niebezpiecznie kierunek startu szybowca.

3. Inne rodzaje startów

a. Start za samolotem

Już od pierwszego okresu rozwoju szybownictwa rozpowszechniło się holowanie szybowców za samolotem.

W przeciwieństwie do innych szeroko stosowanych rodzajów startu, jak liny gumowe i wyciągarki, których stosowanie jest związane z określonym miejscem, starty za samolotem (zwane również niekiedy lotami wleczonymi) są bardziej ruchome. Można je wykonywać wszędzie tam, gdzie istnieje możliwość wzlotu samolotu. A więc na normalnych lotniskach, na szybowiskach o odpowiednio dużych polach wzlotów oraz w terenie przygodnym.

Jakkolwiek start za samolotem jest znacznie droższy od startu np. za wyciągarką, to jednak ma tę zaletę jeszcze, że pozwala na wyszukanie w zespole termicznych prądów wznoszących i odczepienie się szybownika w „gwarantowanym noszeniu". Pilot szybowcowy może się bowiem odczepić po wprowadzeniu go przez samolot w sam środek obszaru wznoszenia. Hol za samolotem jest ponadto bardzo wygodnym i szybkim środkiem transportu szybowców z lotnisk i terenów przygodnych po dokonanym przelocie wyczynowym.

Przy starcie za samolotem używa się linek konopnych lub nylonowych o długości od 10 m do 60 m. Linkę zaczepia się jednym końcem do przedniego zaczepu startowego na szybowcu, a drugim do podobne-

go zaczepu umieszczonego na samolocie w pobliżu jego płozy ogonowej. Różnica pomiędzy tymi zaczepami polega na odrzuceniu pierścienia samowyczepu wraz z jego napędem oraz na przełożeniu sprężyny z osi haka na oś segmentu. W ten sposób hak zaczepu samolotowego pozostaje otwarty tylko w czasie, gdy pilot ciągnie za dźwignię otwierającą. Po zwolnieniu tej dźwigni hak zaczepu powraca zawsze do położenia zamkniętego (rys. 5—17).

Za samolotem można też holować jednocześnie dwa lub trzy szybowce, co uzależnione jest przede wszystkim od mocy silnika i prędkości wznoszenia samolotu. W ostatnich latach stosowano również próby holowania szybowców za śmigłowcami. Próby te wypadły pomyślnie z technicznego punktu widzenia, jednakże względy ekonomiczne pozostawiły ten rodzaj startu nadal w fazie doświadczalnej.

b. Motoszybowce

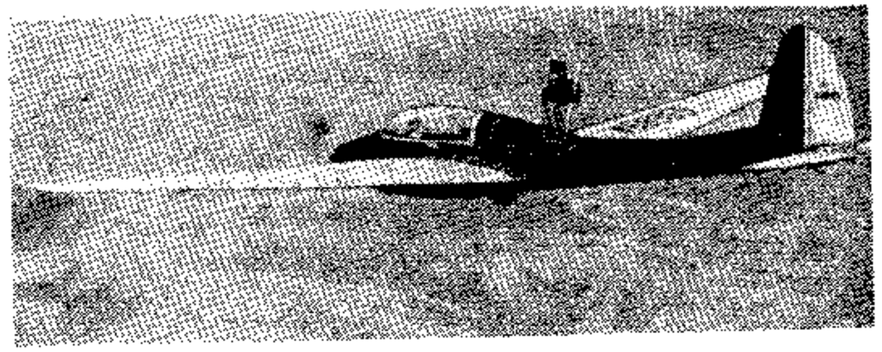
Odrębną dziedziną jest start szybowców wyposażonych we własne urządzenia pozwalające na samodzielne oderwanie się od ziemi. Zagadnienie to nie dawało od dawna spokoju konstruktorom, gdyż rozwiązanie go ogromnie rozszerzyłoby możliwości szybownictwa.

W pierwszych konstrukcjach motoszybowców stosowano konwencjonalny układ z małym silnikiem z przodu — przeważnie spalinowym, dwusuwowym, chłodzonym powietrzem, o mocy około 20 KM i ciągnącym śmigłem. Zespół śmigło-silnik umożliwił start motoszybowca, a w powietrzu po zatrzymaniu silnika należało kontynuować normalny lot szybowcowy. Jedynie na długich przeskokach między kominami można było ponownie zapuścić silnik, aby uniezależnić się od warunków atmosferycznych.

Motoszybowiec zdobył więc niezależność na starcie i w powietrzu, ale niestety stracił na własnościach lotnych szybowca. Dodatkowe opory aerodynamiczne śmigła i silnika oraz ich ciężar wpłynęły ujemnie na te własności. Dlatego dalsze rozwiązania konstruktorów usiłowały schować zarówno silnik, jak i śmigło w obrys płatowca w czasie, gdy zespół napędowy jest nieużyteczny, tzn. podczas swobodnego lotu. Bardzo przydatny do tego celu okazał się układ z silnikiem z tyłu za skrzydłem oraz pchającym śmigłem. W tym to układzie został zbudowany amerykański motoszybowiec Nelson PG-185 B „Hummingbird" (rys. 5—18).

W motoszybowcu tym został opatentowany sposób chowania w kadłubie całego zespołu napędowego, który wykonano obrotowo na ramie wystającej do góry. W ten sposób konstruktor zlikwidował zupełnie dodatkowe opory aerodynamiczne podczas swobodnego lotu motoszybowca.

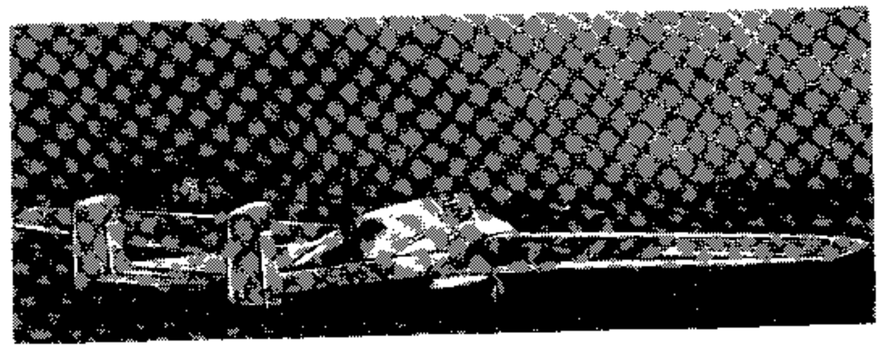
Stosunkowo szerokie zastosowanie znalazł układ motoszybowca z kadłubem dwubelkowym oraz silnikiem umieszczonym z tyłu na skrzydle. Śmigło jest tu oczywiście pchające, napędzane dwusuwowym silnikiem w układzie „bokser". Jednym z przykładów takiego rozwiązania jest motoszybowiec inż. Chylińskiego „Pegaz" przedstawiony na rysunku 5—19.



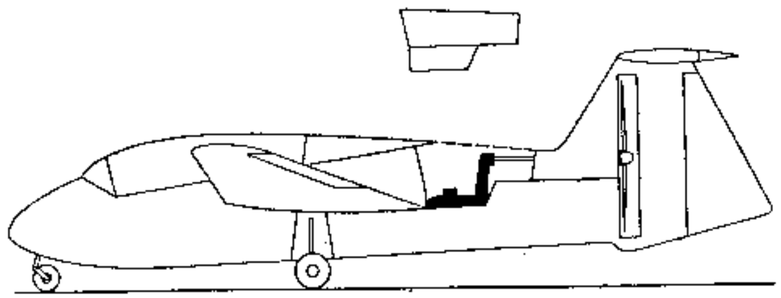
Rys. 5—18. Motoszybowiec Nelson PG-185B „Hummingbird"

Oryginalną koncepcję zabudowy zespołu napędowego zrealizował konstruktor motoszybowca RW-3 pokazanego na rysunku 5—20. Dwumiejscowy płatowiec w układzie średniopłata wolnonośnego ma zabudowany silnik Porsche o mocy 50 KM, który za pomocą długiego wału napędza śmigło umieszczone w stateczniku kierunku. Po wyłączeniu silnika śmigło ustawia się zawsze pionowo pozostając w cieniu statecznika. W ten sposób zlikwidowano do minimum opory płatowca wykorzystywanego jako szybowiec.

Wchodzący w latach 1945—1950 coraz powszechniej do lotnictwa silnik turboodrzutowy znalazł również zastosowanie w rodzinie motoszybowców typu „Fouga". Silnik zabudowano na wysięgniku nad kadłubem, przy czym usterzenie rozwiązano w układzie motylka, aby zapewnić swobodny przelot gorącego strumienia gazów. Własności lotne tych motoszybowców okazały się tak korzystne, że w celach doświadczalnych wybudowano kilka egzemplarzy z silnikami turboodrzutowymi różnych typów i wielkości.



Rys. 5—19. Motoszybowiec „Pegaz"



Rys. 5—20. Motoszybowiec RW-3 „Multoplane"

Motoszybowce „Fouga" swymi własnościami lotnymi oraz charakterem startu i lądowania przypominają zarówno latanie szybowcowe, jak też loty na samolotach o napędzie odrzutowym. Dlatego też rozwój płatowców rodziny Fouga doprowadził do pierwszego nowoczesnego samolotu szkolno-treningowego o napędzie odrzutowym Fouga „Magister".

Dużo prostszym silnikiem odrzutowym o wyraźnie mniejszym ciężarze jest silnik pulsacyjny. Mógłby się on z powodzeniem nadawać dla lekkich płatowców, ale w obecnej fazie rozwojowej daje zbyt mały ciąg przy dużym stosunkowo zużyciu paliwa. Zastosowano go parokrotnie na szybowcach (m. in. na szybowcu SZD-9 bis „Bocian"), uzyskując w ten sposób zmniejszenie opadania oraz zdobywając większą operatywność w powietrzu. Niemniej jednak w dotychczasowym stanie trzeba ten rodzaj lotu zaliczyć jeszcze do eksperymentów.

Rys. 5—21. Motoszybowiec Fouga „Cyclone"

Rys. 5—22. Bocian-Puls

Istnieje ponadto możliwość startu szybowca za pomocą rakiet startowych. Duży jednak koszt takich urządzeń pozwala na razie wątpić w szybkie jego rozpowszechnienie. W wykonanych dotychczas próbach za pomocą czterech małych rakiet startowych uzyskiwano wysokości nie przekraczające 400 m. Jest to ciągle jeszcze zbyt mało dla swobodnego nawiązania kontaktu z termiką oraz kontynuowania długotrwałego lotu.

Inż. *Andrzej Abłamowicz*

Rozdział szósty

Meteorologia „szybowcowa"

Meteorologia jest nauką zajmującą się badaniem zjawisk i procesów fizycznych zachodzących w atmosferze. Jest to nauka bardzo obszerna i korzystają z niej nie tylko lotnicy. Ma ona ogromne znaczenie dla komunikacji w ogóle, dla budownictwa, gospodarki wodnej, a szczególnie dla rolnictwa.

Nie można w krótkim opracowaniu ująć całości tego obszernego i bardzo ciekawego tematu, dlatego też ograniczymy się do rozważenia jedynie najważniejszych spraw w zakresie umożliwiającym zrozumienie zagadnień bezpośrednio związanych z szybownictwem. Tym Czytelnikom, którzy zainteresują się meteorologią i zechcą pogłębić swoje wiadomości, radzę przeczytać „Meteorologię dla wszystkich" — Czesława Szczecińskiego, albo trudną już dziś do zdobycia „Meteorologię dla szybowników" — Władysława Parczewskiego.

To co Czytelnik znajdzie w niniejszym rozdziale, będzie stanowiło zbiór podstawowych wiadomości uzupełnionych spostrzeżeniami pilota. Z pewnością zrobiłby to lepiej zawodowy meteorolog, będący równocześnie szybowcowym pilotem wyczynowym wysokiej klasy, niestety te dwie cechy — jak dotąd — nie znalazły sobie odpowiedniego obiektu, a szkoda!

Aby szybowiec mógł latać wyżej i dalej niż mu na to pozwala jego lot ślizgowy, musi napotkać prądy wznoszące, które są jak gdyby jego silnikiem. Czym są prądy wznoszące, jakie są ich odmiany, kiedy występują i jakie są możliwości ich wykorzystania — tego między innymi uczy nas meteorologia. Bez znajomości meteorologii nie można marzyć o sukcesach w szybownictwie. Ba, nawet uzyskanie przeciętnego poziomu pilota wyczynowego nie jest możliwe bez znajomości czynników kształtujących pogodę i praw rządzących jej zmianami.

1. Atmosfera

Zjawiska i procesy fizyczne, którymi zajmuje się meteorologia, zachodzą w atmosferze. Atmosfera jest to warstwa gazów otaczająca kulę ziemską, przy czym zwykliśmy ją dzielić na następujące części: troposferę — sięgającą do wysokości około 11 000 m, stratosferę sięgającą do około 80 000 m, termosferę (zwaną również jonosferą) sięgającą do około 800 000 m i egzosferę występującą powyżej 800 km. Te części atmosfery nie są od siebie wyraźnie oddzielone, a ich wysokość zależy od miejsca nad kulą ziemską i od pory roku. Dla przykładu: nad równikiem troposfera sięga do wysokości około 16 000 m, zaś nad biegunami tylko do około 8000 m (patrz również rysunek 1—1 oraz tekst na str. 11).

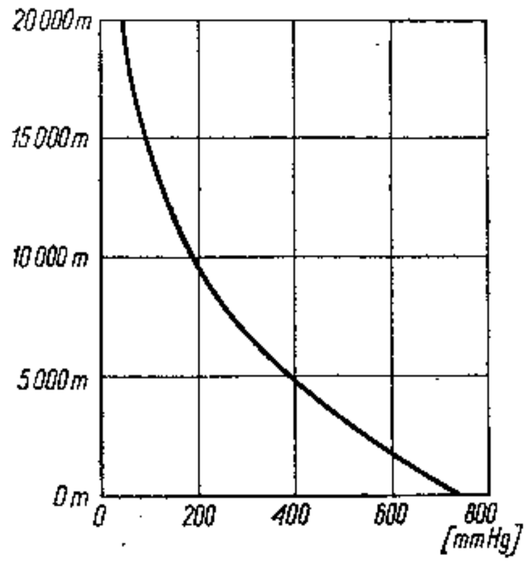
W naszych dalszych rozważaniach będą nas interesowały przede wszystkim fizyczne własności troposfery, a to: jej temperatura, ciśnienie i wilgotność powietrza. Czynniki te wpływają w zasadniczy sposób na ruch powietrza i na tworzenie się chmur. Dla szybownictwa ruch powietrza ma wielkie znaczenie nie tylko jako wiatr, ale przede wszystkim jako prądy pionowe. Zachmurzenie pozwala pilotowi naocznie ocenić, czy i z jakimi prądami pionowymi się spotka. Zanim do tego dojdziemy omówimy pokrótce wymienione czynniki meteorologiczne.

a. Temperatura

Temperatura powietrza w troposferze stopniowo maleje do około —56°C (średnio około 0,6°C na każde 100 m wysokości). Na większych wysokościach utrzymuje stałą wielkość, aby następnie po przejściowym wzroście i spadku nadal wzrastać. Wykres temperatury z wysokością przedstawia rysunek 1—1, zamieszczony w rozdziale pierwszym. Rysunek ten przedstawia jedynie orientacyjny rozkład temperatury, ponieważ jej wielkość ulega zmianom wskutek dopływu energii cieplnej do atmosfery dzięki promieniowaniu słonecznemu i wskutek jej odpływu poprzez wypromieniowanie ziemi.

b. Ciśnienie

Ciśnienie atmosferyczne maleje z wysokością. Jego przebieg ilustruje rysunek 6—1. Dla nas większe jednak znaczenie ma poziomy rozkład ciśnienia, który powoduje powstawanie i zanikanie wyżów i niżów barometrycznych, tj. „układów barometrycznych kształtujących pogodę".



Rys. 6—1. Zmiana ciśnienia atmosferycznego zależnie od wysokości

c. Wilgotność

Wilgotność powietrza zależy od ilości pary wodnej zawartej w jednostce objętości powietrza. Zwykle posługujemy się dwoma określeniami:

— wilgotność bezwzględna, tj. ciśnienie pary wodnej przy danej temperaturze powietrza (podane w jednostkach ciśnienia) lub ilość pary na jednostkę objętości powietrza (G/m³);

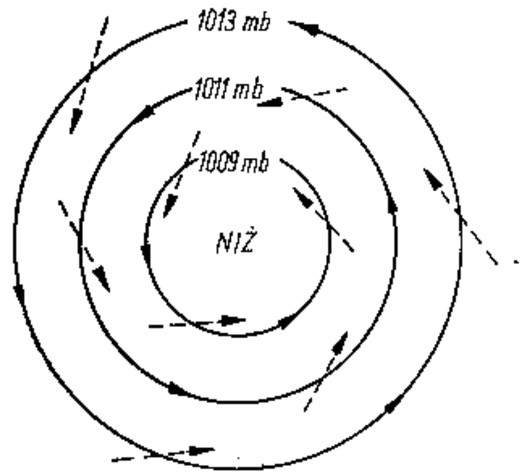
— wilgotność względna, tj. stosunek ciśnienia pary wodnej zawartej w powietrzu przy danej temperaturze do tego ciśnienia, które wywierałaby ilość pary wodnej nasycająca powietrze przy tej samej temperaturze.

2. Ruch powietrza

Skoro znamy już fizyczne własności atmosfery ziemskiej (powietrza), zastanówmy się nad tym, co powoduje jego ruch. Otóż przyczyną powstawania poziomego ruchu powietrza jest nierównomierny rozkład ciśnień (w poziomie). Ten nierównomierny rozkład ciśnień powstaje w wyniku nierównomiernego nagrzewania się powierzchni ziemi (powietrze nagrzane jako lżejsze — wznosi się, powietrze zimne — jako cięższe — opada). Oczywiście inaczej nagrzewa się ziemia w okolicach równika, a inaczej w pobliżu biegunów. Również nie jednakowo nagrzewa się ląd i woda. Gdy więc powstanie różnica

temperatur, a więc i różnica ciśnień (w poziomie), cząstki powietrza będą dążyć do przemieszczania się od obszaru podwyższonego ciśnienia ku obszarom niższego ciśnienia.

Niestety zagadnienie to nie przedstawia się aż tak prosto, jak mogłoby się na pierwszy rzut oka wydawać. Ponieważ powietrze porusza się względem obracającej się ziemi, więc obrót ziemi wpływa na ruch powietrza pod postacią siły odchylającej (siły Coriolisa),



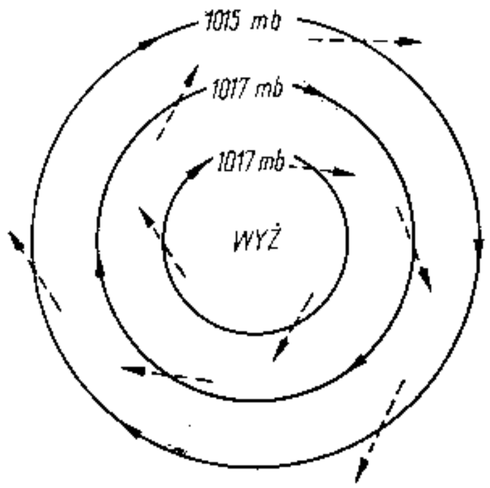
Rys. 6—2. Kierunki wiatrów w niżu barometrycznym

——→ wiatr górny, – – –→ wiatr dolny

przy czym odchylenie od pierwotnego kierunku ruchu następuje w prawo na półkuli północnej, w lewo zaś na półkuli południowej.

To jednak jeszcze nie wszystko. Tarcie powietrza o powierzchnię ziemi powoduje dalsze zmiany kierunku ruchu powietrza. W ostatecznym wyniku wiatry w rejonach obniżonego ciśnienia, tzw. niżach, wieją przeciwnie do ruchu wskazówek zegara z odchyleniem w lewo, tj. ku środkowi niżu. W rejonach podwyższonego ciśnienia, tzw. wyżach, wiatry wieją zgodnie z ruchem wskazówek zegara z odchyleniem również w lewo, tj. na zewnątrz układu (rys. 6—2 i 6—3) Na półkuli południowej kierunki wiatrów w niżu i wyżu barometrycznym są odwrotne, lecz odchylenia nadal pozostają ku środkowi niżu i od środka wyżu.

Teraz, gdy już wiemy co powoduje ruch powietrza i jak on powstaje, rozpatrzmy to zagadnienie dla całej kuli ziemskiej, biorąc pod uwagę, że strefa równika jest pod względem nagrzewania silnie uprzywilejowana, natomiast okolice biegunów mają stały niedobór ciepła. Naturalną konsekwencją tego byłoby stałe unoszenie się rozgrzanego powietrza nad równikiem i stałe opadanie powietrza nad



Rys. 6—3. Kierunki wiatrów w wyżu barometrycznym

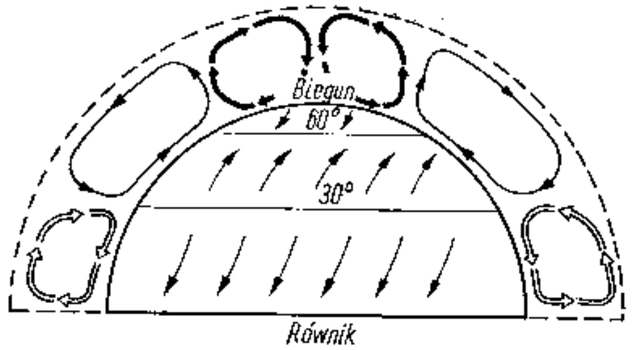
——› wiatr górny, – – –› wiatr dolny

biegunami. Oczywiście uniesione nad równikiem ciepłe powietrze przemieszczałoby się górą ku biegunom, aby po ochłodzeniu i opadnięciu w rejonie biegunów wracać na małej wysokości ku równikowi stopniowo się ogrzewając.

Niestety ten obraz krążenia powietrza nad powierzchnią ziemi z dwóch zasadniczych przyczyn ulega poważnym komplikacjom. Pierwszą z tych przyczyn jest obrót ziemi, drugą niejednorodność jej powierzchni. Rozpatrzmy je kolejno.

Unoszące się nad równikiem ciepłe powietrze skierowuje się na większych wysokościach ku północy. Wskutek odchylającego wpływu obrotu ziemi (na naszej półkuli w prawo) kierunek tego powietrza stopniowo się zmienia na zachodni (tj. z zachodu — a więc ku zachodowi). Całkowita zmiana kierunku ruchu powietrza z południowego na zachodni następuje w okolicy 30 równoleżnika. Warto tu zwrócić uwagę, że obwód ziemi wzdłuż 30 równoleżnika jest o przeszło 10% mniejszy niż wokół równika, co powoduje w omawianym przypadku skupienie powietrza, podwyższenie ciśnienia, prąd opadający, a w wyniku — powrót powietrza na małych wysokościach ku równikowi. Powracające powietrze znów podlega odchyleniu w prawo, więc jego początkowy północny kierunek (z północy ku południowi) ulega zmianie na wschodni (ze wschodu na zachód). I tak zamyka się pierwszy ze stałych obwodów krążącego powietrza (patrz rys. 6—4).

Drugi podobny obwód powstaje pomiędzy pasem wysokiego ciśnienia w okolicy 30 rówoleżnika oraz pasem niskiego ciśnienia w okolicy 60 równoleżnika. W oparciu o podane wyżej zasady rozkład zasadniczych kierunków wiatrów przedstawia się tu następująco: dołem wieją wiatry o przeważających kierunkach południowo-zachod-



Rys. 6—4. Schemat ogólnej cyrkulacji powietrza na półkuli północnej

nich (z południowego zachodu), górą natomiast przeważają kierunki północno-wschodnie.

I wreszcie trzecia strefa — w pobliżu bieguna — charakteryzuje się podwyższonym ciśnieniem, a więc prądami opadającymi nad biegunem i wstępującymi (wznoszącymi) w obszarze niższego ciśnienia w okolicach 60 równoleżnika.

W wyniku ogólnej cyrkulacji w atmosferze masy powietrza pozostają przez dłuższy czas w rejonach podwyższonego ciśnienia nad jednym i tym samym obszarem oraz nabierają jednakowych cech fizycznych. W rezultacie, zależnie od geograficznego położenia tych obszarów, następuje podział mas powietrza na: masy powietrza zwrotnikowego zalegające obszar pomiędzy równikiem i 30 równoleżnikiem, masy powietrza arktycznego zalegające nad biegunami oraz masy powietrza polarnego zalegające obszar pośredni.

Pozostaje jeszcze do omówienia wpływ niejednorodności powierzchni ziemi, który pozwala masom powietrza zalegającym te obszary geograficzne na przyjmowanie określonych cech fizycznych różniących poszczególne masy między sobą.

Niejednorodność powierzchni ziemi polega na podziale na kontynenty i oceany, których powierzchnie niejednakowo się nagrzewają. Każda więc z wymienionych wyżej mas powietrza może dodatkowo zostać nazwana morską lub kontynentalną, zależnie od tego nad jakim podłożem zalega.

I tak dochodzimy do podziału mas powietrza w naszym układzie europejskim na (patrz również rys. 6—15 na str. 278):

— powietrze arktyczno-morskie *(PAm)*, kształtujące się między Grenlandią i Szpicbergen;

— powietrze arktyczno-kontynentalne *(PAk)*, kształtujące się na północnych obszarach Europy w okolicach Morza Barentsa;

— powietrze polarno-morskie *(PPm)*, kształtujące się nad Północnym Atlantykiem;

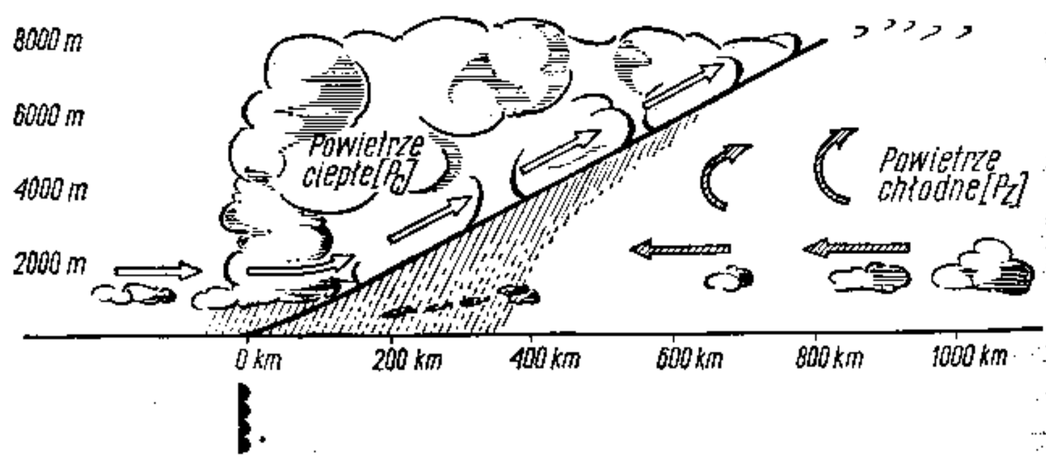
— powietrze polarno-kontynentalne *(PPk)*, kształtujące się nad obszarami Syberii;
— powietrze zwrotnikowo-morskie *(PZm)*, kształtujące się w rejonie Azorów;
— powietrze zwrotnikowo-kontynentalne *(PZk)*, kształtujące się nad obszarami Bliskiego Wschodu.

3. Fronty atmosferyczne

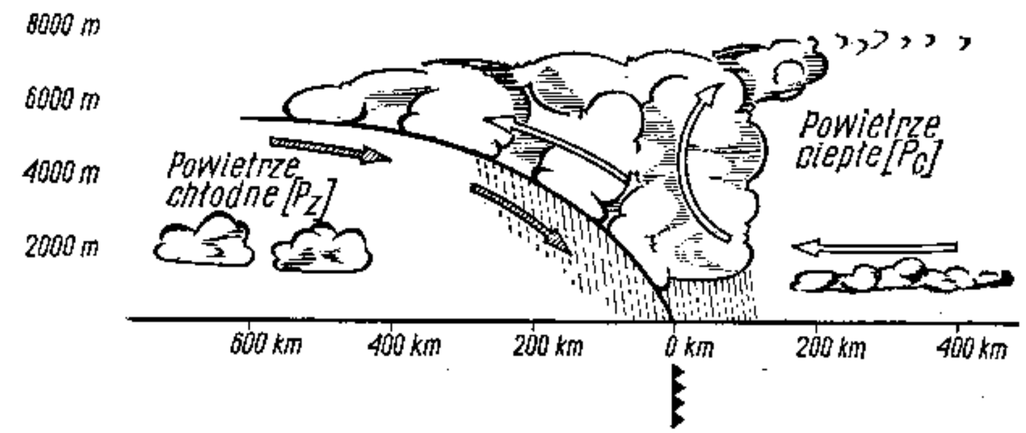
Pozostaje jeszcze do omówienia sprawa bardzo ważna w meteorologii. Chodzi mianowicie o istnienie warstw powstających na granicach dwóch różnych mas powietrza. Warstwę taką nazywamy powierzchnią frontową lub w skrócie frontem. Zetknięcie się mas powietrza o różnych własnościach fizycznych powoduje wskutek wzajemnego odziaływania powstawanie chmur, a raczej układów chmur charakterystycznych dla poszczególnych rodzajów frontów.

Fronty mogą być rozmaite. Ich charakter i nazwa zależą od tego, które z mas powietrza je kształtują, a także od tego czy napływające powietrze jest cieplejsze, czy też chłodniejsze od powietrza zalegającego w miejscu nadejścia frontu. Tak więc w oparciu o geograficzną klasyfikację mas powietrza front powstały na granicy powietrza arktycznego i polarnego nosi nazwę **frontu arktycznego**, zaś front powstały na granicy powietrza polarnego i zwrotnikowego nosi nazwę **frontu polarnego**.

Jeżeli front przemieszcza się od powietrza cieplejszego ku chłodniejszemu, to nosi on wówczas nazwę **frontu ciepłego**. Inaczej można powiedzieć, że jest to taki front, w którym powietrze ciepłe



Rys. 6—5. Schematyczny przekrój frontu ciepłego



Rys. 6—6. Schematyczny przekrój frontu chłodnego opóźnionego

napływa w kierunku powietrza chłodniejszego. Ciepłe powietrze odznaczające się przy tym mniejszą gęstością wślizguje się nad powietrze chłodne tworząc powierzchnię frontu. To nachylenie jest bardzo małe, gdyż wyraża się wielkością 0,5 do 1%. Wskutek tak małego nachylenia pionowa składowa prędkości wślizgującego powietrza jest znikoma, co decyduje o warstwowym charakterze chmur towarzyszących frontowi ciepłemu. Oczywiście tak małe pionowe prędkości powietrza oraz towarzyszące im chmury warstwowe są niesprzyjające dla szybownictwa.

Zamieszczony na stronie 260 rysunek 6—5 przedstawia schematyczny przekrój frontu ciepłego.

Zupełnie inaczej przedstawia się sytuacja, gdy napływa chłodne powietrze, tzn. gdy front przemieszcza się w kierunku od chłodnego powietrza ku powietrzu cieplejszemu. Chłodne powietrze jako gęstsze wciska się pod powietrze cieplejsze, a podczas dość szybkiego przemieszczania się (wskutek zahamowania w wyniku tarcia o powierzchnię ziemi) powierzchnia frontu uwypukla się.

Jeśli przemieszczanie się frontu chłodnego nie następuje zbyt szybko, to wypierane powietrze ciepłe wznosi się do góry i wślizguje po powierzchni nasuwającego się powietrza chłodnego. Ten typ frontu nazywa się **frontem chłodnym opóźnionym** (rys. 6—6).

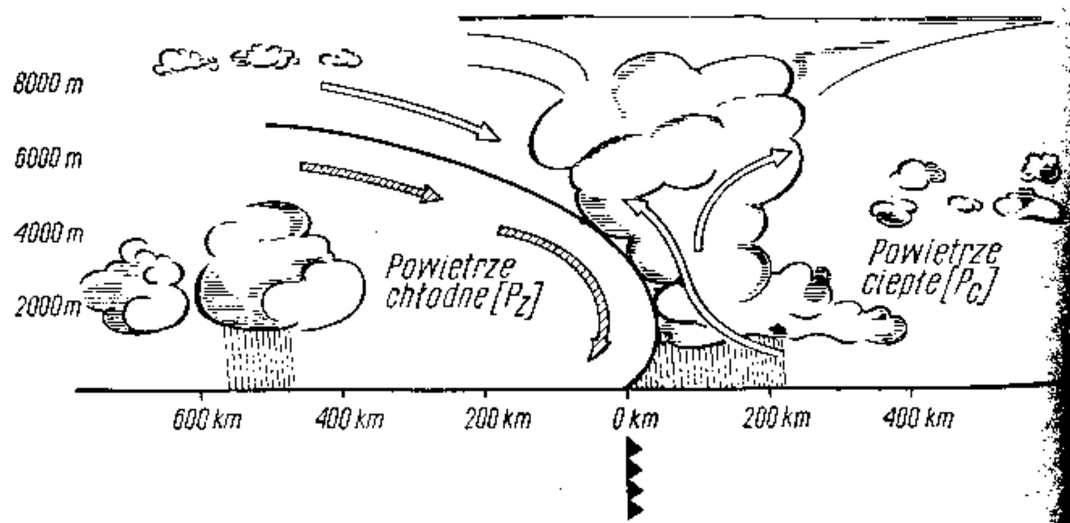
Inaczej przedstawia się sytuacja, gdy przemieszczanie się powietrza chłodnego jest szybsze. Powierzchnia frontu wówczas uwypukla się jeszcze bardziej, wypieranie powietrza ciepłego w górę jest energiczniejsze, ale jednocześnie powietrze ciepłe zalegające nad chłodnym ześlizguje się z jego powierzchni. Tam gdzie spotyka się powietrze wznoszące z powietrzem opadającym, powstaje inwersja (warstwa w której temperatura powietrza z wysokością rośnie — o czym będzie mowa dalej), która zmienia obraz przekroju tego frontu. Taki

front nazywa się frontem chłodnym przyspieszonym (rys. 6—7).

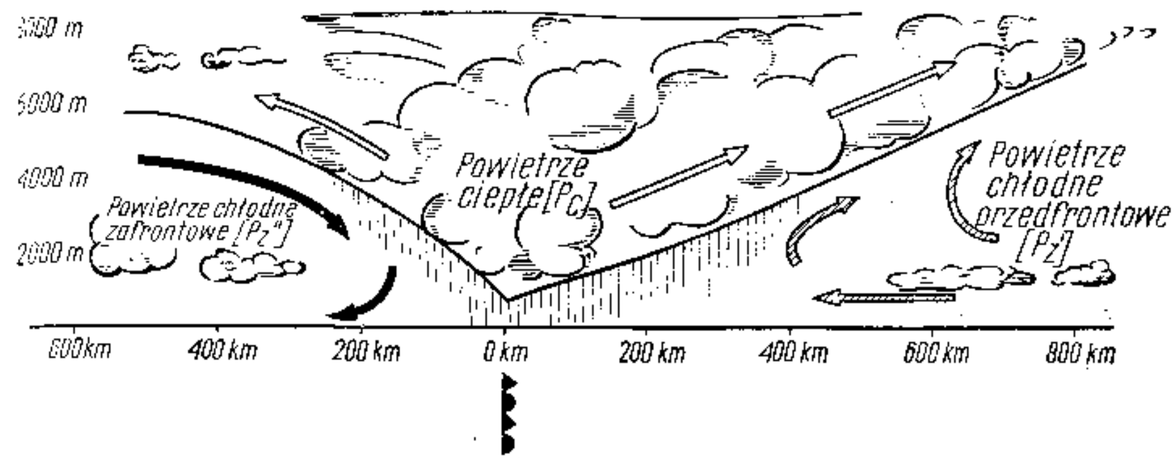
Po zapoznaniu się z frontem ciepłym i chłodnym będzie już łatwo zrozumieć trudniejszą — bo bardziej złożoną — formę frontu zokludowanego lub w skrócie okluzji. Wyobraźmy sobie, że front chłodny posuwa się szybko naprzód (wieloletnie obserwacje wykazują, że średnia prędkość przemieszczania się frontów chłodnych wynosi około 50 km/h, frontów ciepłych natomiast tylko 25 km/h), tak że „dogania" znajdujący się przed nim front ciepły. Gdy to nastąpi, sytuacja przedstawi się następująco: z przodu znajduje się powietrze chłodne „ustępujące" przed frontem ciepłym i z tyłu znajduje się powietrze chłodne „doganiającego" frontu. Ciepłe powietrze znajduje się jedynie w wycinku pomiędzy tymi dwoma frontami. To właśnie jest front zokludowany, czyli okluzja (rys. 6—8).

Na tym jednak nie koniec. Okluzja może przedstawiać się rozmaicie, zależnie od tego czy powietrze przedfrontowe (chłodne powietrze przed frontem ciepłym) i powietrze zafrontowe (chłodne powietrze za frontem chłodnym) mają temperatury równe, czy różne. Jeśli te temperatury są równe, to okluzja ma charakter neutralny. Jeżeli chłodne powietrze przedfrontowe ma temperaturę niższą niż chłodne powietrze zafrontowe, to okluzja ma charakter frontu ciepłego. Nie trudno się teraz zorientować, że gdy jest odwrotnie, tzn. gdy chłodne powietrze zafrontowe ma temperaturę niższą niż chłodne powietrze przedfrontowe, to okluzja ma charakter frontu chłodnego.

Dokładniejsze opisywanie procesów zachodzących w poszczególnych rodzajach okluzji byłoby niecelowe, gdyż w partiach stykających się poszczególnych mas powietrza powtarzają się w zasadzie zjawiska



Rys. 6—7. Schematyczny przekrój frontu chłodnego przyspieszonego



Rys. 6—8. Schematyczny przekrój frotu zokludowanego

opisane przy omawianiu frontu ciepłego i chłodnego. W rzeczywistości charakter frontu zokludowanego jest bardziej skomplikowany i może przybrać postać bardziej złożoną.

4. Woda w atmosferze

Wiemy doskonale, że wraz ze zmianami pogody w pierwszym rzędzie — zauważalnymi nawet dla laika — zmienia się zachmurzenie. Obserwując przekroje frontów atmosferycznych widzieliśmy również, że występowały tam różne rodzaje i układy chmur. Chmury występują nie tylko na powierzchniach frontowych, ale i w poszczególnych masach powietrza. Jednak aby zrozumieć kiedy, jak, dlaczego i jakie chmury mogą się tworzyć, musimy zapoznać się z niezwykle ważnym zagadnieniem — zagadnieniem wody w atmosferze.

Woda występuje w atmosferze pod trzema postaciami: jako gaz (para wodna), jako ciecz i jako ciało stałe (śnieg, lód). Ustawicznie przechodzi ona z jednego stanu skupienia w drugi, przy czym decydującą rolę odgrywa tu energia cieplna słońca. To pod jego wpływem paruje woda ze zbiorników, jakimi są oceany, morza, jeziora i rzeki. Również pod wpływem słońca woda paruje z powierzchni gruntu i z roślinności. W ten sposób woda przechodzi w stan gazowy, aby po ochłodzeniu skroplić się — tj. przejść w stan ciekły (chmury, deszcz), a przy dalszym ochłodzeniu zamarznąć — tj. przejść w stan stały. Możliwe jest również przejście wody ze stanu gazowego wprost w stan stały. Zjawisko takie nazywa się sublimacją.

Z kolei zjawiska wspomniane wyżej mogą zachodzić w odwrotnej kolejności, tzn. lód topnieje, woda paruje i tak w nieskończoność.

Zjawiska parowania, skraplania, krzepnięcia i topnienia znane są z podstawowej fizyki, jednak warto na chwilę wrócić do nich i przypomnieć sobie niektóre z podstawowych wiadomości. Chodzi mianowicie o warunki, w których następuje skraplanie, oraz o zagadnienie wymiany ciepła podczas zmian stanów skupienia. Obydwa te zagadnienia mają dla naszych meteorologicznych rozważań pierwszorzędne znaczenie.

A więc pierwsze zagadnienie — skraplanie się pary wodnej.

W jednostce objętości powietrza może pomieścić się tylko pewna ilość pary wodnej. Jeżeli będziemy usiłowali dostarczyć jej jeszcze więcej, to nadmiar wydzieli się w postaci kropelek wody, a więc nastąpi skroplenie. Zauważymy jednak, że ilość pary wodnej, która może pomieścić się w jednostce objętości powietrza nie jest zawsze taka sama i zależy od temperatury. Im niższa jest temperatura powietrza, tym mniej pary wodnej mieści się w jednostce objętości. Jeśli więc zaczniemy pewną ilość powietrza oziębiać, to w miarę spadku temperatury okaże się, że dojdziemy do stanu, gdy istniejąca aktualnie ilość pary wodnej okaże się maksymalnie możliwa do pomieszczenia w tym powietrzu. Mówimy wówczas, że osiągnięty został stan nasycenia i że wilgotność względna osiągnęła 100%. Dalsze ochładzanie spowoduje skroplenie się nadmiaru pary wodnej, a więc jej kondensację. Temperaturę zaś, przy której to nastąpiło nazywamy temperaturą punktu rosy.

W praktyce zagadnienie to wygląda następująco. Powietrze przy ziemi ogrzewa się, powiększa swoją objętość, a więc zmniejsza gęstość i jako lżejsze zaczyna się unosić. W miarę wznoszenia się powietrze rozpręża się i ochładza. Gdy zostanie osiągnięta temperatura punktu rosy, rozpoczyna się kondensacja, tzn. wydzielają się kropelki wody... powstaje chmura.

Aby być zupełnie ścisłym, trzeba jeszcze dodać, że dla rozpoczęcia procesu kondensacji muszą istnieć tzw. jądra kondensacji, tj. zawiesiny gazowe, płynne lub stałe, na których osadzają się powstające kropelki wody. Tych jąder kondensacji jest zwykle w powietrzu pod dostatkiem, tak że kondensacja następuje z reguły zaraz po osiągnięciu temperatury punktu rosy.

Warto dodatkowo wspomnieć, że ruch powietrza w górę może być spowodowany nie tylko poprzez ogrzanie się powietrza od powierzchni ziemi (wznoszenie konwekcyjne), ale również wskutek wznoszenia dynamicznego, a więc np. przy wślizgiwaniu się powietrza nad przeszkodę, jak to ma miejsce w przypadku napotkania na zbocza górskie.

Wróćmy teraz na krótko do drugiego ze wspomnianych zagadnień towarzyszących zmianom stanu skupienia wody — do zagadnienia wymiany ciepła. Chodzi o to abyśmy pamiętali, że podczas

parowania wody trzeba jej dostarczyć pewną ilość ciepła — tzw. utajonego ciepła parowania. Ta ilość ciepła zostaje zwrócona, gdy zjawisko przebiega odwrotnie, tj. zostaje oddana podczas kondensacji — skraplania. W meteorologii ma to ogromne znaczenie, gdyż wyjaśnia powstawanie chmur o rozwoju pionowym. Rozpoczęty proces kondensacji w pewnych warunkach nie tylko nie ustaje, ale nawet przybiera na sile. Czynnikiem wpływającym na rozwój chmury w górę jest właśnie ta dodatkowa porcja energii cieplnej uwolniona pod postacią oddanego w czasie kondensacji, a pobranego uprzednio utajonego ciepła parowania.

5. Chmury

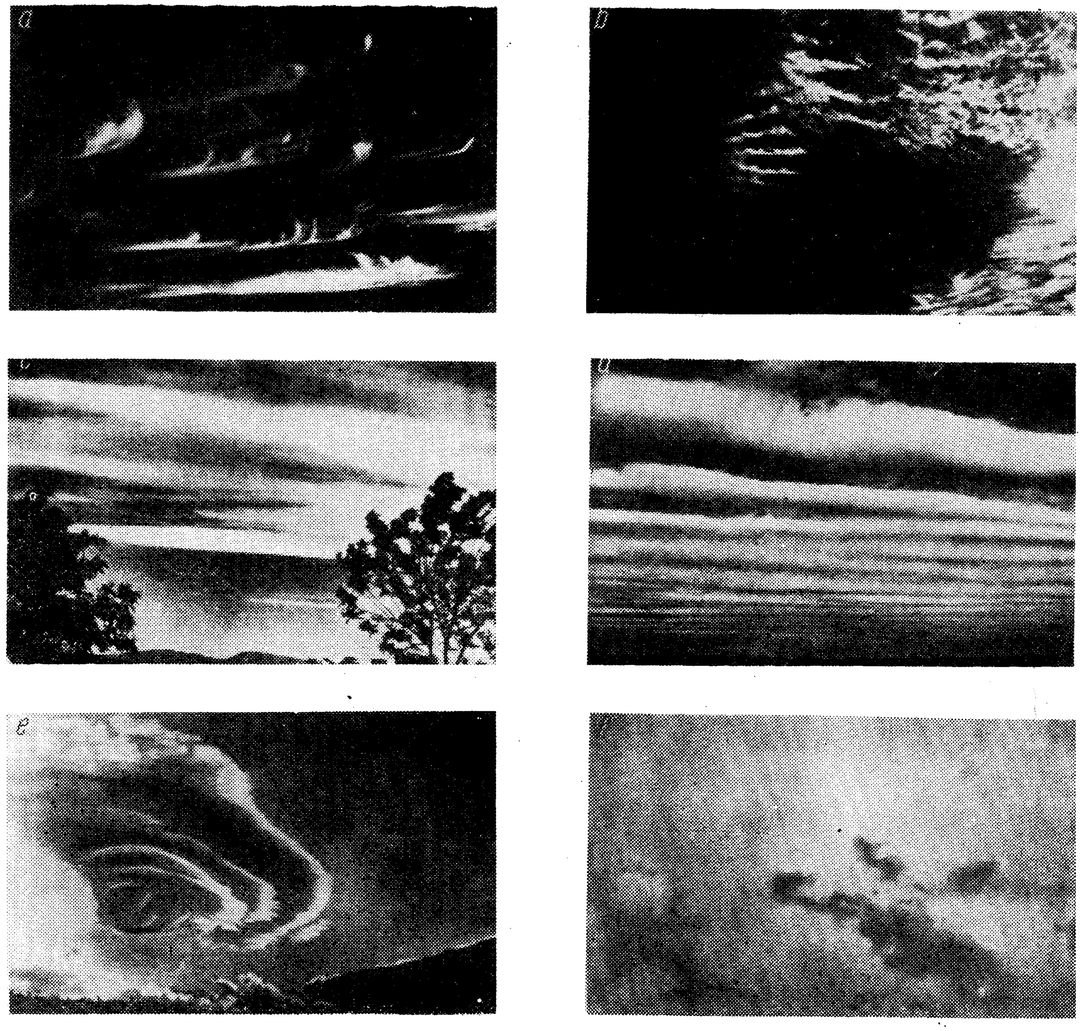
Chmury będące jednym z widzialnych efektów kondensacji lub sublimacji pary wodnej w atmosferze składają się z maleńkich kropelek wody w stanie ciekłym lub stałym, które w sprzyjających warunkach mogą się powiększać i po przekroczeniu pewnej wielkości zaczynają opadać na powierzchnię ziemi: albo w postaci ciekłej — mżawki i deszczu, albo w postaci stałej — śniegu, krupy i gradu.

Rodzaje chmur mogą być rozmaite, tak jak rozmaite są procesy ich powstawania oraz okoliczności, w których powstają. Wiemy już na przykład, że jedna chmura może powstać w wyniku kondensacji pary wodnej, druga — w wyniku sublimacji. Będą to oczywiście różne od siebie chmury. Ale rodzaj chmury zależy także od tego czy powstaje ona w wyniku unoszenia się rozgrzanego powietrza, czy też w wyniku ochładzania powietrza napływającego na przykład nad chłodne podłoże, albo też wskutek zmiany ilości pary wodnej zawartej w powietrzu.

Zanim przejdziemy do kolejnego omówienia chmur, zapoznajmy się z ich dwoma stosowanymi podziałami. Pierwszy podział uwzględnia rodzaj chmury. Mamy więc chmury pierzaste, warstwowe i kłębiaste. Drugi podział zależy od wysokości, na której chmury się znajdują. A zatem mogą być chmury: wysokie, średnie, niskie oraz chmury o rozwoju pionowym.

Chmura pierzasta — Cirrus (Ci). Jest to chmura wysoka. Jej podstawa zaczyna się nie niżej niż na wysokości 6000 m. Składa się z igiełek lodu. Chmura ta ma budowę włóknistą. Oglądana z ziemi — jest biała, przy czym wyglądem przypomina tzw. „włosy anielskie". Kształtem przypominać może pojedyńcze maźnięcia pędzlem, pióra, kreski lub haczyki. Jest na ogół pierwszym zwiastunem pogarszania się pogody. Nie daje żadnego opadu.

Chmura kłębiasto-pierzasta — Cirrocumulus (Cc). Jest to chmura wysoka, która od opisanej chmury Cirrus różni się tym, że przybiera

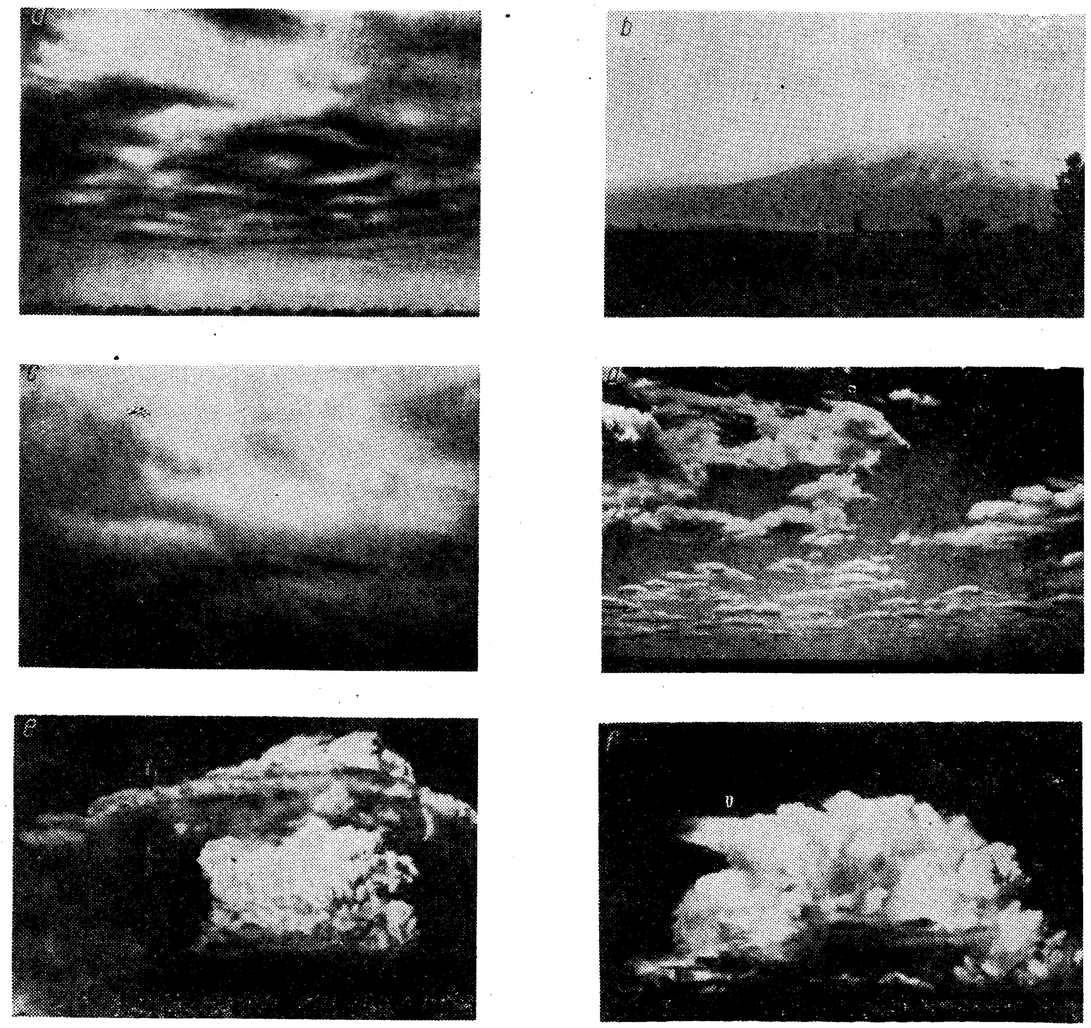


Rys. 6—9. Skrócony atlas chmur — chmury wysokie i średnie

a — chmura pierzasta *Cirrus (Ci)*, *b* — chmura kłębiasto-pierzasta *Cirrocumulus (Cc)*. *c* — chmura warstwowo-pierzasta *Cirrostratus (Cs)*, *d* — chmura kłębiasta średnia *Altocumulus (Ac)*, *e* — chmura średnia soczewkowata *Altocumulus lenticularis (Ac lent.)*, *f* — chmura średnia warstwowa *Altostratus (As)*

kształt ławicy składającej się z pączków lub płatków ułożonych w drobne fale. Na ogół występuje z innymi chmurami pierzastymi. Laicy często nazywają ją „barankami". Chmura ta nie daje żadnego opadu.

Chmura warstwowo-pierzasta — Cirrostratus (Cs). Należy ona do tej samej rodziny chmur wysokich, a różni się od wyżej opisanych warstwową budową. Zalega ona znaczną część nieboskłonu, zasłaniając mniej lub bardziej grubym woalem. Chmura ta nie przesłania całkowicie słońca czy księżyca, lecz powoduje załamywanie się promieni świetlnych dająca w efekcie tzw. „hallo". Pojawienie się tego rodzaju chmur, zwłaszcza jeśli grubieją one ku zachodniemu krań-



Rys. 6—10. Skrócony atlas chmur — chmury niskie i chmury o pionowym rozwoju

a — chmura kłębiasto-warstwowa *Stratocumulus (Sc)*, *b* — chmura niska warstwowa *Stratus (St)*, *c* — chmura warstwowa deszczowa *Nimbostratus (Ns)*, *d* — chmura kłębiasta *Cumulus humilis (Cu hum.)*, *e* — chmura kłębiasta *Cumulus congestus (Cu cong.)*, *f* — chmura kłębiasta deszczowa *Cumulonimbus (Cb)*

cowi nieboskłonu, zapowiada zbliżanie się strefy opadów — zwykle nadejście frontu ciepłego.

Chmury pierzaste — omówione wyżej — nie mają dla szybownictwa większego znaczenia, gdyż nie towarzyszą im prądy wznoszące możliwe do wykorzystania przez szybowce. Składają się na to dwie przyczyny: chmury te są bardzo wysokie, a więc z reguły nie osiągalne w normalnych lotach szybowcowych, a ponadto prądy wznoszące towarzyszące chmurom pierzastym są słabe i o małym zasięgu — a więc nie wystarczają do ich praktycznego wykorzystania. Jedynym znaczeniem chmur pierzastych może być fakt sygnalizowania o zbliżaniu się frontu ciepłego, a więc o zmianie pogody (dotyczy to zwłasz-

cza chmur Cs), oraz fakt, że większe ławice chmur Cc lub Cs zmniejszają skuteczność promieniowania słonecznego, a więc utrudniają powstawanie prądów wznoszących na mniejszych wysokościach i przy ziemi.

Chmura średnia kłębiasta — Altocumulus (Ac). Jest to chmura występująca na wysokościach 2—6 km, nieco przypominająca Cc, jednak o bardziej „grubej" budowie. „Baranki" chmury Altocumulus są większe. Daje ona niekiedy słaby opad śniegu. Chmury te występują w postaci charakterystycznych pasm i fałd jako cienkie ławice (translucidus) albo jako gruba powłoka pokrywająca niebo (opacus).

Chmura średnia warstwowa — Altostratus (As). Wysokość podstawy tej chmury wynosi również 2000 — 6000 m. Przypomina ona nieco grubą chmurę warstwowo-pierzastą Cs, jest jednak grubsza i nie tak przejrzysta. Słońce nie zawsze przez nią prześwieca lub prześwieca tylko niewyraźnie nie dając przy tym zjawiska „hallo". Z chmury tej może padać nawet dość obfity śnieg, deszcz natomiast słaby ze względu na to, że wyparowuje przed spadnięciem na ziemię.

I te chmury mają dla szybownictwa prawie wyłącznie negatywne znaczenie. Polega ono — tak jak w przypadku chmur wysokich — na jeszcze silniejszym osłabieniu promieniowania słońca, co hamuje powstawanie prądów wznoszących. Wyjątek stanowi jedynie odmiana chmury Ac lenticularis, przypominająca swym kształtem soczewki (często ustawione w piętrach), wskazuje ruchy falowe powietrza wymuszone przeszkodami terenowymi lub czasem przy okazji frontów atmosferycznych. Ac lent. wymuszone przeszkodami terenowymi (np. pasmem górskim) tkwią prawie nieruchomo nad terenem pomimo bardzo ostrych nieraz wiatrów. Ten typ chmury znają wszyscy szybownicy marzący o przewyższeniach ponad 5000 m.

Chmura kłębiasto-warstwowa — Stratocumulus (Cs). Jest to chmura niska (poniżej 2000 m), która występuje w formie warstw lub ławic składających się ze zbitych ze sobą kłębów, przy czym często pomiędzy tymi kłębami prześwieca błękit lub przynajmniej można rozróżnić jaśniejsze miejsca. Grubość tej chmury może być różna: mniejsza — jeśli występuje lokalnie, gruba powłoka — przed frontami. Chmura ta daje niekiedy słaby opad w postaci śniegu.

Tego typu chmury zakrywają często cały nieboskłon (przed frontami) tworząc niesprzyjające warunki dla lotów szybowcowych. Rzadko tylko i to tuż pod podstawą chmury udaje się wykorzystać niewielkie i nieregularne prądy wznoszące.

Chmura niska warstwowa — Stratus (St). Jest to nisko zalegająca, ale nie dosięgająca powierzchni ziemi, jednolicie szara warstwa chmur. Występuje ona lokalnie albo przy napływaniu ciepłego powietrza nad chłodne podłoże. Chmura ta może dać opad w postaci mżawki lub drobnego śniegu.

Stratus nie tylko uniemożliwia wykonywanie termicznych lotów

szybowcowych, ale często ze względu na niską podstawę chmury uniemożliwia wykonywanie lotów w ogóle.

Chmura warstwowa deszczowa — Nimbostratus (Ns). Podobnie jak Stratus jest to nisko zalegająca warstwa chmur o ciemnoszarym jednostajnym wyglądzie. Jej grubość sięga jednak poziomu chmur pierzastych. Chmura ta daje opad ciągłego deszczu lub śniegu. Występuje przede wszystkim we frontach: ciepłym oraz w okluzji o charakterze frontu ciepłego. Poniżej podstawy chmury Nimbostratus występują na ogół porozrywane chmury Fractostratus lub Fractocumulus.

I ten rodzaj chmur nie sprzyja wykonywaniu lotów, a w szczególności lotów szybowcowych.

Chmura kłębiasta — Cumulus (Cu). Ten rodzaj chmury należy według przyjętego podziału do chmur o pionowym rozwoju. Chmury tego typu, będące nieomylną odznaką prądów wznoszących, widzimy często w pogodne dni cieplejszej pory roku.

Pojedyńcza chmura Cumulus stanowi rozwijający się pionowo pojedyńczy kłąb lub zbiór kłębów o płaskiej podstawie. Rozbudowany Cumulus oglądany z boku wygląda jak kalafior. Zresztą trudno dokładnie opisać kształt Cumulusa, bowiem zmienia się on dość szybko wraz ze stadium rozwoju chmury. We wczesnych godzinach przedpołudniowych lub w suchym powietrzu Cumulusy mogą mieć kształt pojedyńczych płaskich placków. Bardziej rozwinięte chmury tego typu „rosną" ku górze i przechodząc przez stadium „kalafiora" rozrastają się do olbrzymich rozmiarów osiągając bardzo duże wysokości.

Chmury kłębiaste płaskie noszą nazwę Cumulus humilis. Chmury kłębiaste wypiętrzone nazywają się Cumulus congestus. Warto wspomnieć jeszcze o jednej odmianie chmury Cumulus, a mianowicie o Cumulus castelatus. Jest to szereg złączonych podstawami dość płaskich chmur, z których wystrzelają pojedyńcze wieżyce. Jest to nieomylny znak sprzyjających warunków dla przeradzania się w późniejszych godzinach chmur Cumulus w burzowe Cumulonimbus.

Chmura kłębiasta deszczowa — Cumulonimbus (Cb). Jest to dalsze stadium rozwoju chmury Cumulus congestus, a więc również chmury o rozwoju pionowym. Gdy osiągnie ona dużą wysokość, jej górna część przybiera budowę włóknistą i jeśli dalszy rozwój zostanie zahamowany przez warstwę inwersji, wtedy chmura przybiera charakterystyczny kształt kowadła. Górne partie tej chmury zwykle składają się z igiełek lodowych.

Wewnątrz tej potężnie rozbudowanej chmury panują bardzo silne prądy wstępujące (wznoszące) i zstępujące (opadające). W chmurze tego typu zawsze stykamy się z opadami deszczu, śniegu, krupy lub gradu. Również pod tą chmurą obserwujemy prawie zawsze przelotny opad. Opad ten jest nieomylnym znakiem, że pochodzi właśnie z chmury Cumulonimbus, nawet gdyby przez rozległą podstawę tej

chmury, często niknącą wśród innych chmur, nie było widać samej chmury kłębiasto-deszczowej. Poniżej chmur Cumulonimbus mogą się tworzyć strzępy chmur Fractocumulus i Fractostratus.

Chmury Cumulonimbus dają wspaniałe możliwości uzyskiwania wielkich wysokości i pełne pole do popisu dla wyczynowego pilota szybowcowego. Nie wolno jednak ani przez chwilę zapominać, że obok tych możliwości Cumulonimbus kryje w sobie liczne niebezpieczeństwa. Pierwszym z nich i bodaj najważniejszym są niezwykle silne prądy pionowe znacznie utrudniające pilotaż, a nawet mogące go uniemożliwić lub spowodować zniszczenie konstrukcji szybowca. Drugim poważnym niebezpieczeństwem jest możliwość wystąpienia silnego oblodzenia. Trzecie niebezpieczeństwo, także niezwykle groźne, mogą stanowić wyładowania elektryczne mające miejsce w silnie rozwiniętych chmurach burzowych. Niejeden piękny wyczyn szybowcowy powstał w chmurze typu Cumulonimbus, ale i niejeden Cumulonimbus pochłonął życie ludzkie. Dlatego też loty szybowcowe w chmurach Cumulonimbus o charakterze burzowym są zakazane.

Cumulus i Cumulonimbus należą do wspólnej rodziny chmur o rozwoju pionowym. Właśnie takie chmury mają dla szybownictwa ogromne znaczenie. Ich powstawanie łączy się ściśle z chwiejnym stanem atmosfery, tj. takim stanem, w którym temperatura powietrza wznoszącego się (wskutek jakiegoś impulsu — ogrzania lub wymuszenia) wraz ze wzrostem wysokości obniża się wolniej niż w powietrzu otaczającym. Wówczas to ruch powietrza — raz zapoczątkowany — wzmaga swoją prędkość, ponieważ różnica temperatur (pomiędzy powietrzem wznoszącym się i otaczającym) staje się coraz wyższa w miarę wznoszenia się.

Pod takimi właśnie chmurami oraz w ich wnętrzu występują prądy wznoszące, które szybowiec wykorzystuje dla zwiększenia wysokości lotu. Gdy Cumulusy powstają nad rozległymi terenami, wtedy tworzą dogodną sytuację dla wykorzystania jej przez szybownictwo dla wykonania przelotów. Szczególnie korzystną sytuacją będzie oczywiście taka, przy której intensywnie tworzące się chmury kłębiaste układają się w szlaki równoległe do kierunku wiatru. W takich warunkach najłatwiej i najprędzej można wykonać odległy przelot.

Ponieważ chmury kłębiaste są dla szybownictwa tak ważne, warto im poświęcić jeszcze trochę uwagi i bliżej się z nimi zapoznać, a przede wszystkim z warunkami ich powstawania.

Otóż, aby mogła powstać chmura kłębiasta, musi zaistnieć równowaga chwiejna. Może ona wystąpić wtedy, gdy nastąpi silne ale i nierównomierne nagrzanie się powierzchni ziemi (piasek — woda), wtedy gdy nad nagrzaną w ten sposób powierzchnią ziemi napłyną chłodne masy powietrza, lub wtedy gdy ciepłe powietrze zostanie

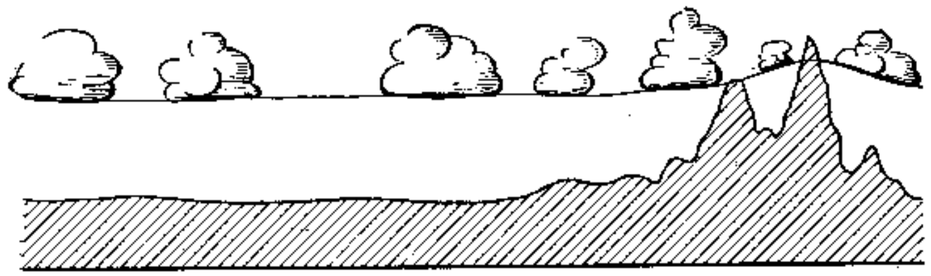
zmuszone do szybkiego wznoszenia się, np. przy nadejściu frontu chłodnego. Są to wystarczające powody, aby cieplejsze powietrze znajdujące się nisko rozpoczęło się wznosić (gdy spadek temperatury z wysokością przekracza w przybliżeniu wartość 1°/100 m). Wznoszące się powietrze nie nasycone parą wodną ochładza się w miarę zwiększania wysokości i gdy osiągnie temperaturę punktu rosy, rozpoczyna się kondensacja (oczywiście pod warunkiem istnienia jąder kondensacji). Tak powstaje chmura kłębiasta.

Nie trudno się domyślić, że najintensywniejsze wznoszenie się powietrza następuje nad tymi terenami, które najłatwiej się nagrzewają. Jest to już wskazówką dla pilota szybowca, gdzie należy szukać najpewniejszych prądów wznoszących. Należy przy tym pamiętać, że nie zawsze znajdują się one pod chmurą kłębiastą, gdyż chmura odsuwa się z wiatrem od miejsca powstającego prądu wznoszącego. — A więc czym wyżej, tj. czym bliżej podstawy chmury, tym bardziej pod chmurą znajdować się będzie prąd wznoszący. Jeśli szukając wznoszeń zbliżamy się do chmury, to największe szanse ich odnalezienia mamy dolatując ku chmurze zgodnie z kierunkiem wiatru.

Powstająca chmura kłębiasta rozwija się nadal w powietrzu o równowadze chwiejnej, tj. gdy spadek temperatury z wysokością jest duży. Chmura rozwija się w górę i to tym szybciej, ponieważ w czasie kondensacji zostało oddane utajone ciepło parowania. Tym zresztą tłumaczy się fakt, że prędkości wznoszenia w chmurze kłębiastej są zwykle większe niż pod tą samą chmurą. Nie jest tak oczywiście zawsze, ale wtedy powód jest inny. Na przeszkodzie staje tu warstwa inwersji, która swoim odwrotnym rozkładem temperatury (temperatura bowiem rośnie w niej z wysokością) tworzy zaporę uniemożliwiającą dalszy pionowy rozwój chmury.

Od wysokości, na której znajduje się warstwa inwersyjna oraz od tego czy inwersja ta jest silna, zależy postać chmur kłębiastych. Gdy inwersja znajduje się nisko nad poziomem kondensacji, chmury są płaskie. Gdy inwersja jest wysoko nad poziomem kondensacji, chmury znacznie się rozbudowują. Bywa i tak, że warstwa inwersyjna nie jest w stanie powstrzymać procesu wzrastania chmury. Wtedy część chmury ulega zahamowaniu i rozlewa się pod warstwą inwersji, jednak inna część chmury przebija się przez nią i wystrzela w górę „wieżycą".

Tak wzrasta Cumulus. Jeśli nie osiąga on swoim wierzchołkiem poziomu temperatur niższych od zera, to chmura składa się wtedy jedynie z kropelek wody i nie daje opadu. Jeżeli Cumulus osiągnie i przekroczy poziom izotermy zerowej (wysokość, na której temperatura powietrza jest równa zeru), to jego górna część będzie już zawierała kryształki lodu, a w jego środku mogą znajdować się również kropelki przechłodzonej wody. Taka chmura ma niejednolitą strukturę fizyczną i jest już Cumulonimbusem. Lecąc w Cumulonim-



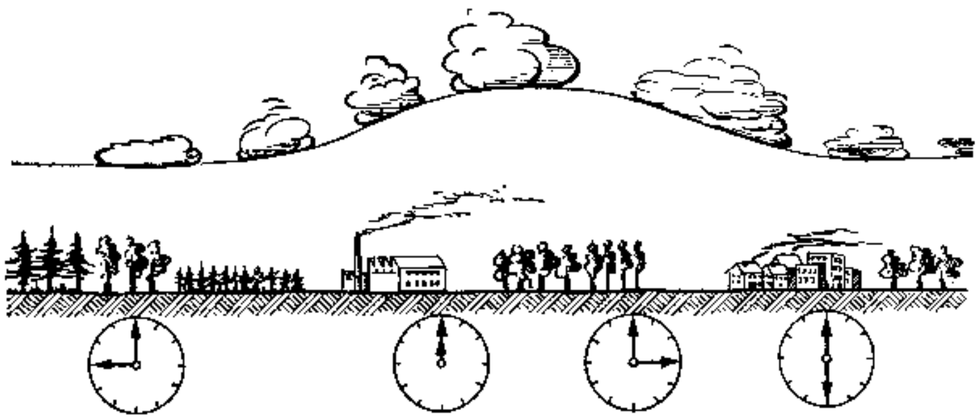
Rys. 6—11. Podstawy chmur kłębiastych w terenie równinnym i pagórkowatym tylko nieznacznie zmieniają się, ale w terenie górzystym — chociaż bezwzględna wysokość podstawy rośnie — to jednak często podstawa chmur znajduje się poniżej szczytów

busie możemy napotkać w miarę wznoszenia się strefę deszczu, oblodzenia, gradu, a nawet śnieżycy.

Dla uzupełnienia wiadomości o chmurach kłębiastych — tak ważnych dla szybownictwa — warto podać trochę danych liczbowych.

Wysokości podstawy chmur, o których będzie mowa niżej, traktujemy jako odległość podstawy od powierzchni ziemi. Warto zauważyć, że nad równinami lub lekko falistym terenem wysokość podstawy chmur tylko nieznacznie zmienia się w odniesieniu do powierzchni ziemi. W terenie górzystym sytuacja ulega zmianie i chociaż bezwzględna wysokość podstawy chmur rośnie, to jednak często podstawa chmur znajduje się poniżej szczytów górskich (patrz rys. 6—11).

W naszych warunkach podstawy Cumulusów wynoszą przeciętnie 1000—2200 m. We wczesnych godzinach przedpołudniowych lub gdy wilgotność powietrza jest duża, podstawy Cumulusów są niższe, w godzinach południowych lub przy bardziej suchym powietrzu podstawy są wyższe. W godzinach popołudniowych podstawy chmur kłębiastych znowu się nieco obniżają. Tak więc wysokość podstawy Cumulusów

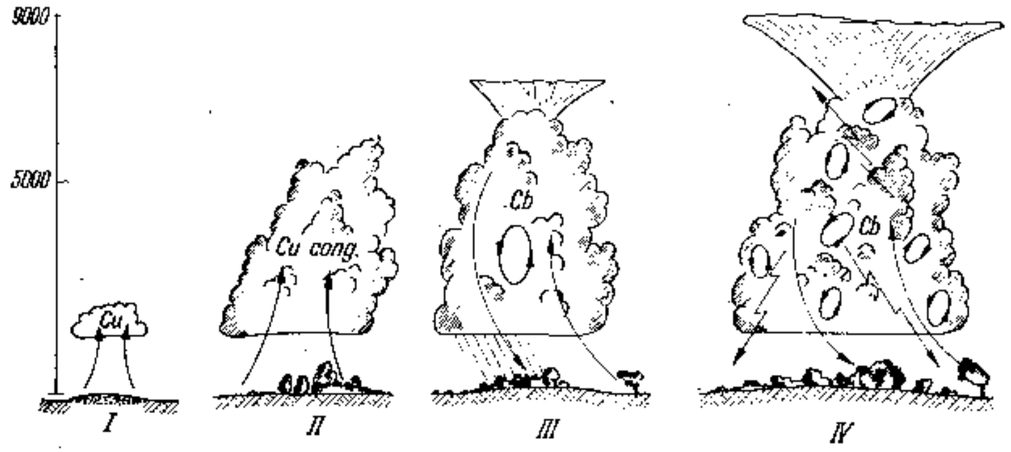


Rys. 6—12. Wysokość podstawy *Cumulusów* zmienia się również ze zmianą pory dnia

zmienia się również wraz ze zmianą pory dnia (rys. 6—12). Rzadko tylko można spotkać Cumulusy o podstawie niższej niż 500 m lub wyższej niż 2700 m.

Co do wierzchołków chmur kłębiastych, to trzeba tu stwierdzić, że nie da się podać żadnej charakterystycznej wysokości, bowiem Cumulonimbus — najbardziej wypiętrzona chmura kłębiasta — nierzadko sięga 8—9000 m, ale może osiągnąć nawet górne granice troposfery.

W naszych warunkach najczęściej trafiają się chmury kłębiaste Cumulus o wysokości (licząc od podstawy do wierzchołków) od kilkuset do 3—4 tysięcy metrów. Wyższe chmury kłębiaste są w zasadzie Cumulonimbusami i dają już opad.



Rys. 6—13. Poszczególne fazy przeobrażania się chmury kłębiastej od *Cumulusa* do *Cumulonimbusa* burzowego

A teraz kilka wiadomości o tym, co może szybownika najbardziej interesować, tj. o wielkości prądów pionowych pod i w chmurach kłębiastych.

Najsłabsze wznoszenia są oczywiście tak małe, że nie dają się wykorzystać przez szybowiec. Przeciętną wartość wznoszeń pod chmurami kłębiastymi ocenić można na 2—3 m/sek. Nierzadko jednak można napotkać wznoszenia o wartości 5—7 m/sek, a nawet i więcej.

Inaczej nieco przedstawia się sytuacja wewnątrz chmur kłębiastych. Jeśli chmury są płaskie, to często wznoszenia zanikają zupełnie już niemal u podstawy chmury. Za to wewnątrz wypiętrzonej chmury kłębiastej Cu cong. wznoszenia często osiągają 6—10 m/sek, a nawet i 20—30 m/sek w Cumulonimbusach. Wielokrotnie ponadto z wykresów barografów zamocowanych na szybowcach, które odbyły loty w chmurach burzowych odczytano wprost zawrotne prędkości wzno-

szenia, bo rzędu 50 m/sek. Były to na ogół wykresy barografów szybowców, które uległy wypadkom w czasie wykonywania lotów w chmurach burzowych — właśnie wskutek obciążeń wywołanych tak silnymi podmuchami.

6. Termika

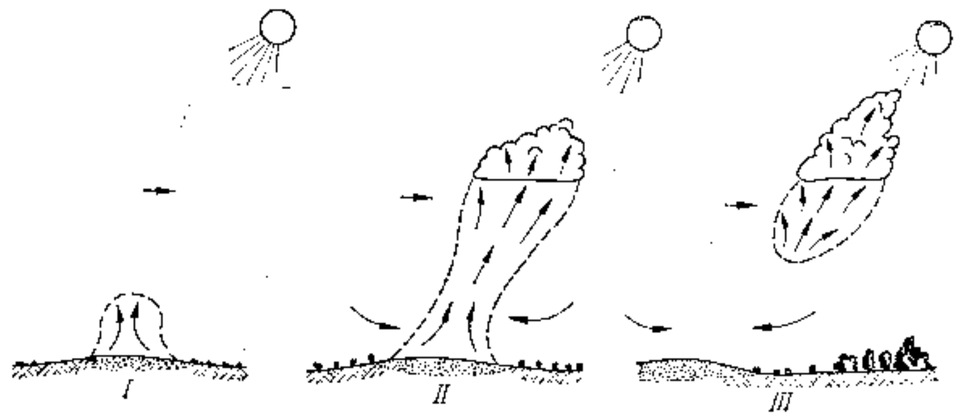
Skoro zatrzymaliśmy się nad sprawami chmur kłębiastych i nad warunkami ich powstawania, warto rozważyć zagadnienia termiki w ogóle. Termika — są to prądy wznoszące, a więc to co szybownika interesuje najbardziej. Cumulusy są zawsze niewątpliwą oznaką termiki, jednak może się zdarzyć, że termika istnieje, a mimo to nie powstają chmury kłębiaste. Dzieje się tak wówczas, gdy pionowe prądy powietrza nie osiągają poziomu kondensacji.

Rozważając sprawy termiki należy je najpierw usystematyzować. Otóż termika może być dwojakiego rodzaju, tj. wypracowana lub naniesiona. Różnica leży w przyczynach jej powstawania i łączy się bezpośrednio z rodzajem chwiejnej równowagi powietrza — wypracowanej lub naniesionej. Ponadto i termika wypracowana, i termika naniesiona mogą być Cumulusowe lub bezchmurne. Omówmy teraz kolejno poszczególne rodzaje termiki.

a. Termika wypracowana

Przy sprzyjających warunkach (dotyczy to rodzaju masy powietrza — o czym będzie mowa dalej) powstawanie termiki wypracowanej zależy od stopnia nasłonecznienia terenu i od rodzaju podłoża. Rozmaite typy podłoża rozmaicie się nagrzewają. Suchy piasek, łany dojrzałych zbóż, gleba kamienista lub zaorana i wyschnięta gleba nagrzewają się szybciej, ale i szybciej stygną niż mokre łąki, lasy, wilgotna gleba lub jeziora, rzeki itp. Nic więc dziwnego, że powietrze stykające się bezpośrednio z takim uprzywilejowanym pod względem nagrzewania terenem szybciej zwiększa swoją temperaturę.

Takie ogrzane powietrze sąsiadujące z powietrzem chłodniejszym tworzy jak gdyby bąble, które przy dostatecznie dużej różnicy temperatury odrywają się od powierzchni ziemi i zaczynają wznosić. W ten sposób powstaje tzw. k o m i n t e r m i c z n y, tj. strumień wznoszącego się powietrza. Komin ze wzrostem wysokości rozszerza się wskutek rozprężania się powietrza. U szczytu komina powstaje chmura kłębiasta — pod warunkiem, że komin osiągnie poziom kondensacji.



Rys. 6—14. Poszczególne fazy powstawania kominów termicznych

To co zostało wyżej opisane jest k o m i n e m p o d ł o ż a. Kominom tym warto poświęcić nieco więcej uwagi. Ponieważ — jak wspomniano — są one związane z nagrzewaniem podłoża, dlatego istnieje pewna regularność ich powstawania.

W latach trzydziestych znany meteorolog okresu międzywojennego dr Kochański przeprowadził szereg szczegółowych obserwacji terenów szybowisk w Bezmiechowej i Ustianowej, które to obserwacje pozwoliły na opracowanie mapy kominów. Mapa ta pozwalała na względnie pewne odszukiwanie wznoszeń umożliwiających lot termiczny — oczywiście tylko w warunkach termiki wypracowanej.

Rozważając zagadnienie kominów podłoża trzeba zwrócić uwagę na fakt pewnej cykliczności — pulsacji — tych kominów. Stwierdzono na przykład, że komin podłoża jak gdyby wznawia swą działalność co 7—14 minut. Można to wytłumaczyć następująco: teren uprzywilejowany pod względem nagrzewania oddaje częściowo swoje ciepło powietrzu zalegającemu bezpośrednio nad nim. Tworzy się wówczas rodzaj bąbla ciepłego powietrza — tak jak to już wyżej opisano. Gdy z „bąbla" powstanie komin i znajdujące się w nim powietrze uniesie się, na jego miejsce spływa cięższe i jeszcze nie nagrzane powietrze. Potrzeba pewnego czasu na to, aby ono z kolei ogrzało się od podłoża i aby powstał nowy „bąbel".

Tyle o kominach podłoża. Są jeszcze inne kominy — tzw. k o m i n y c h m u r y. Są to prądy powietrza wciąganego jak gdyby przez rozwijającą się chmurę kłębiastą. Taki komin chmury nie sięga powierzchni ziemi, lecz zaczyna się na pewnej wysokości. Trzeba o tym pamiętać, aby w razie nadmiernego obniżenia lotu szybowca nie stanąć przed koniecznością lądowania z braku prądów wznoszących.

Dla wyczerpania zagadnienia wypada wspomnieć, że podczas występowania termiki spotykamy nie tylko prądy wznoszące — a więc kominy termiczne, ale również p r ą d y o p a d a j ą c e, które nie-

którzy nazywają studniami lub duszeniami. Są one znacznie bardziej rozległe od kominów, ale za to prędkości pionowe opadającego w nich powietrza są także znacznie mniejsze. Łatwo to wytłumaczyć. Skoro bowiem w pewnych miejscach powietrze intensywnie się wznosi, w innych musi opadać, aby bilans był zamknięty. Ponieważ przy tym pole przekroju kominów jest znacznie mniejsze od pola pozostałego (gdzie powietrze opada), więc i prędkość opadania powietrza jest znacznie mniejsza, aby wydatki powietrza w kominach i w strefach „duszeń" były równe.

U schyłku dnia termicznego wznoszenia ustają, gdyż wyczerpuje się zapas energii cieplnej dostarczanej przez południowe słońce. Wypracowana równowaga chwiejna powietrza ustępuje miejsca równowadze stałej lub nawet przechodzi znów w równowagę chwiejną, z tym że teraz powietrze wznosi się nad obszarami, które w ciągu dnia nagrzewały się wolniej i teraz dopiero oddają ciepło. Szybko nagrzewające się za dnia tereny teraz wypromieniowały już swoje ciepło i stały się chłodniejsze — a więc role się odwróciły.

W tym czasie chmury przestają być czynne i mimo że na niebie widać jeszcze Cumulusy, lot termiczny jest już niemożliwy. Po pewnym czasie zaczyna się rozpad chmury. Opadające powietrze ogrzewa się w miarę zmniejszania wysokości, a skroplona para wodna chmur odparowuje przechodząc w stan gazowy. Chmury zanikają. Trzeba w związku z tym pamiętać, że istnienie w tym okresie czasu Cumulusa nie jest gwarancją odnalezienia prądów wznoszących. Cumulus może nie być już czynnym, a nawet może być w stadium rozpadu i wtedy napotkane pod nim prądy to tylko prądy opadające — „duszenie".

b. Termika naniesiona

Termika naniesiona różni się od termiki wypracowanej przede wszystkim tym, że występuje zawsze w połączeniu z dość silnym wiatrem (około 5—6 m/sek) oraz napływem świeżych i chłodnych mas powietrza arktycznego lub polarnego o równowadze chwiejnej (na ogół za frontami chłodnymi lub okluzjami o charakterze chłodnym). Wyzwalanie prądów pionowych następuje tu zarówno wskutek nagrzewania się chłodniejszego powietrza od cieplejszego podłoża (termiczny czynnik), jak i wskutek wszelkiego rodzaju zawirowań i wymuszenia (dynamiczny czynnik) powstałego podczas szybkiego ruchu powietrza. Zaznaczyć tu trzeba, że oba te czynniki — termiczny i dynamiczny — wzajemnie się wspomagają i uzupełniają.

Termikę naniesioną łatwo jest także rozpoznać po chmurach, które mają na ogół postać większych skupisk, a nie pojedyńczych Cumulusów jak w przypadku termiki wypracowanej. Termice naniesione towarzyszą często szlaki lub prądy chmur kłębiastych. Szlaki takie stwarzają bardzo dogodne warunki dla uzyskiwania dużych prędkości przelotowych oraz dużych odległości.

Termika naniesiona może przyjmować postać termiki Cumulusowej lub bezchmurnej — w przypadku, gdy prądy pionowe nie osiągają poziomu kondensacji.

7. Masy powietrza

Kształtowanie się pogody korzystnej dla wykonywania lotów szybowcowych nie zależy jedynie od nasłonecznienia lub wiatru — sprzyjających powstawaniu termiki, lecz także w bardzo znacznym stopniu od zalegającej masy powietrza. Na początku niniejszego rozdziału zapoznaliśmy się z podziałem powietrza na rozmaite masy, teraz omówimy cechy charakterystyczne tych mas.

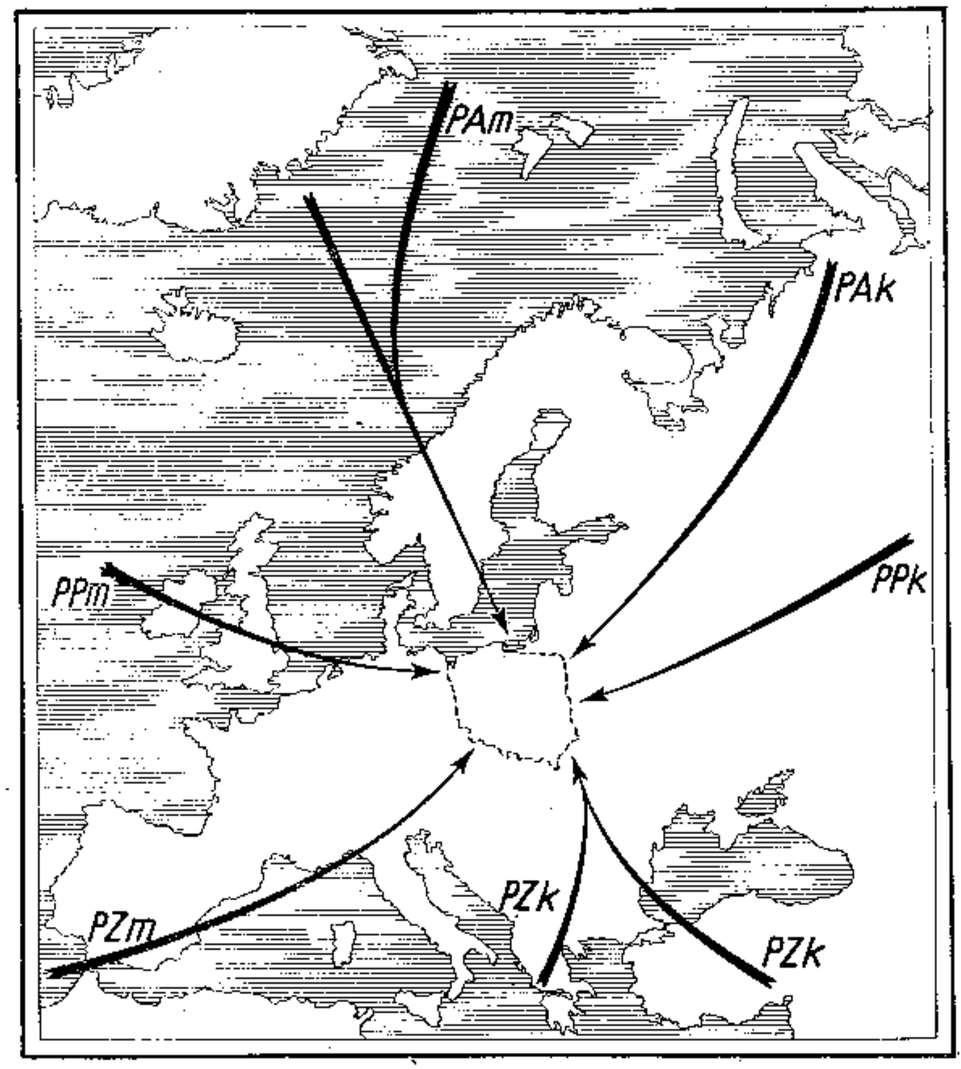
Powietrze arktyczno-morskie (PAm). Powietrze to pochodzi z okolic Grenlandii i Szpicbergenu, a więc znad terenów pól lodowych. Ponieważ są to tereny bardzo chłodne, więc zalegające nad nim przez dłuższy czas powietrze osiąga niską temperaturę i równowagę stałą, jest przy tym czyste — a więc ma dobrą przezroczystość. Zanim powietrze arktyczne dotrze w nasze rejony, musi przebyć długą drogę nad Północnym Atlantykiem i Morzem Północnym. Przemieszczając się nad cieplejszymi obszarami wodnymi powietrze to ogrzewa się w dolnych warstwach, w związku z czym jego dotychczasowa równowaga stała zmienia się stopniowo w chwiejną. Docierając nad nasze tereny powietrze to ma już równowagę chwiejną i sprzyja silnemu rozwojowi chmur kłębiastych. Chmury te wypiętrzają się silnie i często przechodzą w chmury deszczowe lub burzowe.

Ten typ napływających mas powietrza sprzyja wykonywaniu lotów szybowcowych, jednak dla dłuższych przelotów nie jest zbyt korzystny, ponieważ silny rozwój chmur powoduje znaczne pokrycie nieboskłonu — a zatem uniemożliwia podstawanie regularnych prądów wznoszących nad rozległymi obszarami.

W okresie chłodniejszej pory roku masy te, gdy napłyną nad silnie wychłodzone podłoże Europy Środkowej powodują tworzenie się mgły lub chmur warstwowych o bardzo niskiej podstawie.

Powietrze arktyczno-kontynentalne (PAk). Powietrze to nabiera swoich cech fizycznych poprzez zaleganie nad polami lodowymi strefy podbiegunowej. W związku z tym jest silnie wychłodzone, a co za tym idzie ma bardzo małą wilgotność bezwzględną. Jego przezroczystość jest bardzo dobra.

Powietrze arktyczno-kontynentalne napływa do nas przez północne tereny Związku Radzieckiego. W lecie przemieszczając się nad tymi



Rys. 6—15. Schemat ruchów mas powietrza napływających nad tereny Europy Środkowej

PAm — powietrze arktyczno-morskie, *PAk* — powietrze arktyczno-kontynentalne, *PPm* — powietrze polarno-morskie, *PPk* — powietrze polarno-kontynentalne, *PZm* — powietrze zwrotnikowo-morskie, *PZk* — powietrze zwrotnikowo-kontynentalne

obszarami ogrzewa się od cieplejszego podłoża zmieniając równowagę na chwiejną. Nad naszymi terenami sprzyja powstawaniu termiki i ze względu na swą niedużą wilgotność bezwzględną nie powoduje nadmiernego zachmurzenia chmurami kłębiastymi, co z kolei nie utrudnia nasłonecznienia terenu. Powietrze to daje bardzo dobre warunki dla lotów szybowcowych.

W okresie zimowym pod wpływem powietrza arktyczno-kontynentalnego utrzymuje się piękna, bezchmurna, słoneczna pogoda przy silnych mrozach podczas nocy.

Powietrze polarno-morskie (PPm). Jest to powietrze, które przez dłuższy czas zalegało nad powierzchnią mórz w strefie umiarkowanej. W związku z tym ma ono znaczną wilgotność bezwzględną. Pod względem temperatury może ona być dość rozmaite zależnie od tego, czy zalegało ono w północnej, czy też w południowej części strefy umiarkowanej. Stąd też pochodzi jego dość znaczne zróżnicowanie pod względem cech fizycznych.

Można to sobie uświadomić tym łatwiej biorąc pod uwagę, że masy powietrza polarnego w ogóle stanowią mieszaninę powietrza arktycznego, które przedostało się na południe od strefy umiarkowanej, a w górnych warstwach stanowi często przemieszczone na północ powietrze zwrotnikowe. Takie powietrze arktyczne, które przemieściło się na południe, przekształciło się w powietrze polarne i jako takie przemieszcza się znów na północ, ma nawet swą własną nazwę: powietrze polarno-powrotne.

Powietrze *polarno-morskie świeże*, tj. takie które napływa wprost znad Atlantyku ogrzewając się w swych dolnych warstwach od jego ciepłego prądu, ma równowagę chwiejną — co wespół z dużą jego wilgotnością sprzyja silnemu wypiętrzaniu się chmur kłębiastych, a więc także silnym opadom i nawet burzom. Tak przedstawia się sytuacja w lecie, w zimie natomiast wypiętrzanie się chmur nie następuje, jednak zachmurzenie jest na ogół dość duże, z tym jednak że w ciągu dnia ulega ono zmianom — od całkowitego pokrycia do zupełnego rozpogodzenia lub odwrotnie.

Inaczej przedstawia się sytuacja, gdy nad nasze tereny napłynie powietrze *polarno-powrotne*, tj. z południowej części strefy umiarkowanej. Jest to powietrze, w którym wskutek dłuższego przebywania na południu wzrosła temperatura nie tylko w dolnych, ale i w górnych jego warstwach. Ma ono w związku z tym równowagę stałą lub przynajmniej mniejszy spadek temperatury z wysokością niż świeże powietrze polarno-morskie. W lecie powietrze polarno-morskie powrotne powoduje zachmurzenie przez chmury warstwowe, w zimie natomiast sprzyja tworzeniu się mgieł.

Powietrze polarno-morskie należy do korzystnych dla szybownictwa, a w jego masach — przy przeważających zachodnich wiatrach — ustanowiono znaczną liczbę przelotów szybowcowych.

Powietrze polarno-kontynentalne (PPk). Powietrze to nabiera swych cech poprzez zaleganie nad kontynentem w strefie umiarkowanej, a więc nad obszarami Związku Radzieckiego lub Europy Zachodniej lub Środkowej.

W pierwszym przypadku dotyczy to powietrza arktycznego, które napłynęło nad kontynent ZSRR, w drugim przypadku dotyczy to powietrza polarno-morskiego, które napłynęło znad Atlantyku na kontynent Europy. Wpływ podłoża kontynentalnego, które w porze letniej jest dość silnie nagrzane, powoduje wzrost temperatury po-

wietrza w jego dolnych warstwach, a więc wzrost pionowego spadku temperatury i tym samym jego dużą chwiejność. Jeśli powietrze polarno-kontynentalne przekształciło się z powietrza arktycznego, to wobec jego małej wilgotności powstają chmury kłębiaste typu Cumulus humilis nie wypiętrzające się (chmura kłębiasta pięknej pogody), natomiast gdy masa powietrza przekształciła się z powietrza polarno-morskiego, rozwój chmur kłębiastych jest silny, a więc mamy do czynienia z silnymi opadami a nawet burzami.

Zimą powietrze polarno-kontynentalne charakteryzuje się na ogół bezchmurną pogodą i bardzo niskimi temperaturami (wobec małej wilgotności i wychładzaniu się od podłoża).

Powietrze polarno-kontynentalne stwarza bardzo korzystne warunki dla lotów szybowcowych umożliwiając wykonywanie przelotów, przy czym jeśli towarzyszą mu słabe wiatry, to ten typ pogody nadaje się specjalnie do przelotów po trasach zamkniętych (trójkąty i loty docelowo-powrotne). Jeśli powietrze polarno-kontynentalne przekształciło się z polarno-morskiego, można także liczyć się z korzystnymi warunkami do realizacji szybowcowych lotów wysokościowych (chmurowych).

Powietrze zwrotnikowo-morskie (PZm). Są to masy powietrza kształtujące się — jak sama nazwa wskazuje — w pobliżu zwrotnika i nad powierzchnią oceanu. W związku z tym powietrze to jest dość silnie i jednolicie ogrzane, a przy tym ma bardzo dużą wilgotność bezwzględną.

W zasadzie jest to powietrze o równowadze stałej. Jedynie w czasie lata, gdy nagrzewanie gruntu jest zdecydowanie silniejsze niż wody, powietrze zwrotnikowo-morskie nagrzewa się w dolnych swych warstwach silniej, a więc wzrasta pionowy spadek temperatury i rozpoczyna się chwiejność. Powstają wtedy wypiętrzone chmury kłębiaste i burzowe, którym towarzyszą silne przelotne opady.

Typ pogody kształtujący się w tym powietrzu sprzyja wykonywaniu chmurowych lotów wysokościowych (uwaga — niebezpieczne!) lub lotów termicznych w rejonie lotniska. Wznoszenia pod podstawą chmury nie są zbyt duże i należy się liczyć z dużym zachmurzeniem towarzyszącym znacznemu rozwojowi chmur typu Cumulus congestus i Cumulonimbus, co powoduje „wygaszanie" termiki cieniem chmur. Pozostaje wtedy jedynie zdecydować się na lot chmurowy-wysokościowy lub ... lądować.

W zimie powietrze zwrotnikowo-morskie powoduje odwilże przy dużym zachmurzeniu niskimi chmurami warstwowymi albo mgle.

Powietrze zwrotnikowo-kontynentalne (PZk). I w tym przypadku nazwa mówi sama za siebie. Powietrze to kształtuje się nad terenami Północnej Afryki lub Bliskiego Wschodu (Małej Azji lub Arabii). Charakteryzuje się ono złą przezroczystością, dużą wilgotnością bezwzględną i bardzo wysoką temperaturą.

Pogoda, która się w tym powietrzu kształtuje, zależy bezpośrednio od temperatury podłoża, nad które powietrze to napływa. Jeśli podłoże jest gorące, to powietrze nabiera równowagi chwiejnej, czemu z kolei towarzyszy rozwój chmur kłębiastych i burzowych (burze bywają częste). Jeśli podłoże jest chłodniejsze od napływającego powietrza, występuje wówczas równowaga stała, przy czym sprzyja to tworzeniu się mgieł. Na ogół nie jest to powietrze sprzyjające wykonywaniu lotów szybowcowych, choć nie można go wykluczyć całkowicie — oczywiście pod warunkiem, że występuje równowaga chwiejna.

Rozpoznanie masy powietrza, która aktualnie zalega nad terenami gdzie się znajdujemy, pozwala przy pewnej wprawie ocenić możliwości wykonywania szybowcowych lotów wyczynowych. Nie należy się do tego zabierać zbyt pochopnie, a zawsze — kiedy tylko jest to możliwe — zwracać się o poradę do najbliższej placówki służby meteorologicznej.

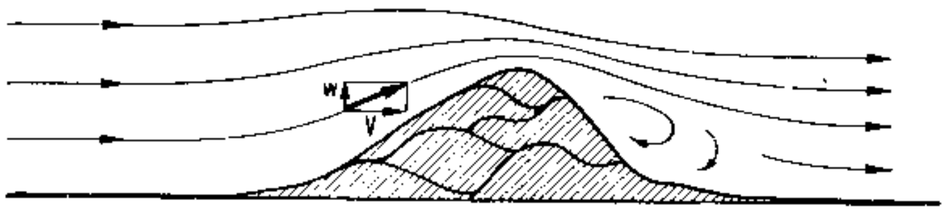
Przedstawiona powyżej charakterystyka poszczególnych mas powietrza jest bardzo pobieżna. Należy przy tym pamiętać, że tak jak fronty nie występują w formie ściśle odpowiadającej ich schematom, tak i masy powietrza mogą — pomimo zaliczenia ich do tej czy innej grupy — mieć większą lub mniejszą wilgotność, wyższą lub niższą temperaturę itp. Tak więc nietrudno pomylić się w przewidywaniu pogody i jej przydatności do lotu szybowcowego. Dodatkowo — należy zawsze pamiętać o wpływach lokalnych czynników, które zwłaszcza w terenie górskim lub nadbrzeżnym są zwykle niemal decydujące.

8. Prądy zboczowe

Na pierwszy rzut oka mogłoby się wydawać, że dla pilota szybowcowego jedynie pogoda termiczna stanowi gwarancję możliwości wykonywania lotów — oczywiście mowa tu o lotach żaglowych a nie ślizgowych. Tak jednak nie jest. Oprócz lotów termicznych istnieją jeszcze dwa inne rodzaje lotów, a to zboczowe i falowe.

Zarówno w przypadku prądów zboczowych, jak i falowych ich pochodzenie jest natury dynamicznej. Rozważmy je kolejno.

Gdy wiatr — a więc przemieszczające się poziomo powietrze — natrafi na przeszkodę, np. w postaci zbocza górskiego, musi ją pokonać. Wiatr opływając zbocze zmienia swój kierunek (w płaszczyźnie pionowej). Pojawia się pionowa składowa prędkości wiatru, która nie jest niczym innym jak właśnie prądem wznoszącym umożliwiającym wykonywanie lotu żaglowego na szybowcu. Najlepiej wyjaśnia to rysunek 6—16.



Rys. 6—16. Schemat opływu powietrza nad zboczem (dotyczy przekroju pionowego)
V — prędkość pozioma, w — prędkość pionowa

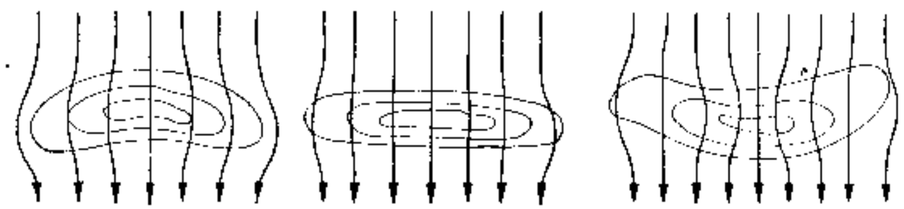
Nietrudno się domyślić, od czego zależy wielkość prądu wznoszącego i jego zasięg pionowy. Czynnikami tymi są: wiatr — a więc jego prędkość i kierunek w stosunku do przeszkody, oraz sama przeszkoda — a więc jej wysokość oraz kształt jej przekroju pionowego (nachylenie zbocza) i poziomego. Są to sprawy raczej aerodynamiki a nie meteorologii, jednak dla pełniejszego ujęcia tematu poświęćmy im chwilę uwagi.

Wielkość prądu wznoszącego rośnie wraz ze wzrostem prędkości wiatru i jest tym większa, im kierunek wiatru jest bardziej zbliżony do prostopadłego do zbocza góry. Nie znaczy to jednak, że im silniejszy jest wiatr, tym lepiej. Bardzo silne bowiem wiatry utrudniają wykonywanie lotów zboczowych ze względu na powodowanie lokalnych zawirowań, a więc burzliwości przepływu (turbulencji), co z kolei stwarza duże trudności pilotożowe.

Im większa jest wysokość góry (oczywiście wysokość względna, tj. ponad otaczający ją teren), tym większy jest zasięg pionowy prądu wznoszącego. Inaczej ma się sprawa z nachyleniem zbocza. Tutaj istnieje pewne optimum nachylenia (zależne także od prędkości wiatru), dla którego tworzą się maksymalne prędkości wznoszeń. Prędkości te maleją, gdy nachylenie zbocza przekracza wartość optymalną lub gdy jest od niej mniejsze.

Trzeba jeszcze dodać, że do wykonywania lotów żaglowych najkorzystniejsze są zbocza długie, gdyż nie zmuszają pilota do stałych nawrotów w celu utrzymania się w strefie wznoszeń.

Pozostaje do omówienia kształt poziomego przekroju góry. Zbocze



Rys. 6—17. Schemat opływu powietrza nad zboczem zależnie od kształtu zbocza (dotyczy przekroju poziomego)

stanowiące w poziomym przekroju łuk jest korzystniejsze dla lotów żaglowych, gdy jego strona nawietrzna jest ustawiona w stosunku do wiatru wklęsłością. Daje to w wyniku lokalny wzrost prędkości wiatru, a więc także wzrost prędkości wznoszenia oraz jego zasięgu. Ustawienie zbocza wypukłością pod wiatr jest niekorzystne i zmniejsza prędkość wznoszenia oraz jego zasięg (rys. 6—17).

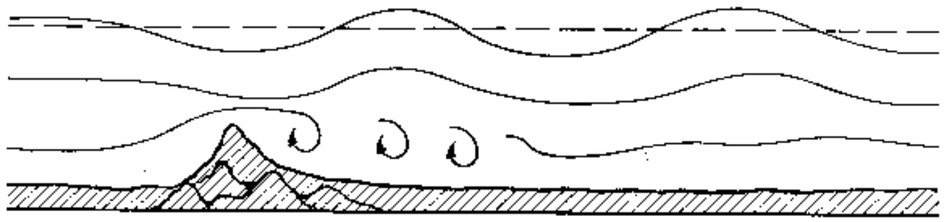
W naszych warunkach można przyjąć, że wykonywanie lotów żaglowych zboczowych jest najwygodniejsze przy prędkościach wiatru rzędu dziesięciu metrów na sekundę oraz przy nachyleniach zbocza około 30—35°. Pionowy zasięg wznoszeń wynosi wtedy około $^1/_3$ wysokości względnej zbocza.

Warto wspomnieć, że często wznoszenia powstające na drodze dynamicznej mogą występować równocześnie ze wznoszeniami termicznymi. Stwarza to bardzo dogodne warunki dla lotów szyboweowych, ponieważ z jednej strony ułatwia wyzwalanie się prądów termicznych poprzez nadanie im początkowej prędkości pionowej, z drugiej natomiast pozwala pilotowi szybowcowemu na „oderwanie się" od zbocza i rozpoczęcie przelotu. Zbocza górskie niejednemu pilotowi pomogły w przetrwaniu chwilowego kryzysu termicznego, a następnie ułatwiły dalsze kontynuowanie przelotu.

Czytelnikowi może wydawać się, że zagadnieniom prądów zboczowych poświęcam zbyt wiele uwagi. Nie dzieje się to jednak bez przyczyny. Pierwszą z nich jest fakt, że w początkowym okresie rozwoju szybownictwa był to jedyny sposób wykonywania żaglowych lotów na szybowcach i jako taki zawsze już pozostanie sposobem klasycznym, choć dziś utracił niemal całkowicie swoje pierwotne znaczenie. Druga przyczyna jest niemal ważniejsza od pierwszej. Zrozumienie bowiem zasady opływu powietrza na zboczu ułatwia zrozumienie mechanizmu powstawania wznoszeń typu falowego. Aby to było możliwe, trzeba zwrócić uwagę nie tylko na to, co dzieje się w bezpośredniej bliskości zbocza, lecz sięgnąć nieco dalej.

9. Prądy falowe

Wzrost prędkości przepływającego nad zboczem powietrza powoduje, wraz ze wzrostem ciśnienia dynamicznego strugi powietrza, spadek ciśnienia statycznego w tej strudze. To z kolei jest przyczyną zwężenia się przepływającej nad zboczem strugi powietrza. W ten sposób zostaje zapoczątkowany ruch falowy powietrza, który jest wynikiem sumowania się prędkości postępowej i prędkości pionowej ruchu drgającego poszczególnych cząstek powietrza. Ruch taki jest możliwy w masie powietrza o równowadze stałej. Dla lepszego zrozumienia — ściślej mówiąc dla lepszego wyobrażenia sobie, jak to



Rys. 6—18. Schemat powstawania ruchu falowego powietrza

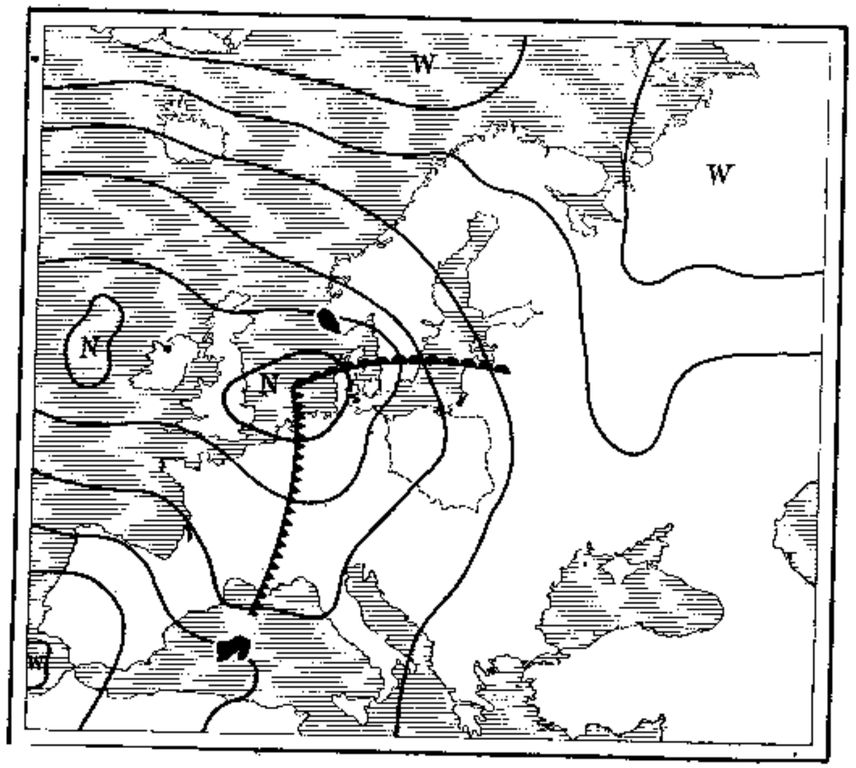
wygląda — radzę przypomnieć sobie powstawanie takich właśnie fal na powierzchni wody za kamieniem leżącym na dnie nurtu płytkiej rzeczki.

Zjawisko ruchu falowego przedstawia się prosto i przejrzyście, gdy prędkość wiatru jest ustalona, a przeszkodę wywołującą ruch falowy stanowi pojedyńcze pasmo górskie (rys. 6—18). Inaczej przedstawi się sytuacja, gdy pasm górskich będzie kilka lub gdy dodatkowo będzie się zmieniać prędkość wiatru. Możemy wtedy mieć do czynienia ze zjawiskiem nakładania się fal, a więc z ich interferencją. Wskutek interperencji następne fale mogą powiększać się (gdy się dodają) lub zanikać (gdy się odejmują). Przy stałej (oczywiście) odległości pasm górskich zmiana prędkości wiatru może wpłynąć na sumowanie się lub odejmowanie amplitudy falowania.

Teraz, gdy zapoznaliśmy się z warunkami powstawania ruchu falowego, zastanówmy się kiedy może on mieć znaczenie dla lotów szybowcowych. Ponieważ w Polsce przeważająca większość pasm górskich układa się równoleżnikowo z zachodu na wschód, zaś zjawisko fali nabiera znaczenia na zawietrznej stronie gór, stąd prosty wniosek, że warunkiem powstawania fali jest silny wiatr południowy (czasami południowo-zachodni) zwany u nas popularnie wiatrem halnym. Długotrwałe obserwacje wskazują na to, że z dobrymi warunkami dla lotów falowych należy się liczyć, gdy ośrodek niżowy znajduje się na zachód od Polski, a do naszego terytorium zbliża się front chłodny lub front zokludowany (rys. 6—19).

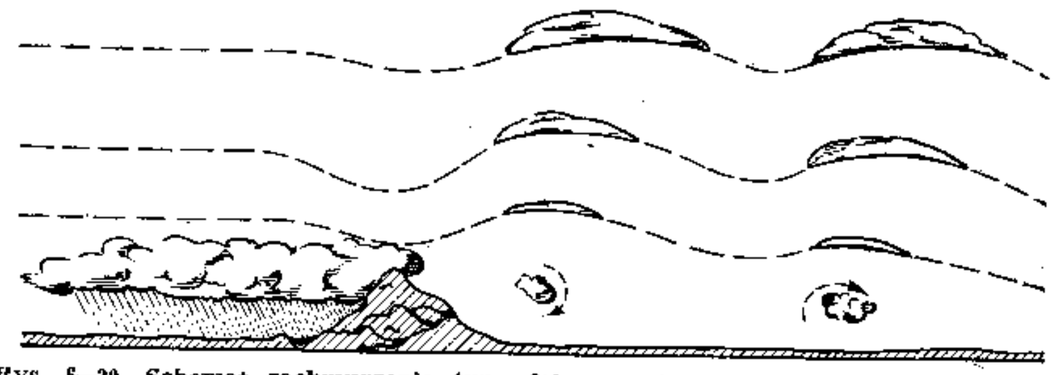
Najczęstsze i najlepsze warunki dla lotów falowych występują zwykle późną jesienią i wczesną wiosną. Zwykle ma to miejsce, gdy wieje wiatr halny. Ciepłe i wilgotne powietrze przemieszczające się szybko z południa napotyka przeszkodę w postaci łańcucha górskiego. Przekraczając go wznosi się, czemu towarzyszy oziębienie i związana z nim kondensacja pary wodnej, a z nią opady na nawietrznych stokach gór (południowych). W ten sposób przed szczytami gór na stronie nawietrznej powstaje tzw. m u r h a l n i a k o w y. Kończy się on na linii grzbietów gór. Po stronie zawietrznej — a więc nad północnymi stokami gór — powietrze opada, a opadając ogrzewa się. Zachmurzenie znika i pozostaje tylko silny ciepły wiatr.

A jak wygląda zachmurzenie na zawietrznej stronie gór? Powietrze



Rys. 6—19. Sytuacja barometryczna sprzyjająca powstawaniu wznoszeń typu falowego w rejonie szybowisk położonych na południu Polski

wprawione w ruch falowy powoduje powstawanie chmur „stojących" o budowie soczewkowatej. Powstają one na „szczytach" poszczególnych fal (rys. 6—20). W miejscach, w których wznoszące się ciepłe powietrze (teraz pozbawione znacznej ilości wilgoci) osiągnie poziom kondensacji, tworzą się chmury. Chmury te nieomylnie wskazują wierzchołki fal. Poza szczytami fal powietrze zaczyna opadać i dlatego chmury już dalej nie tworzą się.



Rys. 6—20. Schemat zachmurzenia typu falowego (w rzeczywistości zachmurzenie może być podobne do przedstawionego schematu, ale może też od niego znacznie odbiegać)

Tak właśnie powstają soczewkowate chmury pochodzenia falowego — Altocumulus lenticularis (patrz również rys. 6—9e). Łatwo je rozpoznać po charakterystycznym kształcie i po tym, że nie przesuwają się z wiatrem (silnym), lecz pozostają stale w tym samym miejscu. Chmury te mogą być nieraz bardzo wysokie i składać się z kilku jak gdyby pięter.

To jest niepełny opis zachmurzenia towarzyszącego warunkom sprzyjającym wykonywaniu lotów falowych. Na niedużych wysokościach pojawiają się także inne chmury. Są to chmury typu Fractocumulus (Cumulus postrzępiony) i oznaczają położenie tak zwanych rotorów. Rotory są to miejsca silnych zawirowań na zawietrznej stronie gór. Gdyby uciec się do analogii z zafalowaniem wody mijającej kamień na dnie rzeki, można by przyrównać rotory do tzw. wiru dennego.

Burzliwość powietrza w rotorach jest bardzo duża i dostanie się w nie na szybowcu lub w zespole szybowiec-samolot prowadzi — w najlepszym razie — do dużych trudności pilotażowych, zerwania linki holowniczej, a nawet może zagrażać wytrzymałości szybowca. Nie znaczy to jednak, aby rotory były „złem koniecznym". Znajomość zjawisk meteorologicznych i duża praktyka w lotach falowych pozwala niekiedy na wykorzystanie wznoszeń towarzyszących rotorom w celu nawiązania kontaktu z falą.

Występowanie wznoszeń typu falowego ma dla szybownictwa bardzo duże znaczenie. Powstają wtedy warunki umożliwiające uzyskanie znacznych wysokości lotu. Lot wysokościowy na fali jest wielokrotnie łatwiejszy i bezpieczniejszy od lotu w wypiętrzonej chmurze kłębiastej, a możliwa do uzyskania wysokość jest nie mniejsza, a nawet często bywa większa niż w chmurze (Cu cong.). Najistotniejsze jest chyba jednak to, że uzyskanie dobrego wyniku lotu jest stosunkowo pewne, gdyż zjawisko falowania nieomal widać (wg rozmieszczenia chmur), a sama obecność soczewkowatych chmur niedwuznacznie świadczy o istnieniu prądów wznoszących. Przy tym wszystkim lot odbywa się z widocznością ziemi, więc pilot przy wyszukiwaniu wznoszeń łatwo może posługiwać się orientacją wzrokową.

Zresztą loty falowe nie tylko pozwalają na uzyskiwanie dużych wysokości. Czasem wykonywane są także przeloty falowe. W takich przypadkach pilot kontynuuje lot wzdłuż poszczególnych zafalowań i zwykle kończy go lotem ślizgowym z wiatrem uzyskawszy poprzednio dużą wysokość, którą w końcówce lotu zamienia na kilometry odległości.

Dla uzupełnienia wiadomości o warunkach sprzyjających lotom falowym warto dodać, że zjawisko falowania — na tyle silne, aby mogło być wykorzystane przez szybowiec — sięga zwykle wysokości kilku tysięcy metrów, a czasem nawet kilkunastu tysięcy metrów.

10. Przewidywanie pogody

Po zapoznaniu się z zasadami ruchu powietrza, z zagadnieniem wody w atmosferze, z chmurami oraz frontami i masami powietrza czas przejść do spraw związanych z określeniem stanu pogody i z jej przewidywaniem.

Są to trudne i bynajmniej nie proste sprawy. Stosunkowo najłatwiej ocenić pogodę i — w naszym przypadku — jej przydatność do wykonywania lotów szybowcowych w zasięgu wzroku. W ocenie tej decydującą rolę odgrywa rodzaj zachmurzenia, obserwacja wiatru i zmian temperatury. Dla określenia naszych przewidywań zasadnicze znaczenie mają obserwacje zmian tych czynników, przy czym bardzo duże znaczenie ma tu dodatkowo obserwacja zmian ciśnienia.

Dzięki tym obserwacjom jesteśmy w stanie sklasyfikować pogodę, a nawet przewidzieć jej ewentualne zmiany. Niestety jest to metoda bardzo niedokładna, a stworzona na jej podstawie prognoza może mieć jedynie co najwyżej orientacyjny charakter. Znacznie dokładniej możemy ocenić pogodę i jej ewentualne zmiany na podstawie mapy synoptycznej.

Co to jest mapa synoptyczna? — Jest to taka mapa, na którą naniesiono dane obserwacyjne z rozmaitych stacji mteorologicznych rozrzuconych w terenie. Każda z tych stacji prowadzi w określonym czasie obserwacje i podaje je innym stacjom do wiadomości, Z zebranych w ten sposób informacji dowiadujemy się: jakie jest zachmurzenie, tj. jaka jest jego wielkość, podstawa i jaki jest rodzaj chmur, jaki jest kierunek i prędkość wiatru, temperatura, widzialność, ciśnienie i jego tendencja (wzrost, spadek). Mając te dane dla różnych punktów w terenie dysponujemy jak gdyby mapą przeglądową pogody.

Łącząc z kolei na tej mapie miejscowości o jednakowym ciśnieniu wykreślamy izobary, a następnie uwzględniając dodatkowo temperaturę i zachmurzenie możemy wykreślić linie frontów. To już pozwala nie tylko określić pogodę, np. na zamierzonej trasie przelotu, ale także wnioskować o mogących nastąpić jej zmianach — a więc pozwala na stworzenie prognozy pogody. Tymi zagadnieniami zajmuje się szeroka i niezwykle interesująca gałąź meteorologii — meteorologia synoptyczna.

Sposób nanoszenia czynników i zjawisk meteorologicznych obserwowanych na stacji oraz wykaz najważniejszych znaków podają zamieszczone rysunki 6—21, 6—22 i 6—23.

Nie łudźmy się! — Z tego skromnego rozdziału na pewno nie nauczymy się przewidywania pogody. Mimo to jednak poświęćmy chwilę uwagi najważniejszym zasadom zmierzającym do tego celu.

Patrząc na mapę synoptyczną w pierwszym rzędzie rzuca się

a. Oznaczenia wielkości zachmurzenia

— bezchmurnie

— 2/8 nieboskłonu

— 4/8 nieboskłonu

— 6/8 nieboskłonu

— zachmurzenie pełne

— nie można określić z powodu mgły

b. Oznaczenia rodzajów chmur

— Cirrus (Ci)

— Cirrostratus (Cs)

— Cirrocumulus (Cc)

— Altostratus (As)

— Altocumulus (Ac)

— Nimbostratus (Ns)

— Cumulus (Cu)

— Cumulonimbus (Cb)

— Stratus (St)

— Stratocumulus (Sc)

c. Oznaczenia tendencji barometrycznej

— wzrost, a następnie spadek

— wzrost, a następnie stan stały

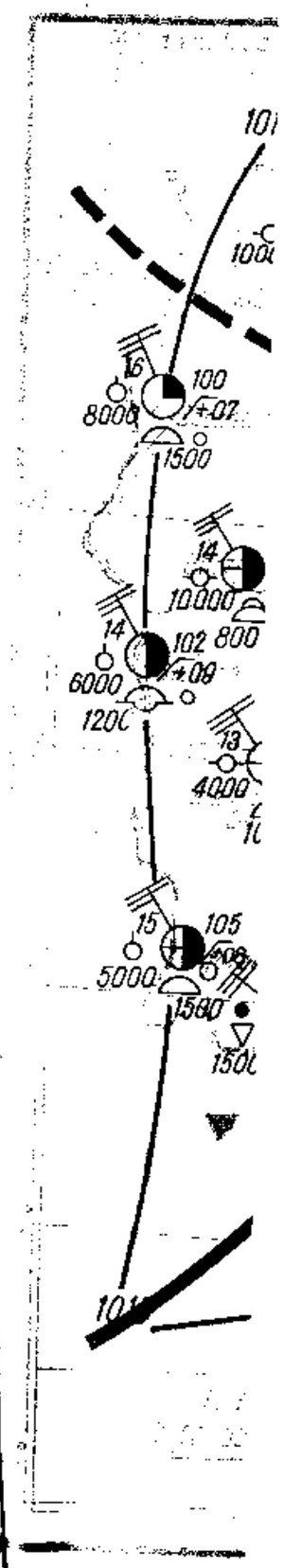
— nieregularny wzrost

— spadek, a następnie wzrost

— spadek, a następnie stan stały

— nieregularny spadek

Rys. 6—21. Niektóre oznaczenia stosowane na mapach synoptycznych



enia wielkości zachmurzenia

— 6/8 nieboskłonu

— zachmurzenie pełne

— nie można określić z powodu mgły

naczenia rodzajów chmur

— Nimbostratus (Ns)

— Cumulus (Cu)

— Cumulonimbus (Cb)

— Stratus (St)

— Stratocumulus (Sc)

czenia tendencji barometrycznej

nie spa-

— spadek, a następnie wzrost

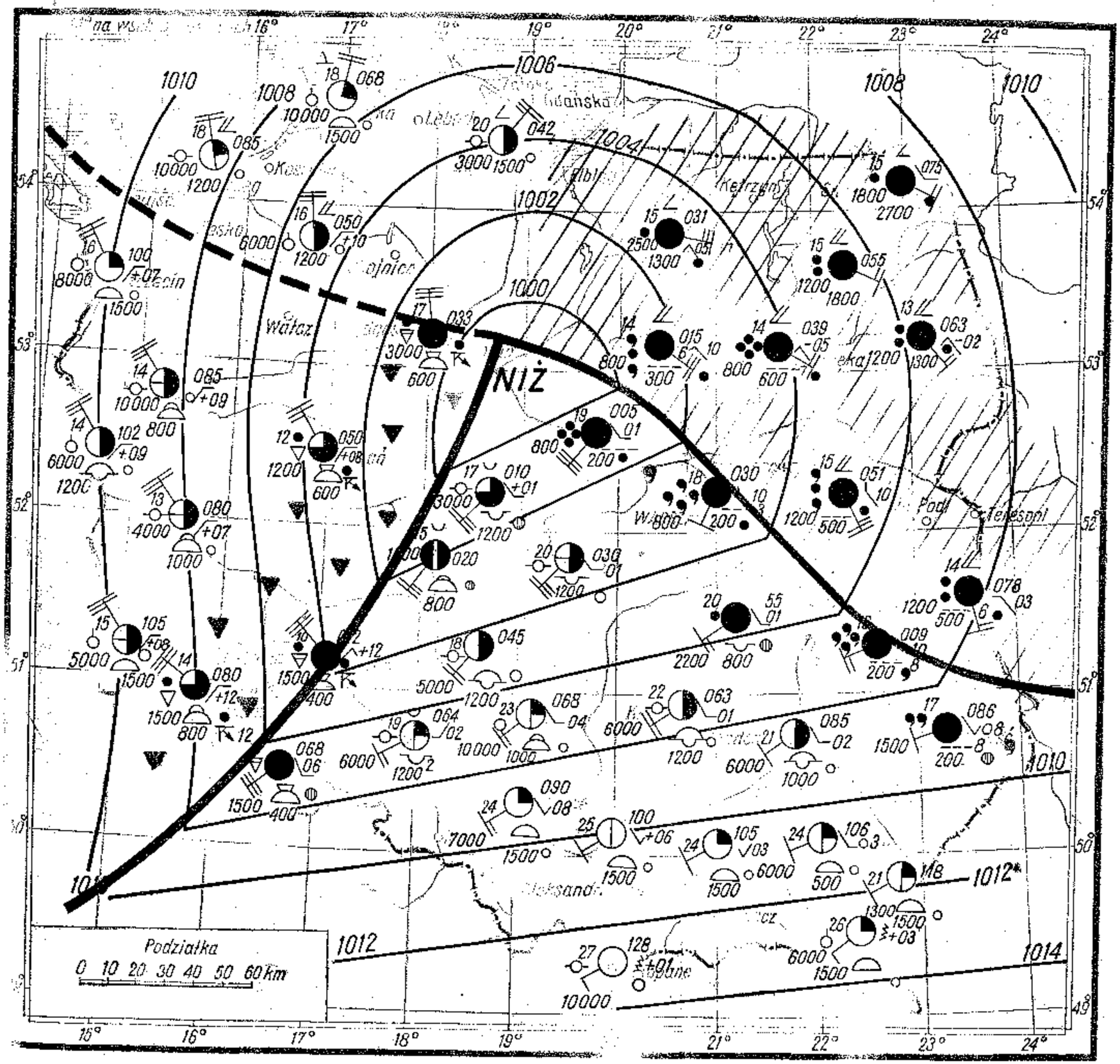
nie stan

— spadek, a następnie stan stały

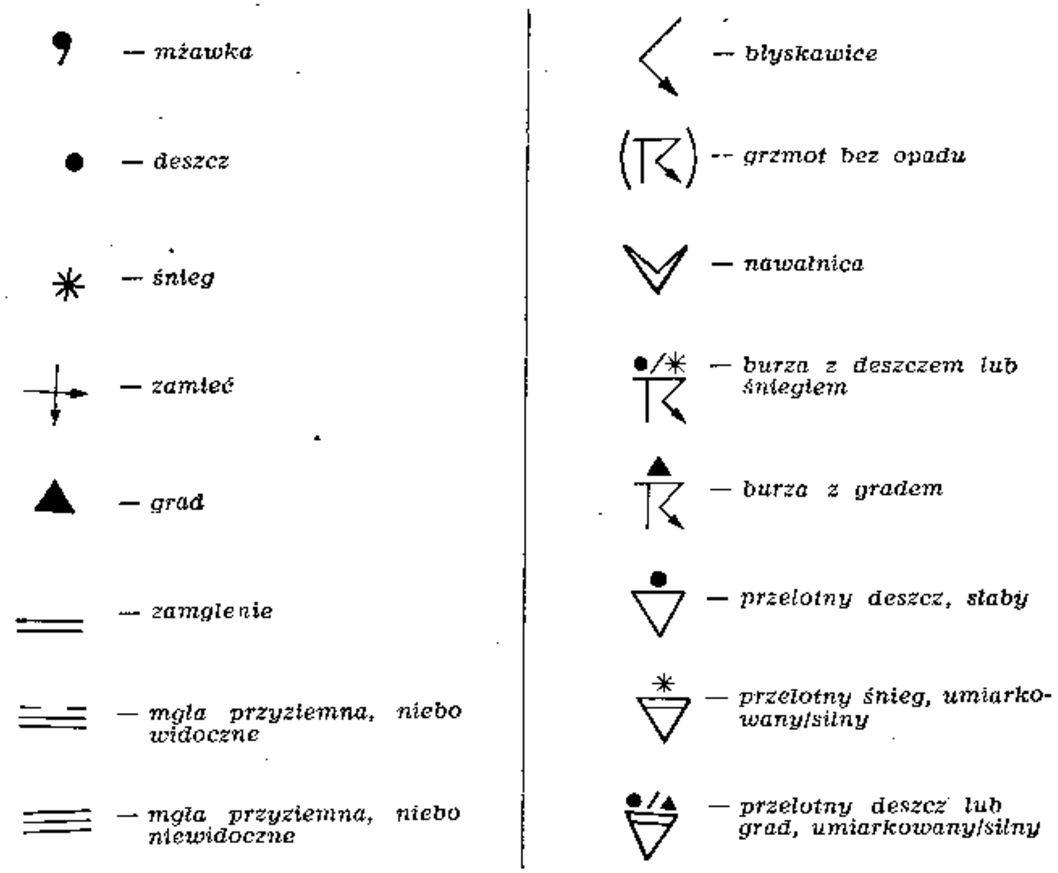
ost

— nieregularny spadek

znaczenia stosowane na mapach synoptycznych



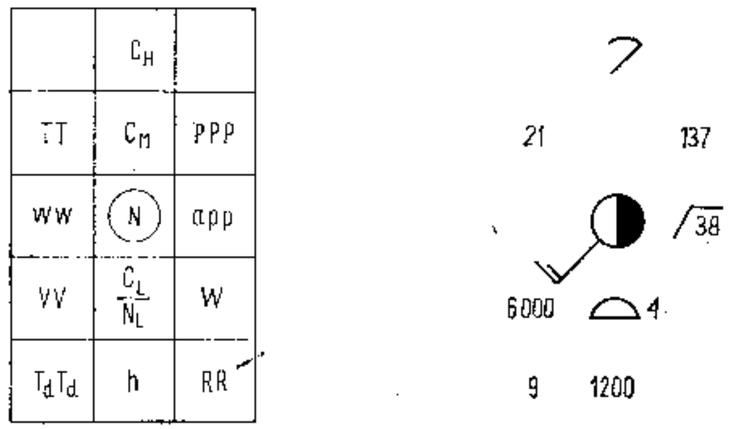
Rys. 6—24. Przykładowa mapa synoptyczna



Rys. 6—22. Niektóre oznaczenia obrazujące opady i zjawiska meteorologiczne stosowane na mapach synoptycznych

w oczy układ izobar z ośrodkami wysokiego ciśnienia i niskiego ciśnienia. Znając rozkład kierunku wiatrów w wyżu i niżu barometrycznym względnie łatwo możemy wywnioskować, z jaką masą powietrza mamy do czynienia, lub też z prędkości wiatru jesteśmy w stanie z grubsza na pierwszy rzut oka przewidzieć, jakie masy powietrza zbliżają się do nas. Patrząc dokładniej na mapę ugruntowujemy pierwsze rozpoznanie masy powietrza odczytując takie dane jak temperaturę i widzialność. Także od razu możemy stwierdzić wielkość i rodzaj zachmurzenia (rys. 6—24).

Równie widoczne jak układ izobar są też linie frontów podane umownymi znakami w kolorach (czerwony — front ciepły, niebieski — front chłodny, fioletowy — front zokludowany). Już na pierwszy rzut oka widać, którędy one przebiegają. W ślad za tym pierwszym spojrzeniem na mapę idzie dalsze — odszukujemy rodzaj i wielkość zachmurzenia, ewentualne opady i różnice temperatury powietrza przed i za frontem.



Rys. 6—23. Model stacji synoptycznej oraz sposób wnoszenia obserwacji meteorologicznych

– oznaczenie kierunku i prędkości wiatru w węzłach — wiatr z kierunku 225° lub z SW o prędkości 7 węzłów (1 krótka kreska prostopadła do kierunku = 2 węzły albo ≈ 1 m/sek, 1 długa kreska prostopadła do kierunku wiatru = 5 węzłów albo ≈ 2,5 m/sek);

C_H — chmury wysokie: *Ci, Cs, Cc*;
C_M — chmury średnie: *Ac, As*;
C_L — chmury niskie: *Ns, St, Sc, Cu, Cb*;
N — wielkość zachmurzenia ogólnego;
N_L — wielkość zachmurzenia przez chmury, których podstawę podano;
h — wysokość podstawy chmur;
TT — temperatura powietrza;
ww — pogoda w chwili obserwacji (zjawiska);
VV — widzialność pozioma;
T_dT_d — temperatura punktu rosy;
PPP — ciśnienie barometryczne w milibarach (3 ostatnie cyfry, w tym jedna po przecinku);
app — tendencja barometryczna i jej wielkość;
W — zjawiska charakterystyczne ubiegłej pogody;
RR — wysokość opadu w ostatnich 12 godzinach.

Niestety nie wystarczy rozpoznać pogodę na podstawie mapy. Niezależnie od tego trzeba zdać sobie sprawę, że mapa „żyje", a naniesione na nią układy przemieszczają się, rozbudowują lub zanikają. To jednak jest już zagadnienie trudniejsze. Aby z niego znaleźć wyjście, trzeba porównać aktualną mapę pogody z poprzednimi mapami. Wtedy dopiero będzie nam łatwiej przewidzieć pogodę.

11. Komunikaty meteorologiczne dla szybownictwa

Nieocenione usługi w przekazywaniu prognoz pogody, a także danych o aktualnym stanie pogody, oddają komunikaty meteorologiczne dla szybownictwa. Komunikaty takie — to szyfrowane sposoby przekazywania informacji w formie klucza, przy czym informacje te

są uszeregowane w ustalonej kolejności, a każda cyfra klucza stanowi określony symbol.

Istnieją w obecnej chwili dwa rodzaje komunikatów meteorologicznych dla szybownictwa: METSZYB i METSZYB FALA. Są one nadawane za pośrednictwem Polskiego Radia, najczęściej po ostatnim dzienniku wieczornym. Komunikat zaczynający się hasłem METSZYB podaje prognozę pogody dla pewnej określonej części obszaru Polski (na ogół korzystne dla wykonywania lotów szybowcowych). Komunikat METSZYB FALA natomiast podaje warunki meteorologiczne sprzyjające wykonywaniu wysokościowych lotów szybowcowych na prądach falowych.

Pełny opis tych komunikatów, sposób ich szyfrowania i rozszyfrowywania, znajdzie Czytelnik w książce inż. Czesława Szczecińskiego pt. „Meteorologia dla wszystkich". Tu natomiast zostanie podany jedynie najkrótszy i najprostszy z nich — METSZYB FALA — mający jednak bardzo istotne znaczenie dla pilotów wyczynowych ze względu na możliwości uzyskiwania warunków wysokościowych do Złotych i Diamentowych Odznak Szybowcowych.

Na wstępie trzeba zaraz zwrócić uwagę, że komunikat METSZYB FALA obowiązuje jedynie dla określenia warunków pogodowych w rejonie Karkonoszy. Trzeba o tym pamiętać, bowiem w przeciwnym razie mogłoby nas spotkać niepotrzebne rozczarowanie, gdybyśmy prognozę tę chcieli wykorzystać dla innego terenu.

Komunikat METSZYB FALA ma następującą postać klucza:

METSZYB FALA YYGG W_1DKF W_2DKF

Znaczenie symboli klucza jest następujące:

YY — data nadania klucza (dzień bieżącego miesiąca, np. *15* — oznacza „piętnastego", np. *06* — oznacza „szóstego");
GG — godzina nadania komunikatu (np. *21* — godzina „dwudziesta pierwsza" lub np. *09* — godzina „dziewiąta");
W — wskaźnik literowy grupy pierwszej, w miejsce którego podstawia się cyfrę *1* — jeżeli komunikat dotyczy warunków na dzień następny (na 24 godziny);
W — wskaźnik grupy drugiej, w miejsce którego podstawia się cyfrę *2* — jeżeli komunikat dotyczy warunków przewidywanych na dwa dni naprzód (na 48 godzin);
D — prawdopodobieństwo występowania ruchów falowych w Karkonoszach przy wietrze z kierunków 160°—200°;
  1 — brak warunków do powstawania poważniejszych ruchów falowych;
  2 — małe prawdopodobieństwo występowania ruchów falowych przy wietrze o prędkości 10—20 m/sek;

3 — duże prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów falowych przy wietrze o prędkości powyżej 20 m/sek;

K — prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów falowych w Karkonoszach przy wietrze z kierunków 201°—240°;
1 — brak warunków do powstawania poważniejszych ruchów falowych;
2 — małe prawdopodobieństwo występowania ruchów falowych przy wietrze o prędkości 10—20 m/sek;
3 — duże prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów falowych przy wietrze o prędkości powyżej 20 m/sek;

F — pionowy zasięg ruchów falowych:
1 — brak danych;
2 — słaby rozwój ruchów falowych;
3 — silniejszy rozwój ruchów falowych.

Jeżeli Polskie Radio nada np. następujący komunikat:

METSZYB FALA 3112 1202 2033

oznacza to: komunikat nadano dnia trzydziestego pierwszego o godzinie dwunastej; jutro przewiduje się małe prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów falowych w rejonie Karkonoszy przy wietrze z kierunku 160° do 200° i o prędkości 10—20 m/sek; rozwój ruchów falowych będzie słaby; pojutrze istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów falowych w rejonie Karkonoszy przy wietrze z kierunku 201°—240°, przy czym prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów falowych jest duże przy prędkości wiatru powyżej 20 m/sek; przewiduje się silniejszy rozwój ruchów falowych.

Dla nabrania wprawy w posługiwaniu się tym kluczem proponujemy rozszyfrować następujący komunikat:

METSZYB FALA 0221 1021 2032

Nie sposób w tak krótkim rozdziale omówić choćby najpobieżniej wszystkie zagadnienia meteorologii. Staraliśmy się wybrać spośród nich te, które są niezbędne dla zorientowania się w całości tematu.

Meteorologia jest nauką niezwykle ciekawą i ogromnie potrzebną pilotowi szybowcowemu. Jeżeli wiadomości zawarte w tym rozdziale zainteresowały Czytelnika i dały mu choćby zgrubne podstawy do zorientowania się w tym temacie — spełnił on swoją rolę.

Tych wszystkich, którzy chcieliby zapoznać się bliżej z meteorologią, odsyłamy do — na szczęście dość licznych publikacji z tej dziedziny.

Mgr *Jerzy Adamek*

Rozdział siódmy

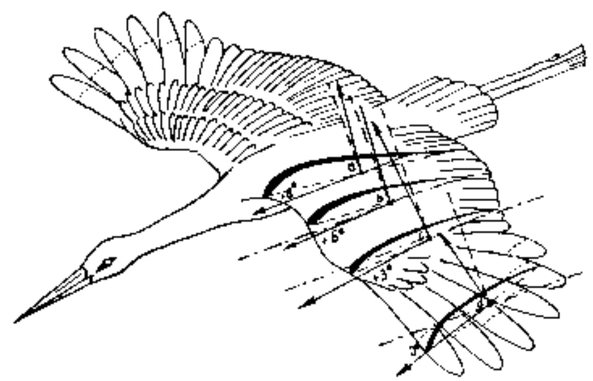
Nauka pilotażu podstawowego

1. Przebieg szkolenia szybowcowego

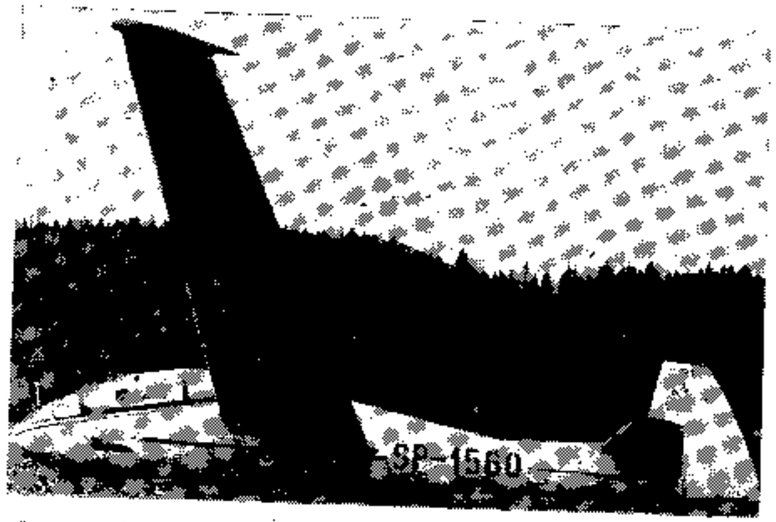
Różne drogi prowadzą do osiągnięcia wysokiego poziomu techniki pilotażu szybowcowego. Na przestrzeni ostatnich dziesiątków lat obserwujemy stałe doskonalenie metod nauczania, począwszy od skoków w terenie górzystym na prymitywnych szybowcach zbudowanych na wzór skrzydeł ptaków czy nietoperzy, aż do szybowców dwumiejscowych, których osiągi pilotażowe dorównują seryjnym szybowcom wyczynowym (rys. 7—1 i 7—2).

Szkolenie szybowcowe prowadzone przez Aeroklub Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej ma w dużym skrócie następujący przebieg.

Pierwszym warunkiem upoważniającym kandydata na pilota szybowcowego do szkolenia w powietrzu jest ukończenie kursu teoretycznego. Ten rodzaj szkolenia prowadzony jest przez aerokluby regionalne i koła lotnicze w celu wyeliminowania osób o małym zainteresowaniu lotnictwem i wybrania spośród kandydatów najchętniejszych, najpracowitszych i najzdolniejszych. W czasie kursu teoretycznego kandydaci zapoznają się z podstawowymi zagadnieniami dotyczący-



Rys. 7—1. **Pierwsze udane loty szybowcowe Lilienthala w roku 1891 były wykonane na „aparatach" wzorowanych na szkrzydłach ptaków lub nietoperzy**



Rys. 7—2. Polski dwumiejscowy szybowiec wyczynowy „Bocian"

mi historii lotnictwa, teorii lotu, meteorologii, budowy szybowców i sprzętu pomocniczego oraz przepisów lotniczych. Niezależnie od zajęć teoretycznych uczestnicy kursu zapoznają się praktycznie ze sprzętem szybowcowym i pomocniczym, a w przypadku posiadania w aeroklubie lub kole lotniczym symulatora lotów, albo chwiejnicy wysięgnikowej (urządzenia naziemne), przechodzą naukę z zakresu podstawowych elementów pilotażu.

Ukończenie kursu teoretycznego oraz nauki pilotażu na urządzeniach naziemnych uprawnia do noszenia Odznaki Szybowcowej kategorii „A" (z jedną mewką).

Ze względu na to, że nie wszystkie wspomniane ośrodki są wyposażone w naziemne urządzenia symulujące lot, do rozpoczęcia szkolenia w powietrzu wystarcza tylko świadectwo ukończenia kursu teoretycznego, odpowiedni stan zdrowia, wykształcenie ogólne w zakresie 9 klas szkoły oraz ukończone 16 lat życia.

Szkolenie szybowcowe może się odbywać systemem „dochodzącym" — dla kandydatów mieszkających w pobliżu lotniska, dla młodzieży zaś nie mającej możliwości łatwego dostania się na lotnisko organizowane są w okresie wakacji letnich „skoszarowane" obozy szybowcowe. Czas trwania takiego obozu waha się od 3 do 6 tygodni zależnie od wyposażenia technicznego, liczebności grupy, umiejętności i zdolności uczniów, a przede wszystkim pogody. Okres szkolenia systemem „dochodzącym" może być jeszcze dłuższy, przy czym najważniejszym elementem jest częstotliwość dni lotnych w tygodniu.

Podstawowe szkolenie odbywa się na szybowcu szkolnym dwumiejscowym z instruktorem, przy czym starty wykonywane są za wyciągarką. Liczba lotów dwusterowych waha się w granicach 45 do 60, po czym następują loty samodzielne na tym samym szybowcu

szkolnym. Wykonanie 20 lotów samodzielnych warunkuje uzyskanie III klasy wyszkolenia, czyli otrzymanie Odznaki Szybowcowej kategorii „B" (dwie mewki) i uprawnia do przejścia na drugi podstawowy rodzaj startu szybowcowego, jakim jest lot za samolotem, oraz na drugi typ szybowca — jednomiejscowy szybowiec treningowo-wyczynowy.

Ten etap szkolenia szybowcowego obejmuje wykonanie około 8—14 lotów z instruktorem na szybowcu dwumiejscowym za samolotem oraz 3—5 lotów samodzielnych na szybowcu treningowo-wyczynowym. Po pomyślnym wykonaniu tych lotów uczeń kończy cykl podstawowego szkolenia uzyskując tytuł pilota szybowcowego kategorii „C" (z trzema mewkami).

Uzyskanie tytułu Pilota Szybowcowego III Klasy i Odznaki Szybowcowej kategorii „C" oznacza zakończenie kursu podstawowego wyszkolenia szybowcowego — dla „skoszarowanych" również koniec obozu letniego — podczas którego uczeń — pilot powinien wykonać w sumie około 100 lotów w czasie 8 godzin oraz opanować następujące elementy techniki pilotażu: starty za wyciągarką, starty i loty za samolotem, loty ślizgowe, zakręty, budowę kręgu nadlotniskowego, wyprowadzanie z korkociągu, manewrowanie do lądowania i lądowanie.

Czy szkolenie szybowcowe kończy się z chwilą powrotu pilota z obozu szybowcowego z „trzema mewkami" w klapie? Nie! „Trzy mewki" to dopiero początek latania. Aby młody pilot nie zapomniał tych umiejętności, które nabył na kursie oraz mógł je dalej doskonalić, musi uczęszczać na trening w swym macierzystym aeroklubie. Treningi odbywają się tam prawie codziennie. I jakkolwiek każdy dzień przeciętnego pilota jest zajęty nauką lub pracą zawodową, to jednak jedno popołudnie w tygodniu oraz część niedzieli na pewno można przeznaczyć na latanie.

Szkolenie skoszarowane odbywa się na obozach Lotniczego Przysposobienia Wojskowego (LPW) I-stopnia, a w następnym roku — po zdaniu matury — na obozie LPW II-stopnia, które przygotowuje bezpośrednio do Oficerskiej Szkoły Lotniczej.

Jeżeli pilot szybowcowy nie wybiera się do Oficerskiej Szkoły Lotniczej, wówczas stara się o zdobycie Srebrnej Odznaki Szybowcowej.

Rys. 7—3. Odznaki szybowcowe uzyskiwane w czasie podstawowego szkolenia szybowcowego

a — Odznaka Szybowcowa kat. A, b — Odznaka Szybowcowa kat. B, c — Odznaka Szybowcowa kat. C, zwana również Odznaką Szybowcową III klasy

Rys. 7—4. Wyczynowe Odznaki Szybowcowe

a i *b* — Srebrna Odznaka Szybowcowa (Złota Odznaka jest taka sama, a różni się kolorem), *c* — Złota Odznaka Szybowcowa z Diamentami

Warunkiem jej uzyskania są trzy osiągnięcia: lot trwający ponad 5 godzin, przelot ponad 50 km i przewyższenie ponad 1000 m, przy czym przewyższeniem nazywa się wysokość osiągniętą ponad miejsce wyczepienia się z wyciągarki czy samolotu, a mówiąc ściślej — wysokość samodzielnie osiągniętą przez szybowiec (patrz również rozdział 11 — *Przepisy sportowe*). Akrobacja podstawowa, loty bez widoczności ziemi i Srebrna Oznaka Szybowcowa zamykają w zasadzie wyszkolenie pilota III klasy. W tym czasie pilot zdaje egzamin państwowy i otrzymuje międzynarodową Licencję Pilota Szybowcowego.

Teraz z kolei pilot stara się zdobyć Złotą Odznakę Szybowcową, do której trzeba wykonać: przelot 300 km oraz uzyskać przewyższenie 3000 m. A po tym — marzenie każdego szybownika — najwyższe wyróżnienie — Złota Odznaka Szybowcowa z Trzema Diamentami. Diamenty te uzyskuje się za: przewyższenie 5000 m, przelot otwarty 500 km i przelot docelowy 300 km (przelot docelowy — to przelot, w którym pilot zapowiada przed startem miejsce lądowania i tam właśnie ląduje).

Czy łatwo jest zdobyć Złotą Odznakę Szybowcową z Trzema Diamentami? Raczej trudno. Odznakę tę ma niewielu pilotów na świecie, przy czym z dumą trzeba wspomnieć, że duża część odznak jest w posiadaniu Polaków. Tak samo zresztą w ilości zdobytych Złotych Odznak Szybowcowych zajmujemy jedno z czołowych miejsc w świecie (patrz również rozdział 13 — Szybownictwo w Polsce i na świecie).

Jeżeli wyszkolony już pilot szybowcowy będzie w ciągu całego roku pilnie uczęszczał na treningi w macierzystym aeroklubie, może w krótkim czasie zostać wyczynowcem i brać udział w Całorocznych Zawodach Szybowcowych o Memoriał Ryszarda Bitnera. Zawody te polegają na tym, że spośród wszystkich lotów wyczynowych, każdego ze zgłoszonych w danym roku pilotów, brane są pod uwagę najlepsze trzy wyniki. W ten sposób co roku 10 pilotów z największą liczbą punktów startuje w Szybowcowych Mistrzostwach Polski, a dalszych 10 w Krajowych Zawodach Szybowcowych.

W tym pobieżnym zaznajomieniu się z przebiegiem szkolenia szybowcowego pominięto stronę przygotowania teoretycznego. Trzeba

dnak podkreślić, że każde nowe zadanie wyszkoleniowe ma bardzo szerny materiał teoretyczny, który pilot musi opanować. Niezbędny materiał podawany jest na ogół na wykładach przez insruktorów szybowcowych. Do pogłębienia natomiast niektórych wiadomości może służyć fachowa literatura pomocnicza zamieszczona na końcu niniejszej książki, a *Podręcznik pilota szybowcowego* ma być niejako przewodnikiem i drogowskazem w poszczególnych zagadnieniach dotyczących wyszkolenia szybowcowego.

Znając już w zarysie całokształt przebiegu szkolenia szybowcowego zajmiemy się teraz stroną techniczną poszczególnych elementów lotu szybowcowego, czyli t e c h n i k ą p i l o t a ż u. Pod pojęciem tym należy rozumieć taki sposób posługiwania się sterami, aby szybowiec był posłuszny woli pilota i prawidłowo wykonywał zamierzone przez niego ruchy w przestrzeni. Opanowanie techniki pilotażu prowadzi z kolei do odruchowego posługiwania się sterami, wskutek czego pilot może skupić całą swoją uwagę na taktycznym rozegraniu lotu. Ponadto trzeba również pamiętać, że każdy lot wymaga pełnej sprawności fizycznej i psychicznej pilota, o czym decyduje właściwy wypoczynek, odżywienie i samopoczucie. W razie więc przemęczenia lub złego samopoczucia lepiej zrezygnować z lotu, niż narażać swoją osobę i szybowiec na wypadek.

2. Technika wykonywania startów

a. Start za pomocą wyciągarki

Do obowiązków pilota, który zajął miejsce w szybowcu i ma zamiar wykonać start za wyciągarką, należy przed każdym lotem:

— sprawdzenie domknięcia limuzyny (sworznie blokujące położenie muszą znajdować się w swoich gniazdach);

— sprawdzenie prawidłowego działania sterów (przechylić drążek sterowy w lewo ściągając go równocześnie na siebie oraz wdepnąć lewy pedał steru kierunku — spojrzeć na lewe skrzydło, a następnie sprawdzić, czy lotka jest uniesiona do góry, ster kierunku wychylony w lewo i ster wysokości podniesiony do góry);

— sprawdzenie zamknięcia i zablokowania hamulców aerodynamicznych (za pomocą dźwigni otworzyć hamulce, a następnie dość energicznie je zamknąć);

— sprawdzenie działania zaczepu startowego (pomoc startowa pod-

łącza linkę wyciągarki do zaczepu i naciąga ją; w tym momencie pilot pociąga za gałkę wyzwalającą powodując zwolnienie linki; po prawidłowym odczepieniu pomoc startowa ponownie podłącza linkę wyciągarki do zaczepu);

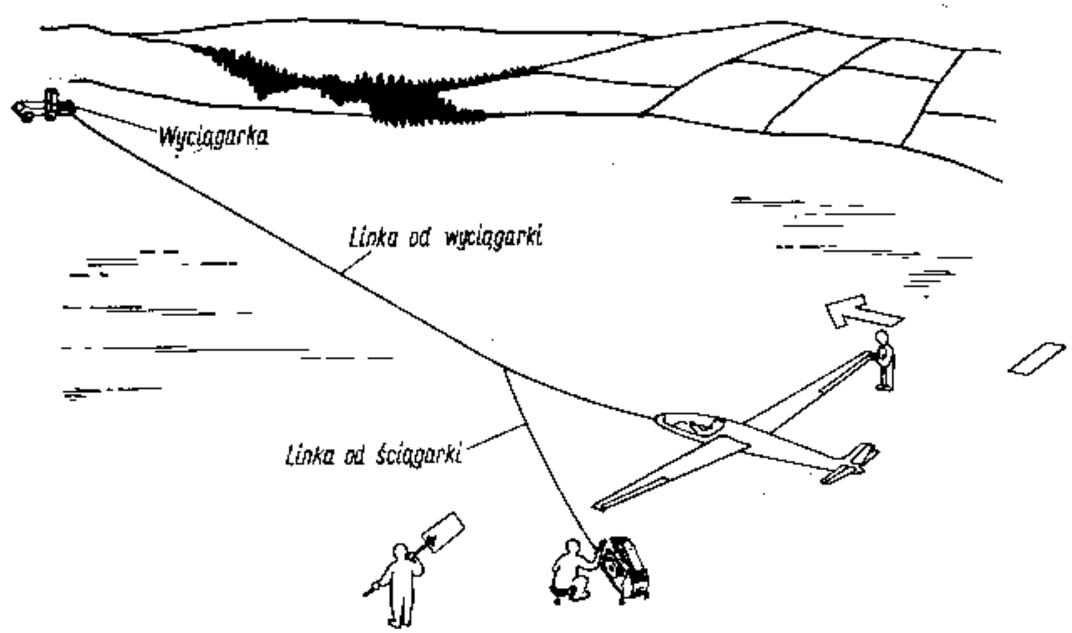
— sprawdzenie kierunku wiatru (czy start odbywa się w łożu wiatru i pod wiatr);

— sprawdzenie przedpola startu (czy jest wolne od ludzi i przeszkód);

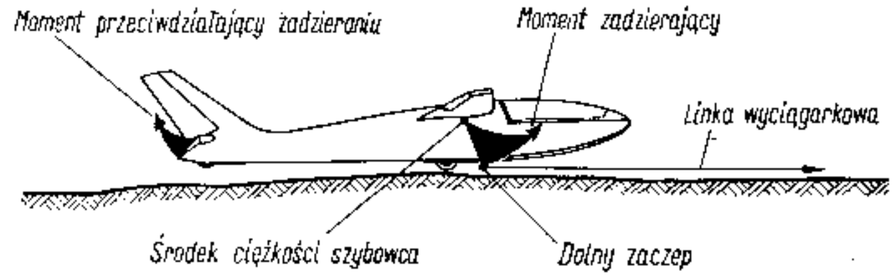
— podniesienie lewej ręki do góry oznaczające gotowość do lotu.

Udział pilota przy starcie za wyciągarką przedstawia się następująco. Ster kierunkowy i lotki należy ustawić w położeniu neutralnym (środkowym), a ster wysokości opuścić trochę poza położenie neutralne przez oddanie drążka sterowego od siebie. Wykonuje się to w początkowej fazie startu, gdy szybowiec jest jeszcze nisko nad ziemią, aby zapobiec gwałtownemu uniesieniu się do przodu szybowca w górę. W przypadku bowiem gwałtownego szarpnięcia przez linkę wyciągarkową może nastąpić wyczepienie, zerwanie lub zluźnienie linki, a szybowiec — wskutek utraty prędkości na dużych kątach natarcia — straci wówczas siłę nośną i przepadnie rozbijając się o ziemię.

Podany wyżej opis startu dotyczy szybowców z przednim położeniem kółka podwozia (środek ciężkości znajduje się z tyłu za kółkiem). Jeżeli natomiast środek ciężkości szybowca znajduje się przed kółkiem, tzn. kiedy szybowiec opiera się na ziemi o płozę przednią, wówczas w czasie rozbiegu po ziemi należy początkowo zwiększyć



Rys. 7—5. Start szybowca za pomocą wyciągarki



Rys. 7—6. Moment zadzierający przy starcie za dolnym zaczepem

kąt natarcia przez lekkie ściągnięcie drążka sterowego na siebie, a z chwilą oderwania się szybowca od ziemi zmniejszyć go przez oddanie drążka od siebie poza położenie neutralne.

Właściwy przebieg sygnalizacji związanej ze startem szybowca za wyciągarką wygląda następująco. Z chwilą kiedy szybowiec jest już gotowy do startu, sygnalizator stojący z boku szybowca podnosi do góry tarczę sygnalizacyjną zwracając jej czerwoną stronę w kierunku wyciągarki. Na sygnał ten obsługa wyciągarki (mechanik wyciągarkowy) odpowiada również czerwoną tarczą lub ciągłym czerwonym sygnałem świetlnym, co oznacza — „wyciągarka przygotowana do ciągnięcia". Wówczas stojący na starcie sygnalizator obraca tarczę na kolor biały, co z kolei oznacza — „można ciągnąć", a obsługa wyciągarki odpowiada białą tarczą lub ciągłym zielonym sygnałem świetlnym — „zaczynam ciągnąć".

W momencie kiedy linka wyciągarkowa zostaje naprężona, sygnalizator opuszcza powoli tarczę sygnalizacyjną do poziomu, a z chwilą ruszenia szybowca z miejsca opuszcza ją do ziemi. Sygnalizator tak długo trzyma jeszcze tarczę sygnalizacyjną w ręku obserwując lot szybowca, dopóki linka wyciągarkowa nie została odczepiona od szybowca.

Znakiem podawanym ze startu do mechanika wyciągarkowego, aby zwiększył prędkość ciągnięcia, jest wykonanie czerwoną stroną tarczy sygnalizacyjnej trzech skłonów do przodu. Trzy skłony białą stroną tarczy — natomiast — oznaczają nakaz ciągnięcia wolniejszego.

Jeżeli start szybowca odbywa się przy użyciu przedniego zaczepu, wówczas tarczę sygnalizacyjną na wstępie wymiany sygnałów obraca się dokoła osi drzewca zmieniając stale kolory biały i czerwony. Dalszy ciąg sygnalizacji niczym się nie różni od opisanej wyżej.

Technika startu za dolnym zaczepem jest nieco odmienna niż za przednim zaczepem, a to ze względu na występowanie bardzo silnego momentu zadzierającego szybowiec na duże kąty natarcia (rys. 7—6). Pilot przeciwdziała temu momentowi oddając drążek sterowy „od siebie".

Rozpędzanie szybowca do prędkości niezbędnej dla jego oderwania się od ziemi przebiega na przestrzeni kilku do kilkudziesięciu metrów,

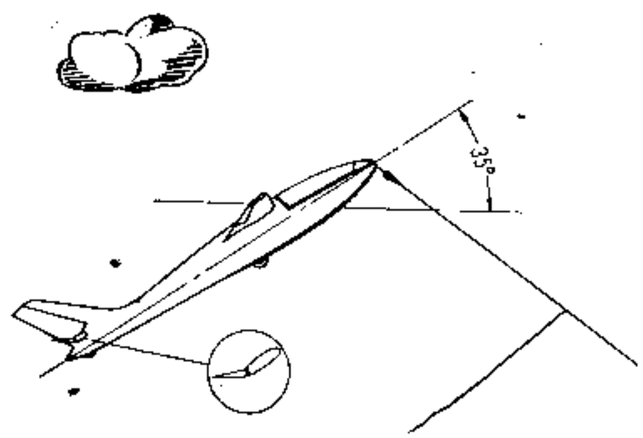
zależnie od ciężaru szybowca, siły ciągu wyciągarki oraz prędkości wiatru. Szybowiec lekki, o małym obciążeniu powierzchni nośnej, odrywa się szybciej od szybowców ciężkich, zwłaszcza przy silnym wietrze czołowym.

W czasie startu, kiedy szybowiec jeszcze rozpędza się po ziemi, najskuteczniejszym sterem jest ster kierunkowy. Za pomocą niego właśnie należy utrzymywać obrany kierunek. W przypadku jednak zejścia szybowca z kierunku o kąt większy niż 30° albo też w przypadku zaczepienia skrzydłem o ziemię należy natychmiast się odczepić.

Na początku startu lotki szybowca są jeszcze, ze względu na małą prędkość lotu, prawie nieskuteczne. Dlatego też zaraz po oderwaniu się szybowca od ziemi należy utrzymywać go tuż nad powierzchnią lotniska. Dopiero po nabraniu odpowiedniej prędkości, kiedy jest już sterowny, szybowiec samoczynnie zaczyna zwiększać kąt natarcia. Dzieje się to przy optymalnej prędkości lotu.

Moment przechodzenia szybowca samoczynnie na zwiększone kąty natarcia, czyli przejście do wznoszenia, jest najtrudniejszą fazą startu. Zbyt wczesne bowiem przejście na duży kąt wznoszenia stwarza niebezpieczeństwo w tym, że w razie zaniku ciągu linki wyciągarkowej z jakiejkolwiek przyczyny, np. zerwanie linki, zdławienie silnika wyciągarki, samowyczep itp., szybowiec nie zdąży nabrać odpowiedniej prędkości i bezwładnie uderzy o ziemię. Chcąc zatem zapobiec takiej ewentualności pilot utrzymuje przy ziemi mały kąt wznoszenia. Trzeba tu po prostu przyjąć zasadę — poniżej 30 m wysokości nie wolno ściągać drążka na siebie poza neutrum.

Następna faza startu za wyciągarką obejmuje zasadnicze wznoszenie, przy którym szybowiec nabiera najwięcej wysokości. Jeżeli start odbywa sę za przednim zaczepem, wówczas w miarę oddalania się szybowca od ziemi należy drążek sterowy łagodnie ściągać na siebie — aż do pełnego wychylenia steru wysokości. W czasie natomiast startu za dolnym zaczepem ściągnięcie drążka niewiele odbiega

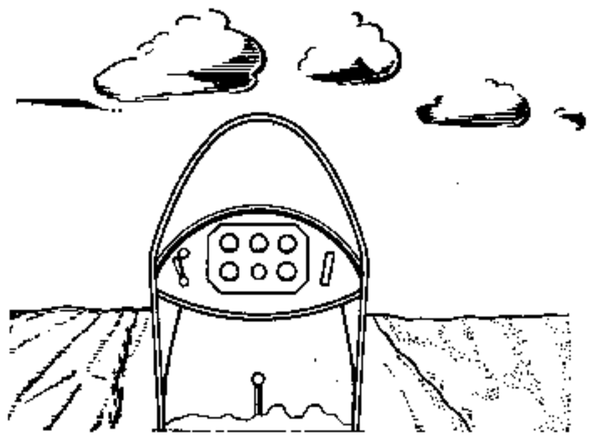


Rys. 7—7. Kąt wznoszenia szybowca przy starcie za przednim zaczepem

od położenia neutralnego. Kąt wznoszenia szybowca powinien się przy tym wahać w granicach: od 30° — dla zaczepu przedniego (rys. 7—7) do 50° — dla zaczepu dolnego.

Prędkość lotu szybowca przy wznoszeniu powinna wynosić o około 10% więcej niż prędkość optymalna danego typu, nie może być jednak mniejsza od prędkości optymalnej i nie większa, niż przewiduje to instrukcja eksploatacji danego szybowca. Mniejsza prędkość nie może być dlatego, ponieważ szybowiec będzie wówczas mało sterowny (jak mówi się: „leniwy na stery"). Nie może również być większa niż przewiduje to instrukcja eksploatacji danego typu, ponieważ może dojść do zerwania linki lub do przeciążenia niszczącego konstrukcję szybowca.

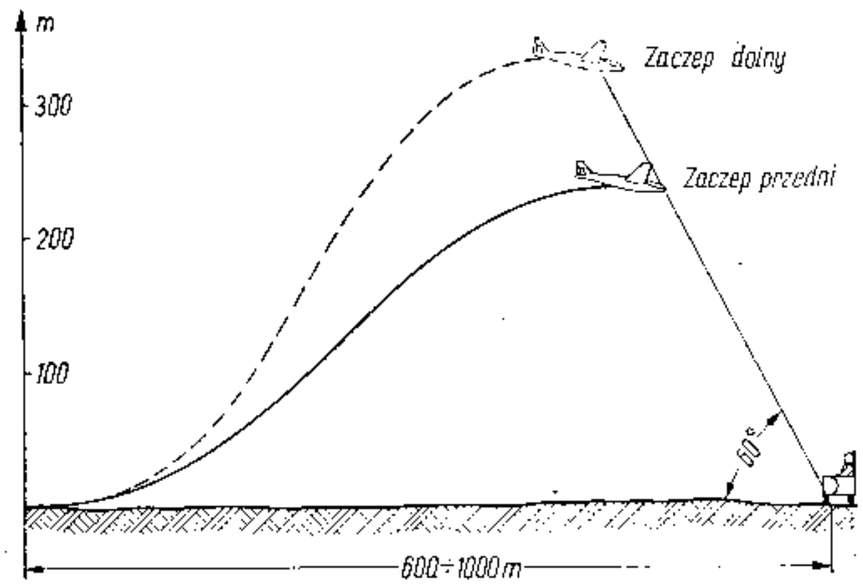
Aby nie dopuścić do przeciążenia niszczącego, końcówka linki wyciągarkowej zaopatrzona jest w bezpiecznik zrywowy (kawałek cienkiej linki — rys. 5—11) obliczony na siłę zrywającą 460—600 kGł Po przekroczeniu dopuszczalnego obciążenia bezpiecznik zrywa się zapobiegając uszkodzeniu konstrukcji szybowca (patrz również rozdziały: 2, pkt 7 oraz 5, pkt 2a).



Rys. 7—8. W celu utrzymania kierunku przy starcie za wyciągarką najlepiej obrać punkt orientacyjny w postaci chmury nad horyzontem

W przypadku, kiedy szybowiec w czasie startu za wyciągarką zostanie pozbawiony ciągu (zdławienie silnika wyciągarki, zerwanie bezpiecznika, zerwanie linki wyciągarkowej), pilot musi natychmiast przejść na małe kąty natarcia przez zdecydowane oddanie drążka sterowego od siebie. W podobny sposób postępuje zawsze z chwilą ustania ciągu z powodu samoczynnego odczepienia się linki (samowyczep). Nisko nad ziemią ruch ten powinien być równie szybki, ale mniejszy.

Utrzymywanie kierunku lotu przy wznoszeniu na lince wyciągarkowej odbywa się następująco. Pilot powinien przede wszystkim obrać przed sobą jakiś punkt orientacyjny (najlepiej chmurę nad horyzontem) i w kierunku na niego sterować szybowiec (rys. 7—8). Może również w tym czasie spojrzeć na końce skrzydeł, aby stwierdzić czy znajdują się w tej samej odległości od linii horyzontu. W ten sposób zapobiega się zwisom oraz schodzeniu szybowca z kierunku. Utrzymywanie prędkości przy wznoszeniu za linką wyciągarki odbywa się według następujących zasad: chcąc zmniejszyć prędkość szybowca —



Rys. 7—9. Miejsce odczepienia linki wyciągarkowej przy starcie

należy zmniejszyć jego kąt natarcia, a więc odwrotnie niż przy locie swobodnym.

Niektóre szybowce, zwłaszcza w czasie startu za przednim zaczepem, przy zbyt silnym ściągnięciu drążka na siebie mają tendencję do rozkołysania się wokół swojej osi poprzecznej. Przyczyną tego zjawiska jest przekroczenie krytycznego kąta natarcia na usterzeniu poziomym, w następstwie czego skuteczność steru wysokości chwilowo maleje i szybowiec samoczynnie zmniejsza kąt wznoszenia. Z chwilą zmniejszenia kąta natarcia działanie steru wysokości znów staje się skuteczne i szybowiec przestaje „pompować".

Odczepienie linki wyciągarkowej następuje w odległości około 100—150 m przed wyciągarką, tj. pod kątem około 60° w stosunku do wyciągarki (rys. 7—9). Ponieważ z szybowca wyciągarka w tym położeniu jest niewidoczna, pilot może oceniać miejsce odczepienia linki w różny sposób. A więc przede wszystkim przed zbliżeniem się do miejsca odczepienia kąt wznoszenia szybowca zaczyna samoczynnie maleć, a ściąganie przez pilota drążka na siebie nie przynosi żadnych wyników, jedynie prędkość zaczyna wzrastać. Ponadto również wariometr sygnalizuje o zbliżaniu się do miejsca odczepienia, bowiem prędkość wznoszenia wynosząca dotychczas 5—10 m/sek zaczyna maleć w pobliżu wyciągarki. Dzieje się to z powodu kierunku działania siły ciągu, która wraz z siłą przyciągania ziemskiego zaczyna przewyższać wielkość siły nośnej.

Odczepienie linki wyciągarkowej odbywa się w ten sposób, że przed pociągnięciem za gałkę zaczepu pilot doprowadza najpierw szybowiec do lotu poziomego przez zmniejszenie kąta natarcia (drążek

„od siebie"). Za gałkę zaczepu należy powtórnie pociągnąć w celu upewnienia się o odczepieniu linki wyciągarkowej. Moment odczepienia się linki od szybowca charakteryzuje gwałtowne „ulżenie" i wyskoczenie szybowca nad horyzont, tak jakby z szybowca spadł pewien ciężar. O odczepieniu linki wyciągarkowej pilot powinien upewnić się ponadto przez spojrzenie na sygnalizatora, który w przypadku nieodczepienia linki zatacza tarczą sygnalizacyjną kręgi wkoło siebie. Podobny sygnał dawany jest również z wyciągarki albo wystrzeliwane są rakiety świetlne.

Jeżeli po ponownej próbie odczepienia linki pilot widzi w dalszym ciągu te same sygnały nadawane z ziemi, powinien przygotować się do lądowania ze zwisającą odciętą przez mechanika wyciągarkowego linką. Przy manewrowaniu do lądowania powinien w takim przypadku omijać przeszkody terenowe, a szczególnie linie telefoniczne i elektryczne. Jeżeli pomimo to linka zaczepi o jakąś przeszkodę, pilot powinien krążyć na otwartych hamulcach nad miejscem przypuszczalnego zaczepienia i w pobliżu niego wylądować. Ciężar linki i jej tarcie o ziemię wymaga zwiększenia prędkości lotu o około 10—20 km/godz.

b. Start za samolotem

Obok startu szybowca za pomocą wyciągarki drugim najpopularniejszym rodzajem startu jest start za samolotem, zwany również lotem na holu.

Czynności pilota przed startem są następujące. Należy przede wszystkim zająć miejsce w szybowcu i umocować pasy w ten sposób, aby mieć pełną swobodę manewrowania sterami. Szczególnie dotyczy to pilotów niskiego wzrostu, którzy przy prawidłowym naciągnięciu wszystkich pasów z trudem mogą dosięgnąć gałki zaczepu, a oddanie drążka sterowego poza położenie neutralne wymaga całkowitego wyprostowania ręki. Tacy piloci muszą więc mieć na oparciu gruby podkład, najlepiej poduszkę z gumy spienionej.

Przed podczepieniem linki holowniczej do szybowca należy przeprowadzić niezbędne czynności i kontrole opisane już w punkcie a — przed startem za wyciągarką. Są one takie same, bez względu na rodzaj stosowanego startu. Następnie trzeba również sprawdzić działanie zaczepu startowego. W tym celu pomoc startowa podłącza linkę holowniczą do przedniego zaczepu i naciąga ją. W tym momencie (przy naciągniętej lince) pilot pociąga za gałkę wyzwalającą powodując zwolnienie linki. Po prawidłowym odczepieniu pomoc startowa ponownie podłącza linkę holowniczą do zaczepu szybowca.

W przypadku kiedy szybowiec jest wyposażony w klapy, należy je ustawić w położenie startowe — najczęściej wychylając do połowy

maksymalnego wychylenia. Ponadto należy również przesunąć dźwignię klapki wyważającej nieco w stronę położenia „ciężki na łeb". Jest to niezbędne dlatego, ponieważ przy starcie za samolotem wskutek oddziaływania strumienia zaśmigłowego szybowiec ma tendencję do szybkiego wzniesienia się ponad samolot, a poza tym lot na holu wymaga stałego utrzymywania szybowca na małych kątach natarcia.

Po ponownym podczepieniu linki następuje jeszcze dokładne ustawienie szybowca w osi podłużnej samolotu oraz sprawdzenie kierunku wiatru i przedpola startu — czy jest wolne od ludzi i przeszkód, po czym pilot podnosi lewą rękę do góry. Jest to sygnał oznaczający „pilot gotów". Wówczas pomoc startowa podnosi szybowiec za skrzydło do poziomu, a drugą wolną ręką wykonuje ruchy w poziomie, co oznacza — „szybowiec gotów do startu — naprężaj linkę". Na ten sygnał pilot holujący podkołowuje samolot do przodu naprężając linkę holowniczą. W momencie jej naprężenia osoba przy skrzydle podnosi rękę do góry, po czym samolot zwiększa obroty silnika do maksymalnych i następuje start zespołu. W przypadku konieczności przerwania startu osoba wypuszczająca szybowiec za skrzydło wymachuje ręką nad głową. Wówczas pilot holujący powinien przerwać start samolotu, a pilot szybwoca wyczepić linkę holowniczą.

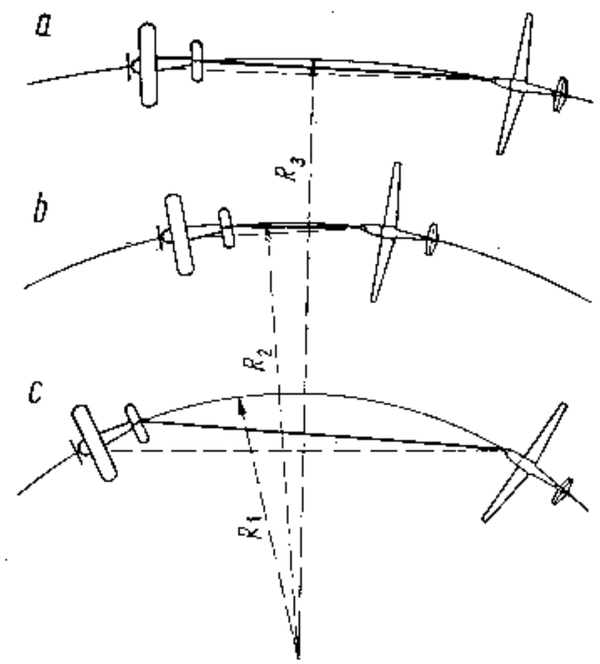
Z chwilą naprężenia linki holowniczej pilot szybowcowy ustawia stery w położeniu neutralnym, lewą rękę natomiast trzyma w pogotowiu w pobliżu gałki zwalniającej zaczep, aby w każdej chwili być gotowym do jej użycia. Podczas rozbiegu, kiedy szybowiec nie osiągnął jeszcze dostatecznej prędkości, najbardziej skutecznym ze wszystkich sterów jest ster kierunku. Dlatego też przy wyrównywaniu zwisów należy przede wszystkim nim się posługiwać. W przypadku jednak odchylenia od kierunku startu o kąt większy niż 30° oraz przy zaczepieniu skrzydłem szybowca o ziemię lub o trawę należy się natychmiast wyczepić.

Jeżeli przy starcie, wskutek nierówności terenu lub zbyt energicznego „przycierania", szybowiec odbija się od ziemi, oznacza to, że należy zwiększyć kąt natarcia przez lekkie ściągnięcie drążka sterowego na siebie oraz zamortyzować ewentualnie powtórne zetknięcie się z ziemią. Po oderwaniu się szybowca od ziemi należy utrzymać go na wysokości około 1—2 metrów nad ziemią (rys. 7—10), w podobny sposób jak przy starcie za wyciągarką, to znaczy w miarę

Rys. 7—10. Wysokość lotu szybowca nad ziemią podczas startu za samolotem

wzrostu prędkości lotu należy zmniejszać stopniowo kąt natarcia. Jest to tzw. „wytrzymanie".

Przy starcie szybowca za samolotem należy być przygotowanym na nieprzyjemne trzepotanie całym szybowcem, który znajdzie się w warkoczu strug za samolotem. Moment ten należy przeczekać, a następnie — kiedy samolot oderwie się od ziemi — wznieść się dopiero na wysokość samolotu. Całą swoją uwagę w tym czasie musi pilot rozłożyć na obserwację i ocenę zmian położenia samolotu, naśladowanie każdego manewru samolotu oraz obserwację linki holowniczej. Horyzont spełnia teraz tylko rolę pomocniczą, natomiast samolot stanowi zasadniczy punkt odniesienia, według którego należy prowadzić szybowiec.

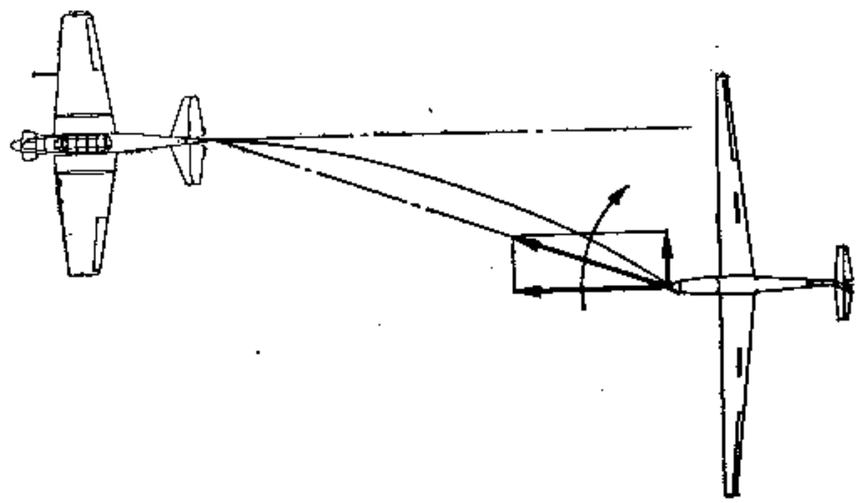


Rys. 7—11. W zakręcie w czasie lotu na holu szybowiec powinien utrzymywać ten sam promień co samolot holujący

Zależnie od długości linki holowniczej następuje właściwy sposób naśladowania manewrów samolotu. Przy lince krótkiej — np. 10—20 m — reakcja pilota w holowanym szybowcu powinna być natychmiastowa, natomiast przy lince o długości 40—60 m naśladowanie powinno odbywać się z opóźnieniem około 1—2 sek. Umiejętność prawidłowego lotu za samolotem polega bowiem na tym, aby lecieć po tym samym torze oraz promieniu w zakręcie co samolot holujący (rys 7—11). Dlatego też w zakrętach szybowiec powinien utrzymywać to samo przechylenie co samolot.

Regulację naprężenia linki holowniczej w czasie lotu za samolotem przeprowadza się w ten sposób, że przy zwisie linki pilot zwiększa nieco kąt natarcia szybowca, a następnie na moment przed jej naprężeniem powraca ruchem drążka sterowego od siebie do poprzedniego kąta natarcia. Ponieważ w tym przypadku pilot wykonuje drążkiem dość obszerny ruch, nadmiar tego wychylenia trzeba wycofać. Jest to tak zwany ruch podwójny drążkiem, który stosuje się bardzo często w celu przyspieszenia reakcji szybowca. Przy dużym zwisie linki można również zastosować łagodne otwarcie hamulców aerodynamicznych z jednoczesnym małym zwiększeniem kąta natarcia.

Najtrudniejszym elementem lotu za samolotem jest utrzymywanie

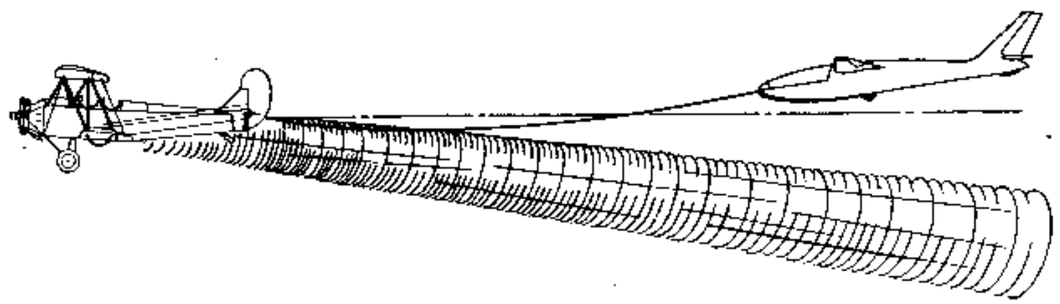


Rys. 7—12. Skuteczność steru kierunku przy powrocie do położenia za samolotem jest większa, ponieważ dochodzi jeszcze moment od linki holowniczej

kierunku. Wynika to stąd, że pilot stara się doprowadzić szybowiec do położenia zgodnego z położeniem samolotu przez skoordynowane działanie steru kierunku i lotek, a wycofuje wychylenie dopiero w momencie, gdy szybowiec zajmuje to samo położenie co samolot. Co się wtedy dzieje z szybowcem? — Zamiast lecieć po prostej, szybowiec schodzi w przeciwnym kierunku, pilot znów reaguje podobnie... i zaczyna się „kołysanka". Przyczyną tego jest bezwładność szybowca, którego obrót jest powodowany zarówno momentem od steru kierunku, jak i momentem od linki holowniczej — stąd wynika konieczność wcześniejszego wycofania steru kierunku niż w locie swobodnym.

Prawidłowa wysokość lotu szybowca w stosunku do samolotu powinna wynosić parę metrów powyżej warkocza strug za samolotem (rys. 7—13).

Stosuje się jednak niekiedy lot w warkoczu strug za samolotem holującym — zwłaszcza podczas holu halniakowego na krótkiej lince, aby w ten sposób w silnych rzucaniach rotorowych zmniejszyć możliwość zluźniania i gwałtownego naprężania linki holowniczej, które w efekcie mogą spowodować jej zerwanie. Lot w strugach za samolotem nie jest przyjemny. Wskazania prędkościomierza i wariometru gwałtownie się zmieniają oraz nie wskazują właściwych wartości, sterowność jest ograniczona i trudno zapobiec silnym rzucaniom.



Rys. 7—13. Utrzymanie prawidłowej wysokości szybowca w locie za samolotem

Często stosowany jest również lot szybowca pod warkoczem strug za samolotem holującym. Objawy wejścia i wyjścia ze strug są łatwo zauważalne przez pilota. Po zejściu poniżej strug należy zapamiętać przede wszystkim projekcję statecznika wysokości względem skrzydeł samolotu lub kadłuba oraz utrzymywać w ten sposób wysokość lotu względem samolotu. Kąt linki między osią podłużną samolotu a linką holowniczą wynosi wówczas około 30°.

Niebezpieczne momenty lotu szybowca pod strugami podczas silnej turbulencji na długiej lince holowniczej, to możliwość zaczepienia linki o dyszę pomiarową lub niekiedy nawet o skrzydło szybowca. W przypadku niebezpiecznego więc zwiększania się zwisu linki holowniczej należy łagodnie otworzyć hamulce aerodynamiczne i zaraz je zamknąć. Loty szybowców pod warkoczem strug mają najczęściej zastosowanie przy tzw. wieloholu, tzn. przy locie kilku szybowców za jednym samolotem holującym.

Start szybowca za samolotem z krótkiego terenu przygodnego różni się od startu z lotniska. Po oderwaniu szybowca od ziemi należy wznieść się na wysokość około 3÷5 m, a w momencie, kiedy samolot zbliża się do miejsca, w którym ma nastąpić jego oderwanie się, należy łagodnie zniżyć szybowiec do wysokości 1 m, aby w ten sposób odciążyć linkę holowniczą i „ulżyć" samolotowi oderwanie się od podłoża.

Znaki porozumiewawcze stosowane w locie za samolotem są następujące:

— *odczepić linkę holowniczą od szybowca* — kilkakrotne przechylenie samolotu lub wahadłowe ruchy ręką nad głową pilota holującego;

— *zamknąć hamulce* — kilkakrotne ruchy sterem kierunku samolotu holującego;

— *odczepić linkę holowniczą od samolotu* (np. przy uszkodzeniu zaczepu szybowca) — kilkakrotne przechylenie szybowca po przejściu ponad jego normalne położenie za samolotem;

— *wykonać zakręt w lewo* — szybowiec przechodzi na prawo i utrzymuje to położenie;

— *wykonać zakręt w prawo* — szybowiec przechodzi na lewo i utrzymuje to położenie;

— *zwiększyć wysokość lotu* — szybowiec schodzi pod strugi i utrzymuje to położenie (jeśli nie był planowany lot pod strugami);

— *obniżyć wysokość lotu* — szybowiec wychodzi ponad normalne położenie na holu i utrzymuje się tak;

— *zwiększyć prędkość holowania* — kilkakrotne zmniejszenie i zwiększanie na przemian kąta natarcia (pompowanie);

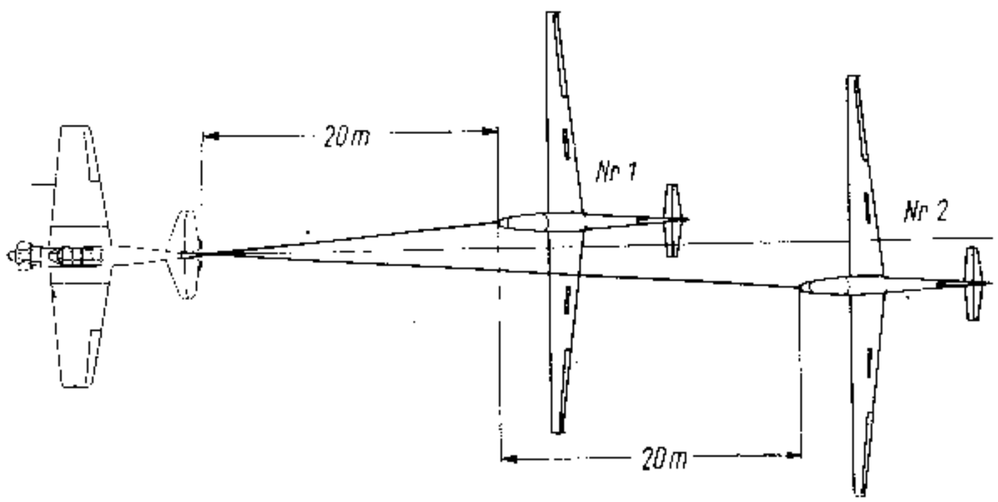
— *zmniejszyć prędkość holowania* — kilkakrotne ruchy sterem kierunkowym szybowca, tzn. przechodzenie na boki.

c. Start dwóch szybowców za samolotem (dwuhol)

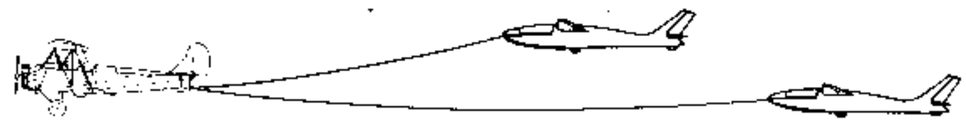
Pomyślny przebieg startu dwóch lub więcej szybowców za jednym samolotem wymaga szczególnie starannego przygotowania pilotów, sprzętu i miejsca startu. Równy teren, dokładnie dobrane i sprawdzone linki holownicze, obsługa poinstruowana, start rozłożony dokładnie w łożu wiatru — oto kilka warunków, od których zależy sprawny i bezpieczny przebieg startu zespołu.

W czasie wykonywania startu i lotu dwóch szybowców za jednym samolotem, przy tzw. dwuholu, różnica długości linek powinna wynosić co najmniej 20 m, a przedłużenie osi podłużnej samolotu powinno przechodzić między szybowcami (ryc. 7—14). Uwaga pilotów zostaje w takim locie dodatkowo obarczona obserwacją współtowarzysza holu: pilot pierwszego szybowca obserwuje linkę drugiego, pilot drugiego natomiast obserwuje położenie szybowca pierwszego. Obaj piloci starają się przy tym zachowywać swoją stronę lotu utrzymując równocześnie nieznaczny zwis — jeden z prawej strony celując szybowcem na prawy koniec płata samolotu holującego, drugi z lewej celując na lewy koniec płata samolotu holującego.

W żadnym przypadku nie można w czasie startu dopuścić do tego,



Rys. 7—14. Prawidłowe ustawienie szybowców do startu w dwuholu



Rys. 7—15. Utrzymanie prawidłowej wysokości szybowców w czasie lotu w dwuholu

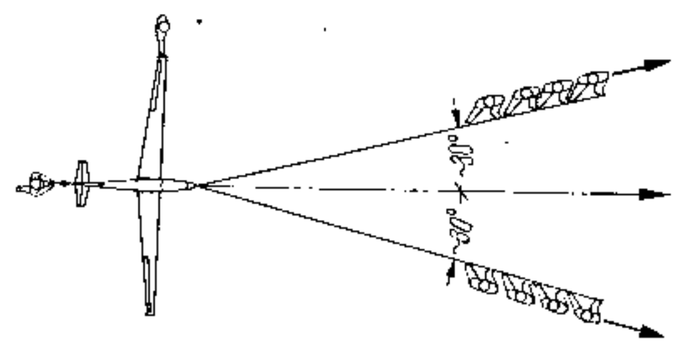
aby szybowce podparły się płatem o ziemię. Na wszelki jednak wypadek obaj piloci powini trzymać swe lewe ręce w pobliżu gałki zaczepu.

Z chwilą oderwania się szybowców od ziemi pierwszy z nich wznosi się natychmiast na wysokość około 3 m, drugi natomiast pozostaje nisko nad ziemią. Takie wysokości utrzymują one już przez cały czas trwania lotu w dwuholu aż do odczepienia (rys. 7—15). Po odczepieniu się szybowce natychmiast wykonują zakręty — każdy „w swoją" stronę, czyli na zewnątrz.

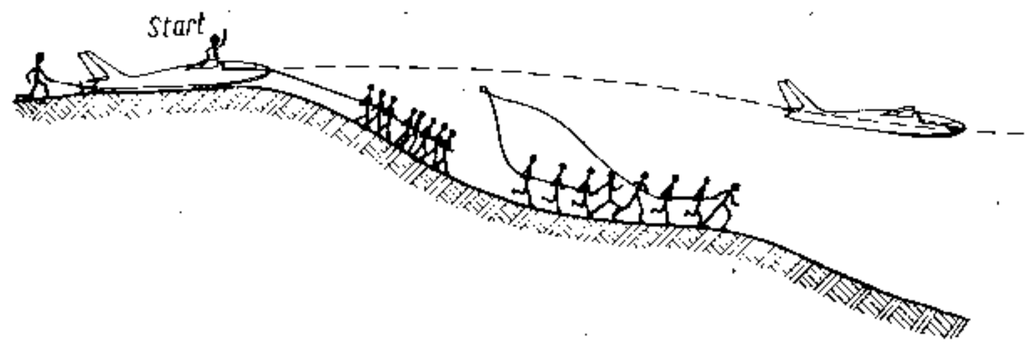
d. Start za pomocą lin gumowych

Najstarszym rodzajem startu szybowców jest start za pomocą lin gumowych. Rozpowszechnił się on na całym świecie w okresie międzywojennym przede wszystkim dlatego, że jest najprostszym i najtańszym sposobem startu — wymaga tylko kilkunastu metrów liny gumowej o przekroju 15—20 mm, kilku ludzi oraz jakiegoś wzniesienia terenu. Tym się zresztą tłumaczy fakt, że większość ośrodków szybowcowych z tego okresu zlokalizowanych zostało w terenie górzystym.

Główną wadą szkolenia przy zastosowaniu lin gumowych jest uciążliwy i długotrwały transport szybowca z lądowiska na start, a wskutek tego i mała częstotliwość lotów. Ten rodzaj startów jest zresztą z powodzeniem stosowany do dzisiaj w naszych szkołach ża-



Rys. 7—16. Obsługa startu szybowca za pomocą lin gumowych



Rys. 7—17. Prawidłowy start szybowca za pomocą lin gumowych

głowych (rys. 7—16), jest nadzwyczaj przyjemny i emocjonujący — zwłaszcza dla nowicjuszy.

Start z lin gumowych odznacza się dużym i krótkotrwałym przyspieszeniem, którego wielkość uzależniona jest od siły naciągu oraz rodzaju lin gumowych. Gumy twarde dają gwałtowny zryw i krótotrwałe przyspieszenie, gumy miękkie — odwrotnie.

Przy wykonywaniu startu z lin gumowych pilot ustawia stery szybowca w położeniu neutralnym, głowę opiera do tyłu o zagłówek i tak przygotowany oczekuje na moment zwolnienia zaczepu ogonowego. Po naciągnięciu lin i zwolnieniu zaczepu szybowiec gwałtownie rusza do przodu, a pilot wskutek szarpnięcia ma tendencję do ściągnięcia drążka sterowego na siebie. Jest to zresztą jeden z powszechnie popełnianych błędów. Szybowiec należy w tym momencie przytrzymać i doprowadzić do lotu horyzontalnego bez zwisu (rys. 7—17).

Nie należy również z chwilą startu zmniejszać kąta natarcia przez oddanie drążka od siebie. Można bowiem w ten sposób uderzyć skrzydłami szybowca w obsługę lin startowych. Ponadto należy również zachować szczególną ostrożność przy starcie na stromym zboczu, gdzie składowa pionowa wstępującego prądu powietrza może przy małej prędkości lotu spowodować przekroczenie krytycznego kąta natarcia i zwalenie się szybowca w korkociąg. Dlatego też pierwszy zakręt należy wykonać dopiero po bezpiecznym oddaleniu się od zbocza.

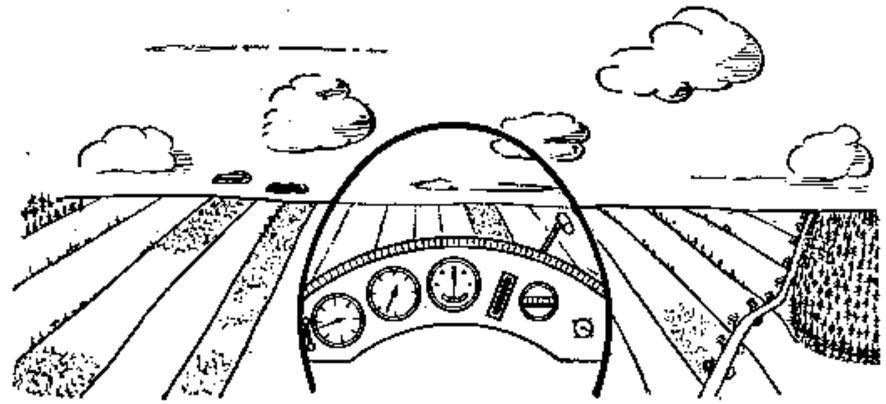
3. Nauka podstawowych elementów techniki pilotażu

a. Utrzymanie prędkości i kierunku lotu

Stałą prędkość lotu szybowca pilot może oceniać na podstawie:

— obserwacji przodu szybowca lub kąta skrzydeł w stosunku do linii horyzontu;

— obserwacji wskazań prędkościomierza;



Rys. 7—18. Prędkość szybowca pilot utrzymuje na podstawie obserwacji położenia przodu szybowca względem horyzontu

— wrażeń słuchowych — przez utrzymywanie jednostajnego szumu szybowca (wysokość tonu i nasilenie szumu wzrasta — prędkość wzrasta; szum cichnie — prędkość zmniejsza się);

— wrażeń dotyku — przez wyczuwanie oporów na sterach (opory na sterach wzrastają — prędkość wzrasta; opory na sterach maleją — „stery wiotczeją" — prędkość zmniejsza się);

— obserwacji szybkości reagowania szybowca na wychylenia sterów (szybowiec natychmiast reaguje na wychylenia sterów — prędkość wzrasta; szybowiec powoli reaguje na wychylenia sterów — jest „leniwy" — prędkość mała);

— obserwacji wskazań wariometru, ale tylko w powietrzu spokojnym.

Zasadniczym sposobem utrzymywania stałej prędkości szybowca w lotach z widocznością ziemi jest obserwacja horyzontu (rys. 7—18). Pozostałe metody, wymienione wyżej, należy uważać jako pomocnicze i uzupełniające. Pamiętać przy tym należy, że linia horyzontu umiejscowiona przez pilota w stosunku do części kabiny szybowca w poprawnym locie ślizgowym (oczywiście zależnie od wzrostu pilota i typu szybowca) zachowuje to samo w przybliżeniu położenie na każdej wysokościsi lotu, z wyjątkiem lotu w dolinie oraz lotu na bardzo małej wysokości — rzędu kilku metrów nad ziemią.

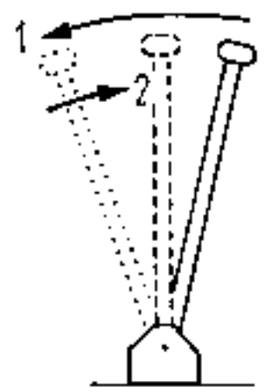
Trzeba również pamiętać, że w burzliwej atmosferze posługiwanie się metodami pomocniczymi — prędkościomierzem, wariometrem, słuchem itp. — często zawodzi, ponieważ dochodzą tu jeszcze prędkości składowe pionowych prądów powietrza.

Technika utrzymywania właściwej prędkości lotu szybowca jest następująca.

Chcąc zwiększyć prędkość lotu pilot oddaje drążek sterowy od siebie i w momencie, kiedy szybowiec wykonuje pochylenie do przodu, cofa drążek o połowę wielkości ruchu początkowego, zapobiega-

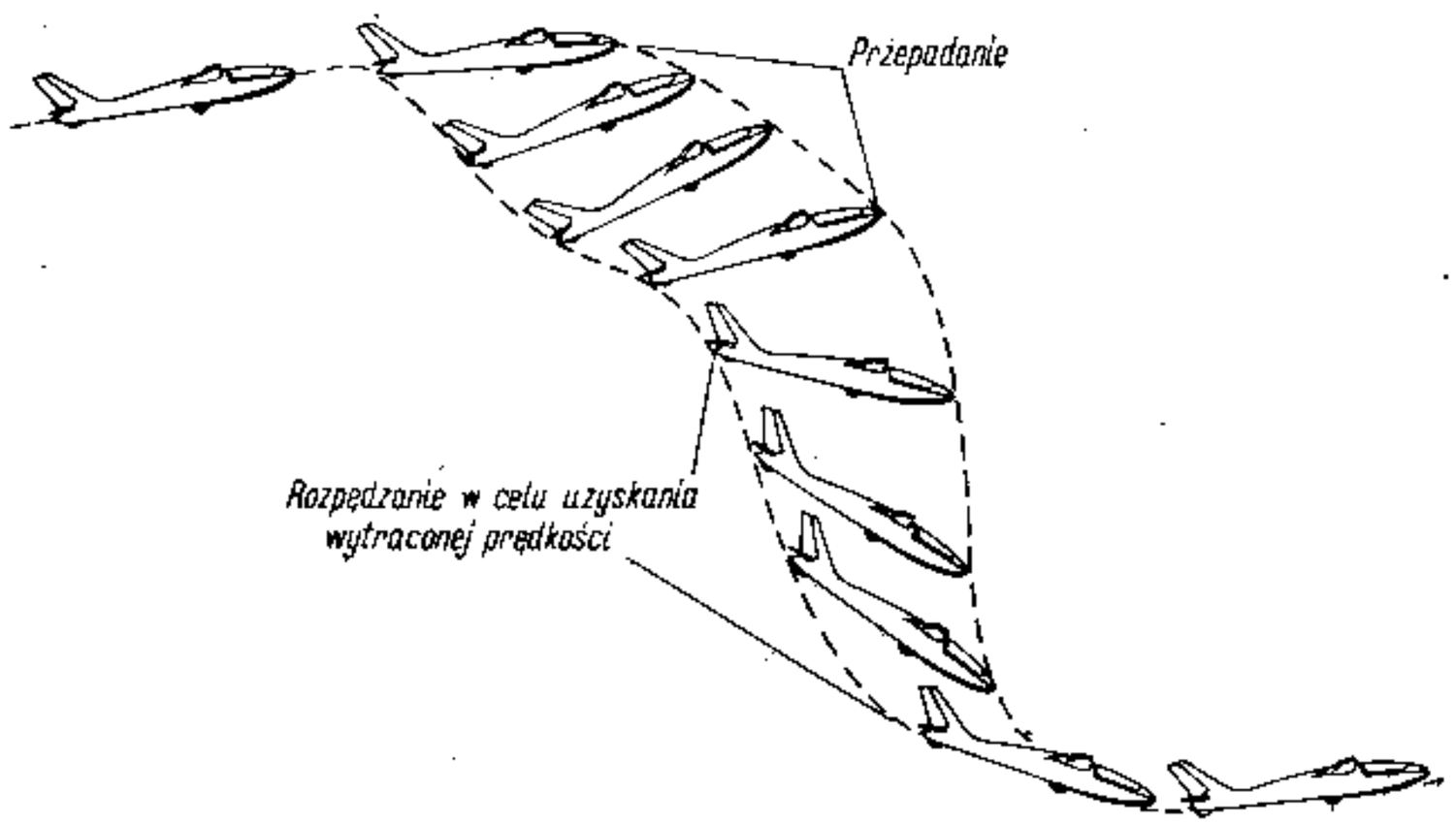
jąc w ten sposób zbytniemu rozpędzeniu się szybowca (rys. 7—19). Jeżeli z kolei pilot chce zmniejszyć prędkość, ściąga delikatnie drążek na siebie i z chwilą, gdy przód szybowca zacznie zadzierać w górę, oddaje drążek do przodu o połowę wielkości ruchu poprzedniego. Są to tzw. podwójne ruchy sterami.

Utrzymywanie prędkości lotu szybowca w sposób opisany wyżej umożliwi wykonanie lotu ślizgowego na pewnym stałym kącie szybowania, bez względu na zaburzenia powietrza. Szybka i prawidłowa reakcja sterem wysokości, uwzględniająca podwójne ruchy drążkiem i oparta na wzrokowej ocenie położenia szybowca względem horyzontu, daje gwarancję prawidłowej prędkości lotu.



Rys. 7—19. Zasada tzw. podwójnego ruchu sterami (drążkiem)

Co będzie się działo z szybowcem, jeżeli pilot zacznie stopniowo ściągać drążek do siebie? — Otóż po wytraceniu prędkości i przekroczeniu krytycznego kąta natarcia (zerwanie strug) szybowiec zwali się bezwładnie na „łeb". Będzie to tak zwane przeciągnięcie statyczne szybowca (rys. 7—20). O ile pilot uczyni to samo, ale ściągnie drążek do siebie gwałtownie, wówczas szybowiec wykona również przeciągnięcie — tym razem dynamicznie, ponieważ wprowadzenie nastąpiło dynamicznie na zwiększonej prędkości lotu. Po przeciągnięciu szybowiec „zwala się" do przodu i po nabraniu odpowiedniej prędkości, jeżeli drążek jest w dalszym ciągu ściągnięty, przejdzie ponownie na duże kąty natarcia do ponownego przeciągnięcia (patrz również rozdział 1, pkt 16).



Rys. 7—20. Przeciągnięcie statyczne szybowca

Jeżeli przy przeciągnięciu pilot wychyli ster kierunku, np. w lewą stronę, wówczas szybowiec zacznie wykonywać przeciągnięcie z obrotem w lewą stronę, co z kolei zapoczątkuje korkociąg w lewo. Jeżeli natomiast przy przeciągnięciu zostanie wychylony ster kierunku w prawo, szybowiec zacznie wykonywać korkociąg również w prawo.

Wyprowadzenie szybowca z korkociągu następuje przez wychylenie steru kierunku w stronę przeciwną do kierunku obrotu oraz doprowadzenie szybowca na małe kąty natarcia (ruch drążka sterowego od siebie), a następnie po zaprzestaniu ruchu obrotowego szybowca wprowadzenia go do normalnego lotu ślizgowego. Przy wyprowadzaniu z korkociągu szybowców stosowanych w kraju lotki należy utrzymywać w położeniu neutralnym (patrz również rozdział 1, pkt 16).

Utrzymywanie kierunku lotu szybowca odbywa się za pomocą skoordynowanych ruchów sterem kierunku i lotkami. Szybowiec wytrącony z lotu prostoliniowego wskutek zwisu lub podmuchu burzliwej atmosfery doprowadza się do poprzedniego położenia przez wychylenie obu tych sterów na raz.

Obrany przez pilota punkt na horyzoncie lub w terenie, znajdujący się na przedłużeniu osi podłużnej szybowca, pomaga mu wykonywać lot po prostej.

b. Zakręty i ślizgi

Chcąc wprowadzić szybowiec w zakręt należy drążek sterowy wychylić w stronę zamierzonego zakrętu i jednocześnie w tym samym kierunku wychylić ster kierunku. Rozkład sił w prawidłowym zakręcie przedstawia rysunek 7—21 (patrz również rozdział 1, pkt 14 — Zakręt — krążenie szybowca).

Jeżeli do wykonania zakrętu użyjemy wyłącznie steru kierunku, osiągniemy wprawdzie pewien efekt, ale spowodujemy równocześnie wyślizg szybowca na zewnątrz zakrętu (rys. 7—22a). Sytuacji tej możemy uniknąć przez większe przechylenie szybowca w stronę zamierzonego zakrętu używając do tego celu lotek. Jeżeli zechcemy natomiast wykonać zakręt tylko przy użyciu samych lotek, wówczas spowodujemy zakręt z ześlizgiem (rys. 7—22b).

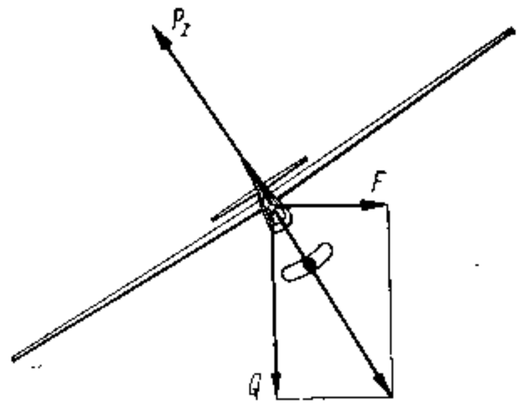
Prawidłowo wykonany zakręt należy do trudniejszych figur pilotażu. Jego wykonanie kontroluje się za pomocą chyłomierza poprzecznego, którego kulka powinna stale znajdować się w położeniu środkowym. Chcąc zatem doprowadzić kulkę w zakręcie do położenia środkowego, należy pamiętać o dwóch zasadach:

1 — kulka „kopnięta — ucieka od nogi", czyli np. ruch prawą nogą powoduje przesunięcie kulki na lewą stronę chyłomierza poprzecznego;

2 — *kulka „idzie za ręką"*, czyli np. wychylenie drążka w lewo powoduje przejście kulki w lewo.

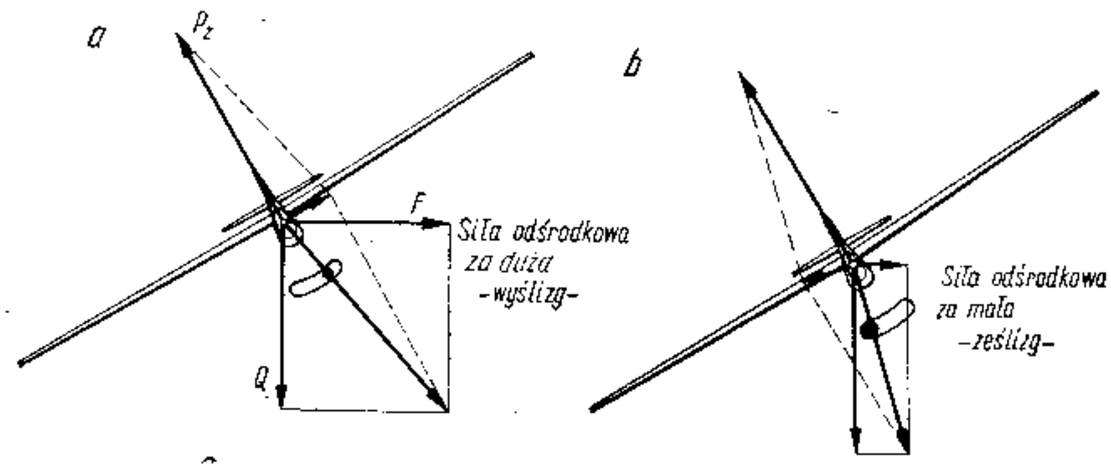
Zastosowanie praktyczne tych dwóch zasad jest bardzo proste. Jeżeli podczas zakrętu szybowca w prawo kulka znajduje się po prawej stronie (wskazuje ześlizg), to o ile chcemy zachować to samo przechylenie szybowca — wychylamy ster kierunku w prawo i kulka „kopnięta prawą nogą" przesunie się w lewo, do środkowego położenia. Jeżeli natomiast w tej samej sytuacji (prawy zakręt, kulka znajduje się po prawej stronie wskazując ześlizg) zechcemy zmniejszyć przechylenie szybowca, wówczas wychylamy drążek sterowy w lewo i kulka „idąc za ręką" przesunie się w lewo do środkowego położenia.

Wprowadzenie szybowca do zakrętu wymaga uprzedniego zwiększenia prędkości lotu. Tłumaczy się to tym, że na pokonanie siły odśrodkowej szybowiec traci część siły nośnej, a chcąc zwiększyć siłę nośną przy zachowaniu stałego kąta natarcia należy zwiększyć jego prędkość. Wykonywanie zakrętu bez zwiększania prędkości lotu może doprowadzić do zwalenia się szybowca w korkociąg.



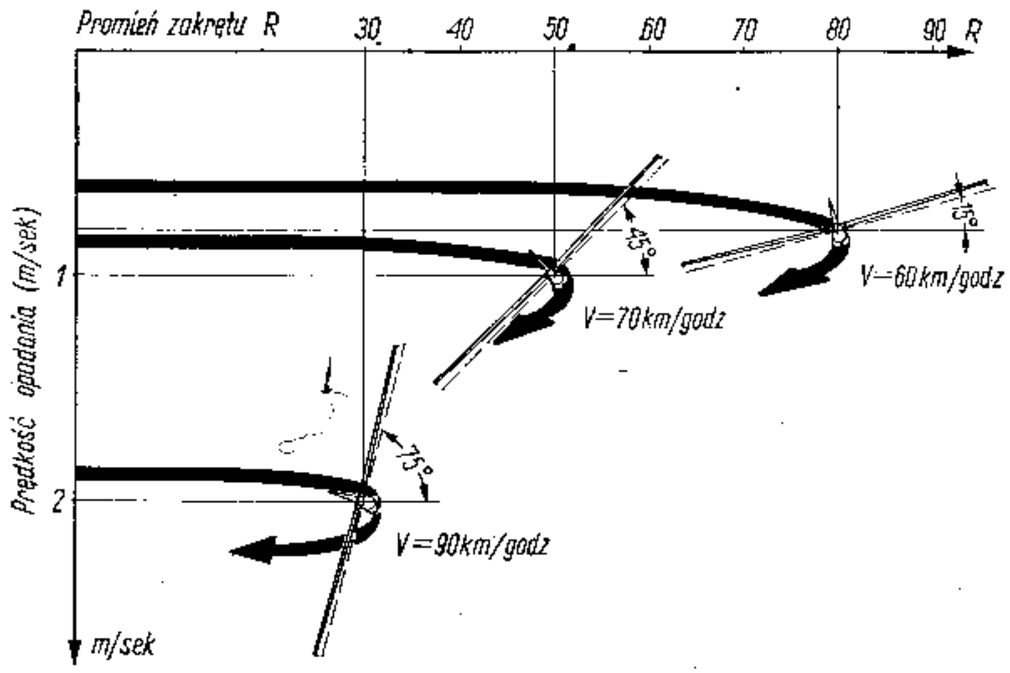
Rys. 7—21. Rozkład sił w prawidłowo wykonanym zakręcie — kulka chyłomierza poprzecznego znajduje się w środku (patrz również rys. 1—42)

Promień zakrętu zależy oczywiście od wielkości przechylenia szybowca. Zwiększenie przechylenia jednak pociąga za sobą zwiększenie prędkości lotu oraz



Rys. 7—22. Rozkład sił w nieprawidłowo wykonanych zakrętach

a — zakręt z wyślizgiem — kulka chyłomierza poprzecznego wysuwa się na zewnątrz zakrętu, *b* — zakręt z ześlizgiem — kulka chyłomierza poprzecznego zsuwa się do wewnątrz zakrętu (patrz również rysunek 1—43)



Rys. 7—23. Zwiększone przechylenie szybowca zmniejsza promień zakrętu, ale jednocześnie zwiększa prędkość opadania i prędkość lotu

zwiększenie opadania szybowca, co pokazuje wyraźnie rysunek 7—23.

Szybowiec wprowadzony do zakrętu skoordynowanym ruchem lotek i steru kierunku będzie przechylał się tak długo, dopóki nie zostanie wycofane wychylenie lotek oraz częściowo wychylenie steru kierunku. W ustalonym zakręcie, zwłaszcza w krążeniu na szybowcach o dużej rozpiętości, w celu zachowania stałego kąta przechylenia należy nawet podtrzymywać szybowiec lotkami („kontrować"), aby w ten sposób przeciwdziałać jego tendencji do dalszego pogłębiania zakrętu.

Prędkość szybowca przy wykonywaniu zakrętu utrzymuje pilot w ten sposób, że przed zakrętem zwiększa prędkość, a w zakręcie ściąga drążek sterowy na tyle, aby szybowiec nie miał tendencji do rozpędzania się. Przy wyprowadzaniu z zakrętu lub przekładaniu szybowca z jednego zakrętu w drugi pilot oddaje drążek sterowy od siebie o tyle, o ile nastąpiło jego ściągnięcie w zakręcie.

Ruchy te wykonuje obserwując stale położenie szybowca względem horyzontu. Nie wolno przy tym przyglądać się swoim ruchom w kabinie, a zaglądanie do niej należy ograniczyć tylko do spojrzenia na kulkę chyłomierza poprzecznego i wskazania prędkościomierza.

Jak już wspomniano wyżej, nieprawidłowo wykonany zakręt powoduje wyślizg (za małe przechylenie szybowca albo zbyt duże wychylenie steru kierunku) lub ześlizg (za duże przechylenie szybowca

albo zbyt małe wychylenie steru kierunku). Z ześlizgami jednak spotykamy się również w technice pilotażu jako z celowo wykonywanym manewrem. Ześlizgi, popularnie zwane ślizgami, mogą być kierunkowe lub z zakrętem. Służą one jako jeden z bardzo ważnych sposobów podchodzenia szybowca do lądowania, kiedy pełne otwarcie hamulców aerodynamicznych nie wystarczy do przyziemienia go w obranym miejscu, a wysokość lotu jest za mała na esowanie lub ponowne okrążenie.

Ślizg kierunkowy ma miejsce wówczas, gdy środek ciężkości szybowca przesuwa się po linii prostej. Wykonywanie ślizgu kierunkowego polega na przechyleniu szybowca o 10° — 30° z jednoczesnym dużym wychyleniem steru kierunku w przeciwną stronę. Utrzymywanie przy tym obranego kierunku w ślizgu reguluje się przez zwiększanie lub zmniejszanie przechylenia szybowca.

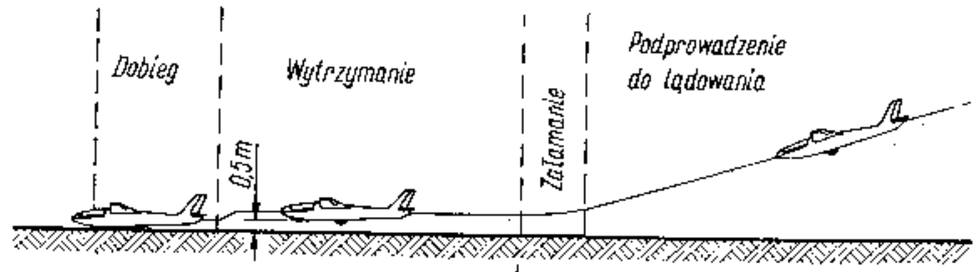
Wyprowadzać szybowiec ze ślizgu należy najpierw lotkami przez usunięcie przechylenia (powrót do poziomu), a następnie wycofanie steru kierunku. Przy odwrotnej kolejności ruchów sterami szybowiec zmieni gwałtownie kierunek w stronę przechylenia. Wyprowadzanie ze ślizgu powinno nastąpić powyżej 15 m nad ziemią.

c. Lądowanie

W czasie szkolenia szybowcowego najwięcej lotów poświęca się na naukę lądowania, czyli naukę delikatnego zetknięcia szybowca z ziemią i całkowitego wytracenia prędkości. Wymaga to oczywiście wykonania całego manewru do lądowania z takim obliczeniem, aby przyziemienie szybowca nastąpiło w oznaczonym punkcie, tzn. w pobliżu znaku do lądowania.

Różnica pomiędzy lądowaniem samolotu i lądowaniem szybowca jest duża i o tyle istotna, ponieważ samolot w razie złego obliczenia przy lądowaniu może „dodać gazu" i poprawić lub powtórzyć manewr, natomiast szybowiec w każdym locie tylko raz wykonuje manewr do lądowania. Dlatego właśnie szybowiec podchodzi do lądowania z pewną rezerwą wysokości i dopiero na skraju lotniska wytraca ją za pomocą hamulców aerodynamicznych lub wykonywania ślizgów, a w wyjątkowych sytuacjach stosując oba sposoby jednocześnie. Przy silnym wietrze manewr do lądowania przeprowadzać należy z większej wysokości niż przy pogodzie bezwietrznej. Ostatniego zakrętu nie wolno przy tym wykonywać poniżej 50 m nad ziemią.

Podchodzenie do lądowania odbywa się na prędkości optymalnej lub zwiększonej o około 10 km/h. Obserwację swoją powinien pilot skoncentrować na miejscu zamierzonego lądowania i tam kierować szybowiec. Najpierw na wysokości kilku metrów następuje już pewne



Rys. 7—24. Prawidłowy profil lądowania szybowca

złagodzenie kąta szybowania (podprowadzenie). Następnie w miarę zbliżania się do ziemi należy płynnym ruchem drążka na siebie podprowadzić szybowiec nisko do wysokości około pół metra ponad teren lądowania (załamanie) i przyjąć taki kąt natarcia, aby przeszedł on do lotu równoległego do ziemi. Jest to tak zwane „wytrzymanie", które ma na celu wytracenie prędkości. Utrzymując w dalszym ciągu ten sam kąt natarcia szybowiec zaczyna się przyziemiać i dobiegiem kończy lądowanie. Równowagę poprzeczną i kierunek należy utrzymywać aż do czasu zatrzymania się szybowca.

Prawidłowy profil lądowania szybowca został przedstawiony na rysunku 7—24.

Lądowanie, podobnie jak i start, odbywa się z zasady pod wiatr, ponieważ przyziemienie następuje wówczas na mniejszej prędkości i pozwala na delikatne zetknięcie się szybowca z ziemią oraz znaczne skrócenie dobiegu. Nie zawsze jednak tak się dzieje. Zdarzają się bowiem dość często przypadki, kiedy pilot ograniczony niekorzystnym kształtem lądowiska zmuszony jest wykonywać lądowanie z bocznym wiatrem.

Sposób wykonania lądowania z bocznym wiatrem różni się nieco od lądowania w łożu wiatru i ma następujący przebieg. Podchodzenie do lądowania należy wykonywać ze zwisem szybowca w stronę wiejącego wiatru. W miarę zbliżania się do ziemi aż do momentu wytrzymywania należy zwis tak wycofywać, aby zetknięcie się szybowca z ziemią nastąpiło przy równoległym, położeniu skrzydeł do terenu. Równocześnie jednak utrzymanie kierunku w tym czasie wymaga wychylenia steru kierunku w stronę przeciwną do wiejącego wiatru (czyli z wiatrem). Na przykład lądowanie odbywa się z bocznym wiatrem wiejącym z prawej strony: — na podejściu należy utrzymywać szybowiec w prawym zwisie i w miarę zbliżania się do ziemi wycofywać jego przechylenie; przyziemienie i dobieg wykonać bez zwisu, ale od momentu przyziemienia należy wychylać coraz więcej ster kierunku w lewo, aby utrzymywać kierunek aż do zatrzymania się szybowca.

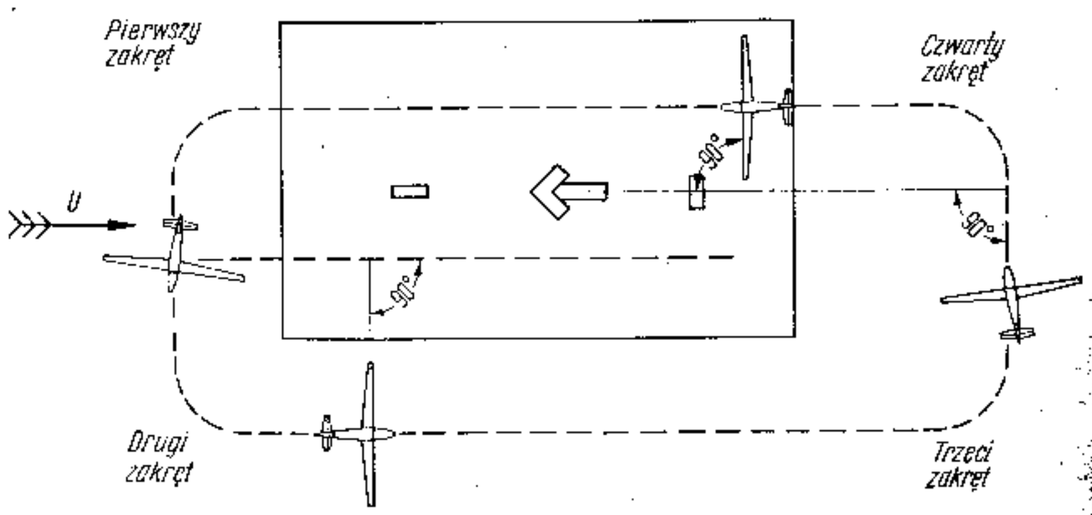
Mówiąc o lądowaniu należy jeszcze wspomnieć o zasadach posłu-

giwania się hamulcami aerodynamicznymi. Gwałtowne otwarcie hamulców powoduje natychmiastowe opuszczenie przodu szybowca w dół, natomiast ich zamknięcie — zadarcie szybowca w górę. Dlatego też w pobliżu ziemi nie należy wykonywać dźwignią hamulców gwałtownych ruchów, ponieważ można spowodować uszkodzenie szybowca. Nie należy również przyziemiać szybowca na hamulcach całkowicie otwartych, ponieważ spowoduje to jego twarde lądowanie. Najlepiej więc w miarę zbliżania się szybowca do ziemi przymykać hamulce (nie zamykać całkowicie) i jeżeli zamierzamy skrócić dobieg, po przyziemieniu znowu je otworzyć całkowicie. U większej części szybowców pełne otwarcie hamulców aerodynamicznych jest sprzężone z hamulcem kołka podwozia, w związku z tym lądowanie z zahamowanym kołkiem może spowodować uszkodzenie podłączeń dźwigniowych hamulców.

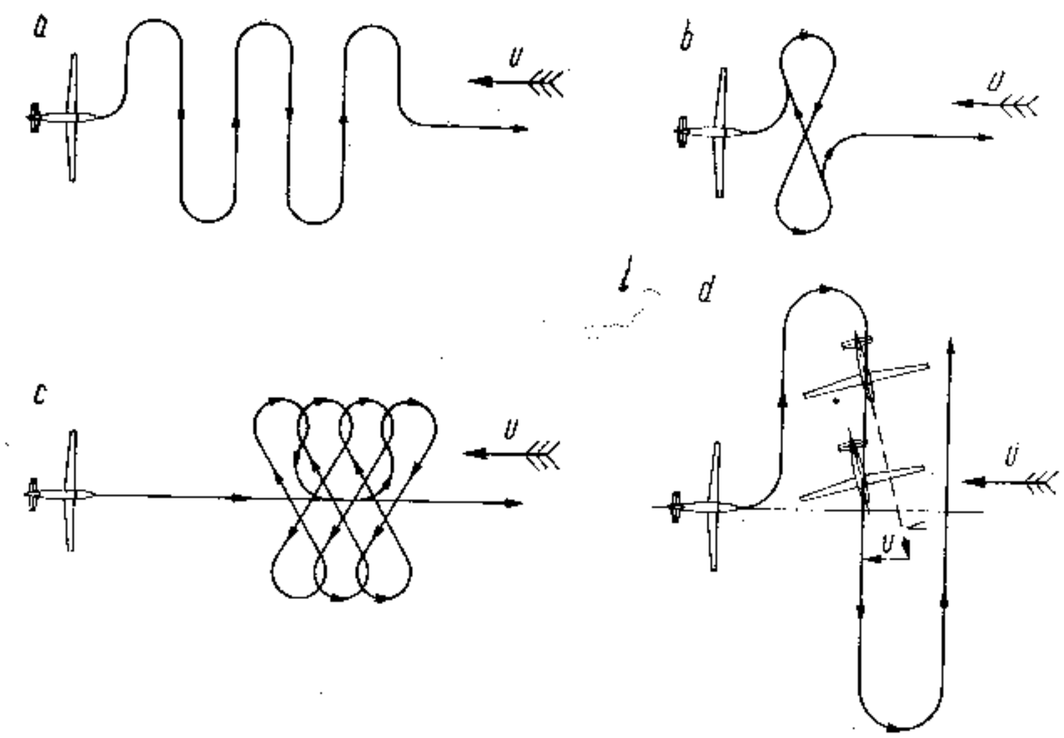
d. Krąg nadlotniskowy

Podstawowy manewr do lądowania, który polega na wykonaniu lotu po trasie prostokątnej nad lotniskiem, nazywany jest w potocznej mowie kręgiem nadlotniskowym.

Wejście szybowca w krąg nadlotniskowy powinno odbyć się nad linią znaków wyznaczających kierunek lądowania na wysokości lotu 200—300 m. Trasa lotu szybowca w kręgu nadlotniskowym powinna zawsze (niezależnie od kierunku wiatru) tworzyć prostokąt (rys. 7—25). Wielkość tego prostokąta zależy przede wszystkim od wysokości rozpoczęcia manewru oraz doskonałości szybowca.



Rys. 7—25. Trasa kręgu nadlotniskowego niezależnie od wiatru powinna być zawsze prostokątna



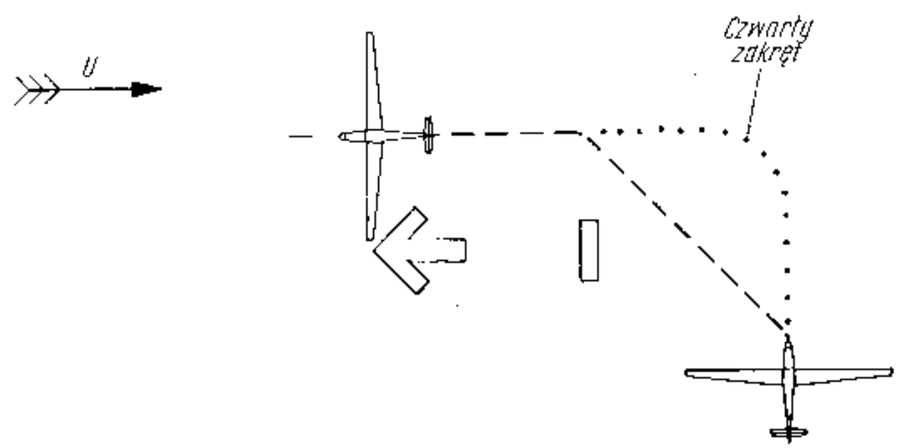
Rys. 7—26. Różne sposoby esowania w celu wytracenia wysokości lotu szybowca przed lądowaniem

Przy pogodzie bezwietrznej wszystkie cztery zakręty szybowca w kręgu nadlotniskowym będą wynosiły po 90°, natomiast przy jakimkolwiek wietrze zakręty te będą większe i mniejsze niż 90°. Na przykład — przy wietrze czołowym (patrz rys. 7—25) pierwszy zakręt będzie mniejszy niż 90°, ponieważ chcąc nadać kręgowi kształt prostokąta szybowiec na pierwszym boku musi być ustawiony nieco przodem do wiatru. Im siła wiatru będzie większa, tym ustawienie szybowca pod wiatr musi być większe. Drugi zakręt będzie oczywiście większy niż 90°, jak to widać wyraźnie z rysunku. Na odcinkach prostych lotu pomiędzy pierwszym i trzecim zakrętem pilot ma czas zapoznać się z siłą i kierunkiem wiatru wiejącego w miejscu lądowania oraz z ruchem pionowym powietrza w strefie manewrowania.

Wykonanie przez szybowiec trzeciego zakrętu w kręgu nadlotniskowym ma ogromny wpływ na tzw. obliczenie do lądowania. Zdecydowanie się bowiem na trzeci zakręt zależy od wielu czynników: wysokości lotu, siły wiatru, doskonałości szybowca, odległości bocznej od lotniska oraz od obszarów duszeń, w jakich niespodziewanie można się znaleźć na ostatnich dwóch bokach kręgu. W związku z tym należy przyjąć następującą zasadę postępowania: im wiatr jest silniejszy i ewentualność napotka-

nia obszarów duszeń jest większa, tym bliżej lotniska powinna przebiegać trasa lotu.

Przez częste spoglądanie w kierunku zamierzonego miejsca lądowania pilot ocenia wzrokowo właściwy kąt, pod jakim należy zacząć wykonywać trzeci zakręt. Posługiwanie się w tym czasie wskazaniami wysokościomierza może być tylko pomocnicze, przy czym należy go lekko pukać palcem w celu zmniejszenia bezwładności wskazań (w terenie przygodnym ląduje się wyłącznie według oceny wzrokowej).



Rys. 7—27. W przypadku zbyt małej wysokości lotu do lądowania należy skrócić trasę lotu szybowca przez ścięcie czwartego zakrętu

Wybór odpowiednich promieni trzeciego i czwartego zakrętu umożliwia również skrócenie lub wydłużenie trasy kręgu w celu uregulowania wysokości i odległości od lotniska. Istotny jest tutaj odpowiedni dobór prędkości lotu: mała prędkość lotu przy silnym wietrze skraca zasięg szybowca (doskonałość względem ziemi), należy więc w takim przypadku odpowiednio zwiększyć prędkość lotu.

Wytracanie nadmiernej wysokości lotu szybowca może się odbywać po trzecim i czwartym zakręcie, za pomocą hamulców aerodynamicznych.

Jeżeli otwarcie hamulców, a nawet dodatkowe zastosowanie ślizgów okaże się niewystarczające, wówczas w miejsce czwartego zakrętu należy wykonać tzw. esowanie (rys. 7—26), które jednak trzeba ukończyć powyżej 50 m. W sytuacji odwrotnej, tzn. w przypadku braku wysokości, należy skrócić trasę dalszego lotu szybowca przez ścięcie czwartego zakrętu (rys. 7—27).

4. Nauka krążenia i centrowania kominów termicznych

Naukę krążenia należy rozpoczynać w powietrzu spokojnym, co da początkującemu pilotowi pewność, że wywołane zmiany położenia szybowca będą zależały wyłącznie od jego woli. Tak samo należy stopniować głębokość przechylenia szybowca w krążeniu — w pierwszych lotach stosować mniejsze przechylenia zwracając szczególną uwagę na utrzymanie stałego kąta przechylenia, prawidłowość wykonywanego zakrętu i dokładność wyprowadzania na kierunek oraz ogólną orientację pilota.

Zaraz w pierwszych lotach pilot stwierdzi, że nie wystarczy jeden ruch lotek i steru kierunku, aby szybowiec prawidłowo krążył. Przede wszystkim szybowiec zacznie zwiększać prędkość i przechylenie. Zapobiegać temu należy przez częściowe wycofanie wychylenia lotek, częściowe wycofanie wychylenia steru kierunku oraz bardzo delikatne ściąganie steru wysokości na siebie. Trzeba tu przy okazji wspomnieć, że bardzo mało jest takich szybowców, które wykonują krążenie bez ciągłej pracy sterami.

Opisane wyżej ruchy sterami będą ze wzrostem przechylenia wzrastać do tego stopnia, że po przekroczeniu 45° ster kierunku trzeba nawet wychylić cokolwiek w przeciwną do kierunku stronę. Spełnia on wtedy częściowo rolę steru wysokości i zapobiega rozpędzaniu się szybowca (tzw. zamiana sterów). Pilot musi ponadto pamiętać, że w miarę zwiększania przechylenia w czasie krążenia — w celu zachowania równowagi sił w zakręcie (patrz pkt 4b) należy odpowiednio zwiększyć prędkość szybowca.

Następnym bardzo ważnym elementem nauki krążenia jest wyprowadzanie szybowca na odpowiedni kierunek, a następnie wprowadzanie do przeciwnego krążenia, czyli tzw. przekładanie z jednego kierunku krążenia w drugi.

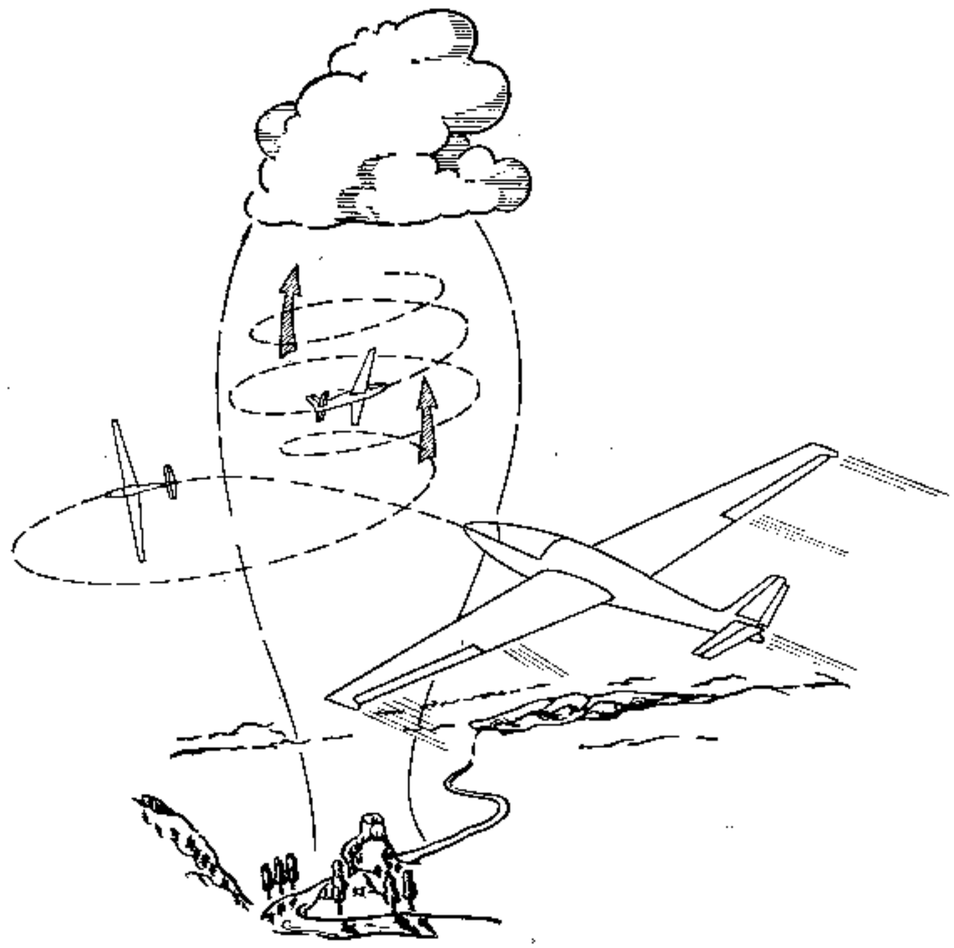
Większa część początkujących pilotów popełnia tu ten sam zasadniczy błąd, który polega na tym, że przy każdej zmianie kierunku krążenia maleje prędkość lotu lub nawet szybowiec wpada czasem w korkociąg. Sprawa jest prosta, tylko trudna do podpatrzenia samemu — ściągnięcie bowiem drążka sterowego na siebie jest w głębokim krążeniu dość duże, ale narasta stopniowo i dlatego nie jest zauważalne. Chcąc zatem prawidłowo szybko przełożyć szybowiec w przeciwne krążenie należy oprócz wychylenia lotek dość prędkim ruchem wycofać ściągnięcie drążka sterowego i od razu zdecydowanie wychylić ster kierunku w stronę nowego zakrętu.

Doskonałym treningiem przekładania z zakrętu w zakręt jest tzw. żmijka oraz ciasne wiązanie ósemek. Utrzymanie w tych ćwiczeniach stałej prędkości szybowca oraz kulki chyłomierza poprzecznego w położeniu środkowym świadczy o dobrym poziomie techniki pilotażu.

Z takim przygotowaniem można już przystąpić do nauki wyszukiwania i centrowania wznoszeń termicznych, tzw. kominów.

Istnieją dwa podstawowe sposoby centrowania kominów termicznych: przez wydłużanie lub zacieśnianie krążenia (rys. 7—28) i przez odwracanie krążenia (rys. 7—29).

Centrowanie przez wydłużanie i zacieśnianie krążenia polega na wydłużaniu krążenia w kierunku przypuszczalnego środka wznoszenia

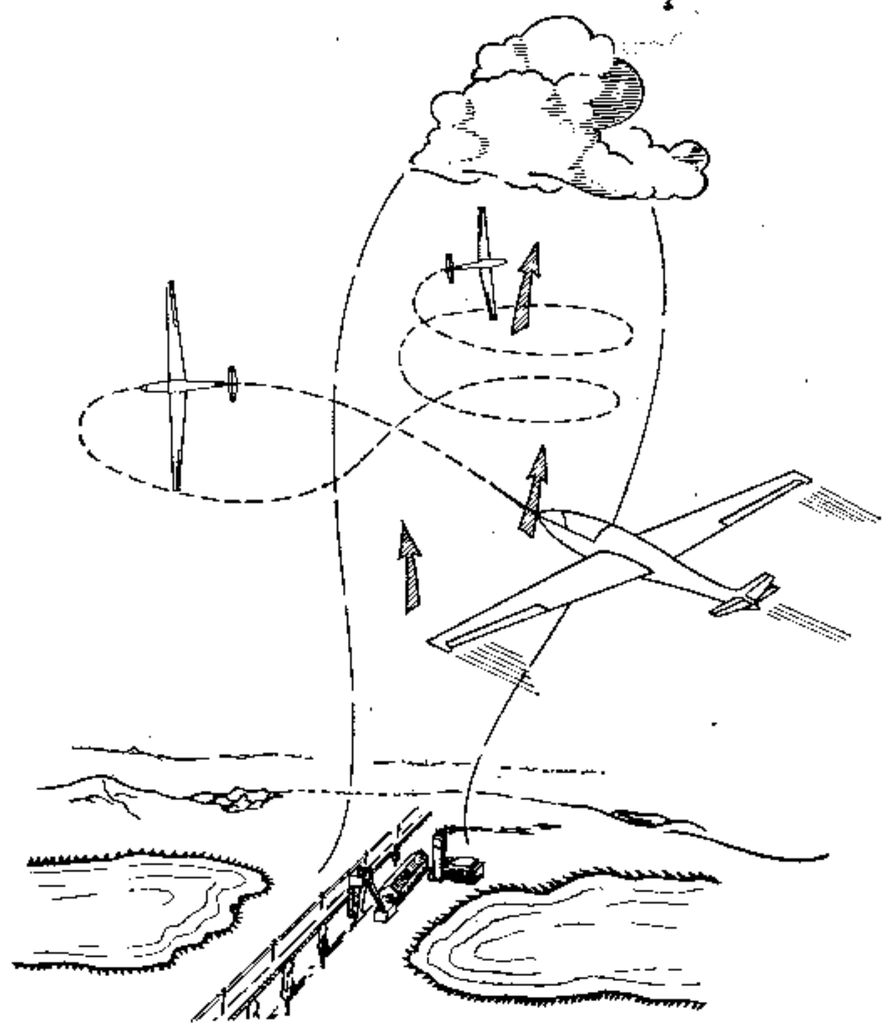


Rys. 7—28. Centrowanie komina termicznego przez wydłużanie i zacieśnianie krążenia szybowca

i zacieśnianiu go w miejscu najsilniejszego wznoszenia. Pamiętać przy tym należy o bezwładności wskazań wariometrów, które zawsze pokazują z opóźnieniem — niekiedy nawet 2—4 sekund, czyli o ćwierć okrążenia za późno. Jeżeli w krążeniu wahania wskazań wariometru są duże, najprędzej można przesunąć się do środka komina przez zdecydowaną zmianę kierunku krążenia w miejscu lub nieco przed miejscem największego wznoszenia.

Wielkość przechylenia w kominie termicznym zależy od jego szerokości oraz prędkości wznoszenia. W kominach silnych i ciasnych krążyć trzeba głęboko, natomiast w słabych — z mniejszym przechyleniem.

Dużą pomoc przy centrowaniu kominów termicznych daje prędkościomierz, którego wskazania mają mniejszą bezwładność od wskazań wariometru. Szybowiec bowiem, wlatując w słup powietrza



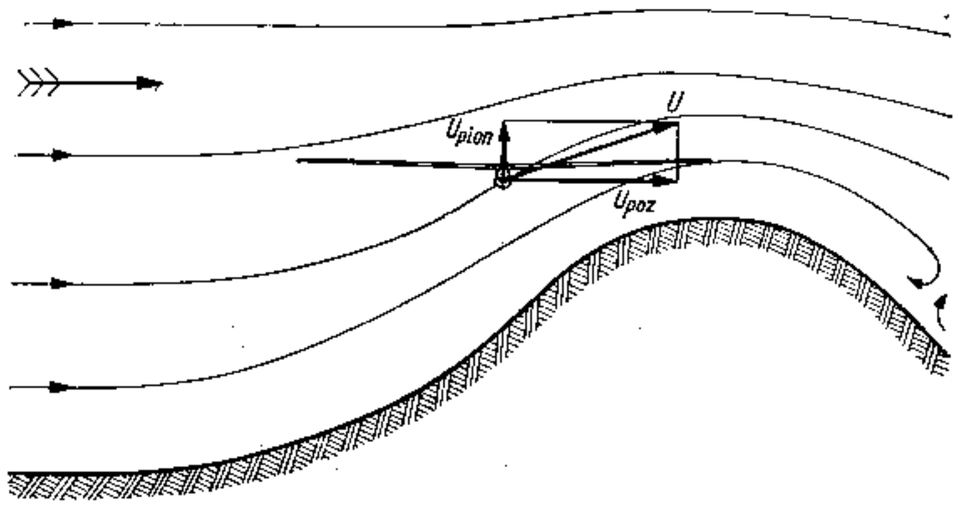
Rys. 7—29. Centrowanie komina termicznego przez odwracanie krążenia szybowca

poruszającego się nie tylko pionowo, lecz również ruchem wirowym, nagle zmienia prędkość lotu (względem powietrza) — o czym najpierw zasygnalizuje prędkościomierz, a dopiero po nim wariometr. Zatem decyzje o zmianie kierunku krążenia lub zacieśnienia krążenia podejmować należy z chwilą zauważenia zmiany prędkości. Przy obserwacji wskazań wariometru miejsce najsilniejszego wznoszenia przypada w momencie ruchu wskazówki do góry.

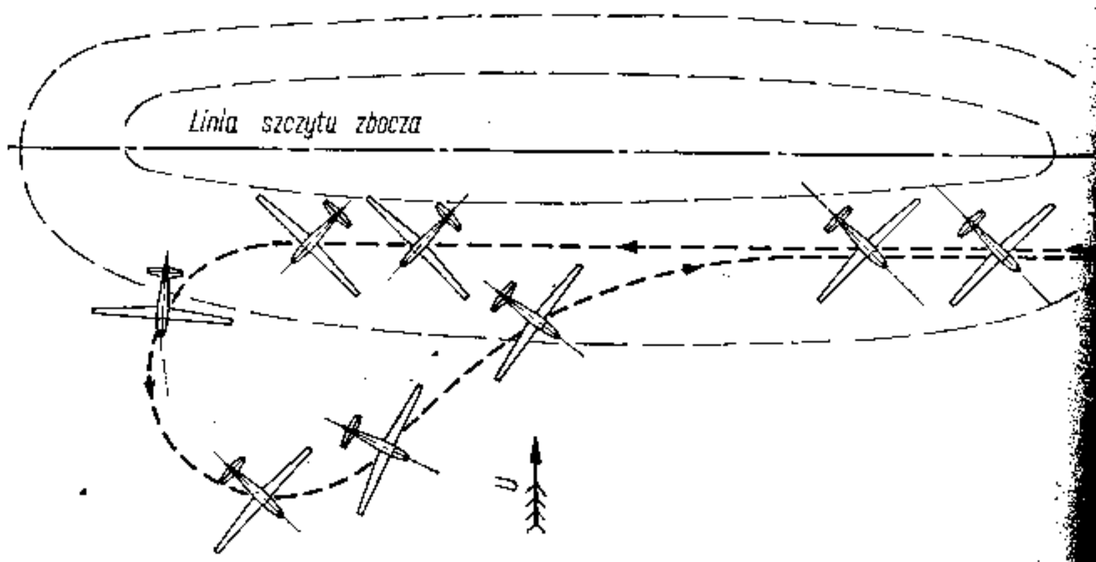
5. Nauka wykonywania lotów zboczowych

Loty zboczowe, zwane również czasem lotami żaglowymi, odbywają się przeważnie przy wietrze o szybkości powyżej 8 m/sek, a więc w warunkach wiatru porywistego i na małej wysokości nad zboczem. Wymagają przeto zaostrzonej czujności i uwagi pilota oraz zwiększenia prędkości lotu szybowca o około 10% ponad jego prędkość optymalną.

Najlepsze wznoszenia występują na 3/4 wysokości zbocza (rys. 7—30) — nigdy nad samym szczytem. Nad tym więc miejscem należy



Rys. 7—30. Najlepsze wznoszenie w lotach zboczowych występuje na 3/4 wysokości zbocza



Rys. 7—31. W locie zboczowym zakręty wykonuje się zawsze od zbocza

odbywać lot zboczowy starając się lecieć trawersem po linii równoległej do szczytu zbocza.

Szybowiec lecący wzdłuż zbocza podlega działaniu wiatru wiejącego w górę po zboczu — jest więc unoszony w górę, a jednocześnie znoszony przez wiatr w kierunku zbocza. Aby zatem utrzymać się w strefie najlepszych wznoszeń, należy przyjąć taki kierunek lotu, w którym odchylenie osi podłużnej szybowca od linii zbocza będzie równe kątowi znoszenia przez wiatr — podobnie zresztą jak przy prawidłowej budowie kręgu nadlotniskowego na odcinkach prostopadłych do kierunku wiatru.

Zakręty należy wykonywać zawsze od zbocza (rys. 7—31) i w miejscach, gdzie jeszcze występuje wznoszenie, ponieważ w zakręcie w duszeniu traci się dużo wysokości. Przechylenie w zakręcie powinno być małe 20°—30°, a przy silnym wietrze może się nawet ograniczyć do 10°.

Krążenie nisko nad zboczem oraz przelatywanie na zawietrzną stronę zbocza jest surowo zakazane ze względu na bezpieczeństwo lotu.

Inż. *Andrzej Abłamowicz*

Rozdział ósmy

Pilotaż bez widoczności

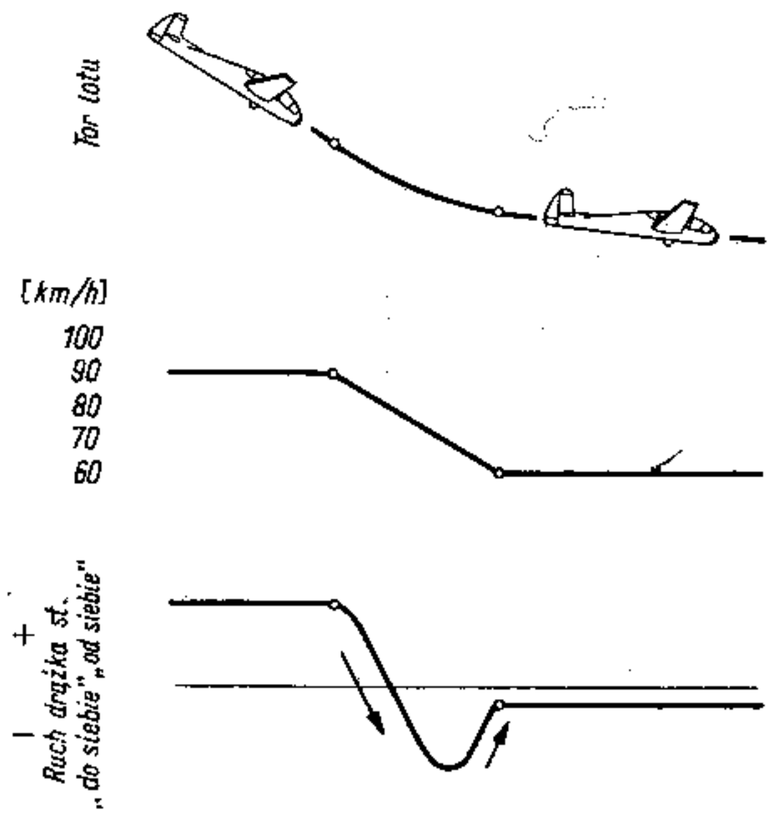
W dzisiejszym stanie rozwoju szybownictwa trudno sobie po prostu wyobrazić loty wyczynowe bez lotów w chmurach, a więc i bez umiejętności pilotażu bez widoczności. Wypiętrzone bowiem chmury kłębiaste pozwalają na osiąganie dużych wysokości lotu, umożliwiając tym samym osiąganie warunków wysokościowych do odznak szybowcowych lub rozwijanie znacznych prędkości przelotowych. Aby jednak móc wykorzystywać w pełni prądy wznoszące chmur kłębiastych, trzeba mieć w znacznym stopniu opanowany pilotaż bez widoczności i utrzymywać się w stałym treningu.

1. Lot prosty

Omawianie pilotażu bez widoczności najlepiej rozpocząć od lotu prostoliniowego, zwanego potocznie lotem po prostej lub lotem prostym.

Siłę ciągu szybowca stanowi jedynie składowa ciężaru równoległa do kierunku lotu (patrz rozdział 1, pkt 11 — *Lot ślizgowy szybowca*). Im przy tym nachylenie toru lotu — odpowiadające w przybliżeniu pochyleniu osi szybowca — jest większe, tym większa jest składowa ciężaru i tym większa prędkość lotu szybowca. Dlatego też ze wskazań prędkościomierza można wnioskować o pochyleniu szybowca. Jeśli w powietrzu brak prądów pionowych, to pochylenie i prędkość lotu szybowca są wprost proporcjonalne do prędkości opadania szybowca.

Aby utrzymać lot prostoliniowy szybowca, trzeba zachować stałą prędkość lotu, stały kierunek oraz nie dopuścić do zaistnienia przechyleń. Na odchylenia od zamierzonego kierunku lotu oraz na powstające przechylenia należy natychmiast reagować. Kluczowym jednak zagadnieniem jest zapewnienie stałej prędkości lotu. Wskutek bowiem burzliwości powietrza, niedokładności wyważenia podłużnego o



Rys. 8—1. W celu zmiany prędkości lotu należy wykonać „podwójny" ruch drążkiem sterowym — w przypadku pokazanym na rysunku: w celu zmniejszenia prędkości lotu pilot ściągnął drążek sterowy do siebie, a następnie część tego ściągnięcia wycofał

mimowolnych nieznacznych ruchów sterami prędkość szybowca może ulegać zmianom. Zadaniem pilota jest więc sprowadzić ją do zamierzonej wielkości.

Przypuśćmy, że prędkość lotu mimowoli wzrosła. Aby ją zmniejszyć, trzeba zmniejszyć pochylenie szybowca przez wychylenie steru wysokości ruchem drążka sterowego do siebie. Trudno byłoby oczywiście tak dobrać ruch drążka, aby po jego wykonaniu otrzymać zamierzoną prędkość. Gdyby nawet to się pilotowi udało, czas zmiany prędkości byłby długi. Należy wobec tego postępować inaczej — ruchem drążka sterowego do siebie pilot powoduje najpierw wznoszenie szybowca połączone ze zmniejszaniem się prędkości, a następnie — w miarę jak prędkość maleje — stopniowo wycofuje wychylenie drążka tak, aby w chwili gdy wskazówka prędkościomierza osiągnie zamierzoną prędkość ukończyć wycofanie nadmiernego ruchu sterem.

Jeżeli prędkość ustali się większa lub mniejsza od zamierzonej, to znaczy że pilot zbyt późno lub zbyt wcześnie ukończył wycofywanie początkowego wychylenia steru. Jeżeli natomiast prędkość osiąg-

nie pewną wartość, a następnie zacznie ją zmieniać (na większą lub na mniejszą), oznacza to że pilot wycofał początkowe wychylenie steru do niewłaściwego położenia. Zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku trzeba powtórzyć manewr sprowadzenia prędkości do wielkości zamierzonej.

Powyższy sposób postępowania tłumaczy się tym, że pierwszy ruch sterem (większy) potrzebny był do wysterowania zmiany pochylenia podłużnego i po jej uzyskaniu musiał zostać wycofany. Ponieważ jednak nowa prędkość nie była równa poprzedniej, więc jak to wynika ze stateczności szybowca, położenie steru odpowiadające tej nowej prędkości także jest inne od wyjściowego.

Jeżeli mimo woli pilota prędkość uległa zmniejszeniu, powinien on postąpić następująco: najpierw wychyleniem drążka sterowego od siebie powoduje pochylenie szybowca do przodu. W miarę jak pochylony szybowiec zaczyna się rozpędzać, pilot wycofuje wychylenie steru (ruchem drążka do siebie), tak aby w chwili uzyskania potrzebnej prędkości zakończyć ten ruch. Podobnie, jak to już opisano wyżej, pilot wykonuje tu podwójny ruch drążkiem: najpierw oddaje drążek od siebie celem wysterowania zmiany pochylenia pociągającej za sobą wzrost prędkości, a następnie w celu utrzymania nowej prędkości wycofuje poprzednie wychylenie steru do położenia odpowiadającego uzyskanej zamierzonej prędkości lotu.

Dotychczas pomijane były zagadnienia dotyczące przechyleń i zmian kierunku lotu szybowca, które występują często wskutek podmuchów lub mimowolnych ruchów drążkiem sterowym.

Na przechylenie szybowca w locie prostoliniowym reaguje kulka chyłomierza poprzecznego przesuwając się w tę samą stronę, w którą przechylił się szybowiec. Poprawienie zwisu następuje przez wychylenie lotek w stronę przeciwną. Szybowiec reaguje na wychylenie lotek zmniejszeniem początkowego przechylenia. W miarę więc jak zmniejsza się przechylenie należy wycofać wychylenie lotek w ten sposób, aby w chwili gdy szybowiec uzyskał poziome położenie (kulka chyłomierza w położeniu środkowym) lotki znalazły się w położeniu neutralnym. Zbyt późne bowiem wycofanie wychylenia lotek prowadzi do przechylenia szybowca w przeciwną stronę, a więc do konieczności ponownego poprawienia zwisu.

Podobnie jak „niepostrzeżenie" podczas pilotażu bez widoczności powstają zwisy szybowca, tak że często następują mimowolne zmiany kierunku lotu.

Na każdą zmianę kierunku reagują dwa przyrządy pokładowe: zakrętomierz i busola. Zakrętomierz pokazuje czy istnieje w danej chwili prędkość kątowa wokół pionowej osi szybowca, nie pokazuje natomiast o ile stopni szybowiec zmienił kurs. Inaczej o zmianie kierunku informuje busola. W miarę jak następuje zmiana kierunku lotu, busola zmienia swoje wskazania pokazując w przybliżeniu aktu-

alny kurs lotu. Po zmianie kierunku, gdy szybowiec wznawia lot prosty pod innym kursem, busola wskaże nowy kurs. W tym czasie wskazówka zakrętomierza powraca do położenia neutralnego.

Tak więc wskazówka zakrętomierza informuje pilota o istniejącej prędkości kątowej zakręcania wskazując w przybliżeniu jej wielkość, busola natomiast wskazuje kierunek (kurs) lotu i jego zmiany nie mierząc prędkości kątowej zakręcania. Busola magnetyczna wskazuje prawidłowo kierunek lotu dopiero po ustaleniu lotu prostego. Wskazania jej podczas zmiany kierunku są niemiarodajne.

Jeżeli pilot zauważy, że wskazówka zakrętomierza wychyliła się i nie powraca natychmiast do położenia środkowego, oznacza to iż szybowiec zmienia kierunek lotu (drobnych oscylacji wskazówki zakrętomierza, które zawsze istnieją, nie należy brać pod uwagę). Aby temu przeciwdziałać, należy natychmiast wychylić ster kierunku w przeciwną stronę, a następnie — kiedy wskazówka powróci do położenia środkowego — wycofać ster kierunku do neutrum. Jeżeli pilot wykona to zgodnie z założeniem, szybowiec oczywiście powróci do lotu prostego, jednak ze zmienionym w stosunku do poprzedniego kursem. Trzeba to naprawić — wychylając ster w stronę zamierzonej zmiany kierunku lotu.

Z teorii i z praktyki (w pilotażu z widocznością ziemi) wiadomo, że każdej zmianie kursu (zakrętowi) powinno towarzyszyć odpowiednie przechylenie szybowca. Zasada ta jest słuszna i obowiązująca zawsze, gdy wykonuje się zakręt. Trudno jednak zmianę kursu, np. o 5 stopni, nazywać zakrętem. Zanim bowiem pilot zdąży przechylić szybowiec i podnieść go z przechylenia, kierunek lotu na pewno ulegnie zmianie większej niż zamierzona.

Ponadto przechylenie szybowca pociąga za sobą również jego zakręcanie. Chcąc więc wykonać zakręt o kilka stopni z przechyleniem, pilot spowoduje jedynie lot „żmijką" bez możliwości powrotu na zamierzony kurs.

Wykonując zatem lot po prostej, należy wszelkie małe zmiany kursu usuwać jedynie za pomocą steru kierunku. Nieco większe zmiany kursu można już usuwać sterem kierunku przy równoczesnym minimalnym przechyleniu szybowca, co ułatwi zakręcanie.

Trzeba tu jednak jeszcze raz z całym naciskiem podkreślić, że opisany wyżej sposób zmian kursu dotyczy tylko lotu po prostej, podczas którego nastąpiła drobna odchyłka od zamierzonego kierunku lotu. Wszelkie natomiast zmiany kursu w znaczeniu nawigacyjnym oraz krążenie szybowca wykonuje się jako prawidłowe zakręty z wyprowadzeniem na zamierzony kurs.

2. Zakręt

Przejdźmy teraz do omówienia zakrętu, a więc i krążenia — tych fundamentalnych dla szybownictwa stanów lotu.

Szybowce eksploatowane w naszych aeroklubach są bardzo rzadko wyposażone w sztuczne horyzonty. Podstawowym więc przyrządem służącym do kontrolowania poprawności zakrętu jest na szybowcu zakrętomierz, a ściślej mówiąc zakrętomierz wraz z chyłomierzem poprzecznym (patrz rozdział 4, pkt 5) — *Wyposażenie szybowców*). Oczywiście trzeba tu dodać, że wskazania jego dopiero w uzupełnieniu ze wskazaniami prędkościomierza pozwalają w pełni kontrolować prawidłowość wykonywanego zakrętu.

W pewnym przybliżeniu można założyć, że przechylenie szybowca wywołane wychyleniem lotek pogłębia zakręt, a zatem działa na wzrost jego intensywności, tj. wychyla wskazówkę zakrętomierza, podczas gdy wychylenie steru kierunku poprzez wywoływanie siły odśrodkowej przemieszcza kulkę chyłomierza (patrz zasada omówiona w rozdziale 7, pkt 4b — 1 — *„kulka kopnięta ucieka od nogi"*, 2 — *„kulka idzie za ręką, czyli za ruchem drążka sterowego"*).

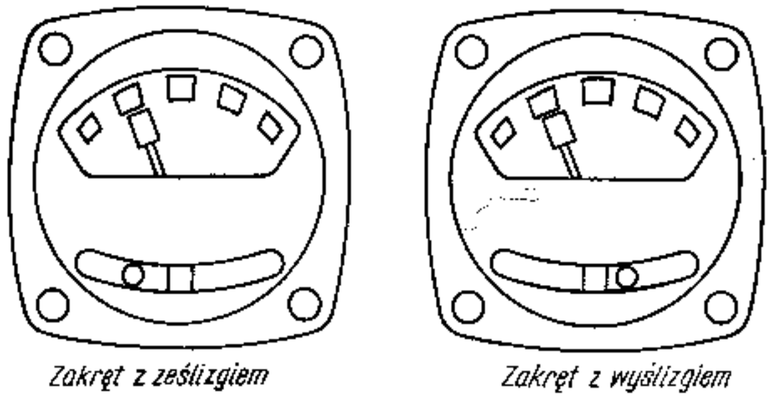
Z takim samym przybliżeniem można założyć, że jest odwrotnie, tzn. że wychylenie steru kierunku poprzez obrót szybowca powoduje wskazania zakręcania, a przechylenie poprzez dopasowanie go do aktualnego zakręcania wpływa na położenie kulki.

Obydwa te założenia są oczywiście przybliżone. W rzeczywistości bowiem przechylenie szybowca wywołane lotkami powoduje zarówno zakręcanie, które wskazuje zakrętomierz, jak i przechylenie oraz związane z nim przesunięcie kulki. Wychylenie steru kierunku powoduje także zakręcanie, na które reaguje zakrętomierz, ale i siłę odśrodkową towarzyszącą obrotowi szybowca dookoła osi pionowej, która przemieszcza kulkę chyłomierza.

Powstaje więc teraz zagadnienie: czy utrzymywać położenie wskazówek zakrętomierza wychyleniami steru kierunku, a położenie kulki lotkami, czy też odwrotnie. Jedynie słuszną metodą jest uwzględnianie równoczesnego wpływu wychylenia zarówno lotek, jak i steru kierunku na wskazania zakrętomierza oraz na położenie kulki. Dla ułatwienia można stosować jedną z dwu wymienionych wyżej zasad, jednak trzeba ją stosować konsekwentnie. Bowiem nic tak nie utrudnia szkolenia, a następnie wykonywania lotów bez widoczności, jak właśnie niepewność w wyborze metody prowadzenia szybowca i przerzucanie się z jednej metody na drugą.

Nieprawidłowości zakrętu mogą polegać na ześlizgu szybowca (kulka chyłomierza przesuwa się w stronę zakrętu) lub na wyślizgu (kulka chyłomierza przesuwa się na zewnątrz zakrętu).

Jeżeli pilot przyjął metodę reagowania sterem kierunku na wska-



Rys. 8—2. Wskazania zakrętomierza przy nieprawidłowym wykonywaniu zakrętów

zania zakrętomierza a lotkami na wskazania chyłomierza, to w przypadku ześlizgu powinien zmniejszyć, a w przypadku wyślizgu zwiększyć przechylenie szybowca.

Jeśli natomiast pilot przyjął zasadę reagowania lotkami na wskazania zakrętomierza a sterem kierunku na wskazania chyłomierza, to w przypadku ześlizgu powinien zwiększyć, a w przypadku wyślizgu zmniejszyć wychylenie steru kierunku.

Należy oczywiście zdawać sobie sprawę z tego, że we wszystkich czterech opisanych wyżej przypadkach zmieni się promień zakrętu. Aby więc poprawić technikę wykonywania zakrętu przy niezmienionym promieniu krążenia, należy na ześlizg lub wyślizg reagować wychyleniem lotek i wychyleniem steru kierunku jednocześnie.

W przypadku ześlizgu należy zmniejszyć przechylenie zwiększając równocześnie wychylenie steru kierunku. Samo bowiem zmniejszenie przechylenia spowodowałoby jedynie „spłaszczenie" zakrętu. Wychylenie steru kierunku zwiększy równocześnie prędkość kątową zakręcania.

W przypadku wyślizgu natomiast należy zwiększyć przechylenie szybowca, ale i zmniejszyć wychylenie steru kierunku. Samo bowiem zwiększenie przechylenia spowodowałoby „pogłębienie" zakrętu. Zmniejszenie wychylenia steru kierunku wpłynie równocześnie na zmniejszenie prędkości kątowej zakręcania.

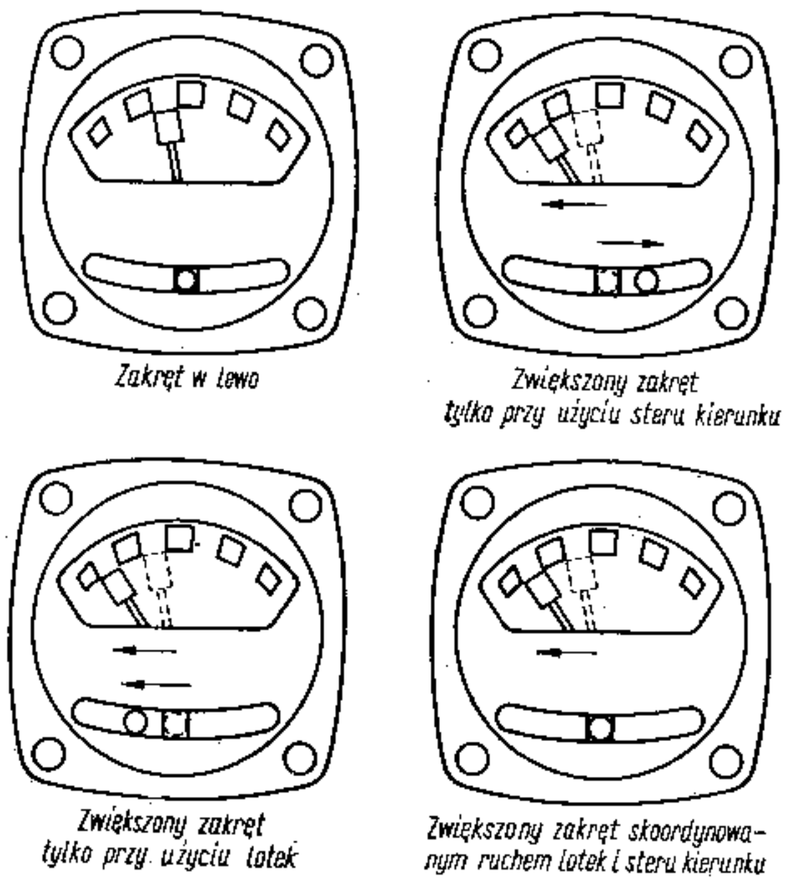
Należy ponadto pamiętać o tym, że wskazania zakrętomierza mają charakter jakościowy, mimo że wychylenie wskazówki jest proporcjonalne do prędkości kątowej. W miarę bowiem wzrostu przechylenia postępuje rozbieżność pomiędzy prędkością kątową dookoła pionowej osi szybowca i prędkością kątową zakręcania. Tak samo zresztą — przy tym samym przechyleniu szybowca w zakręcie prędkość kątowa będzie różna przy różnych prędkościach lotu (prędkościach postępowych szybowca).

Ten charakter wskazań zakrętomierza utrudnia pilotowi korzysta-

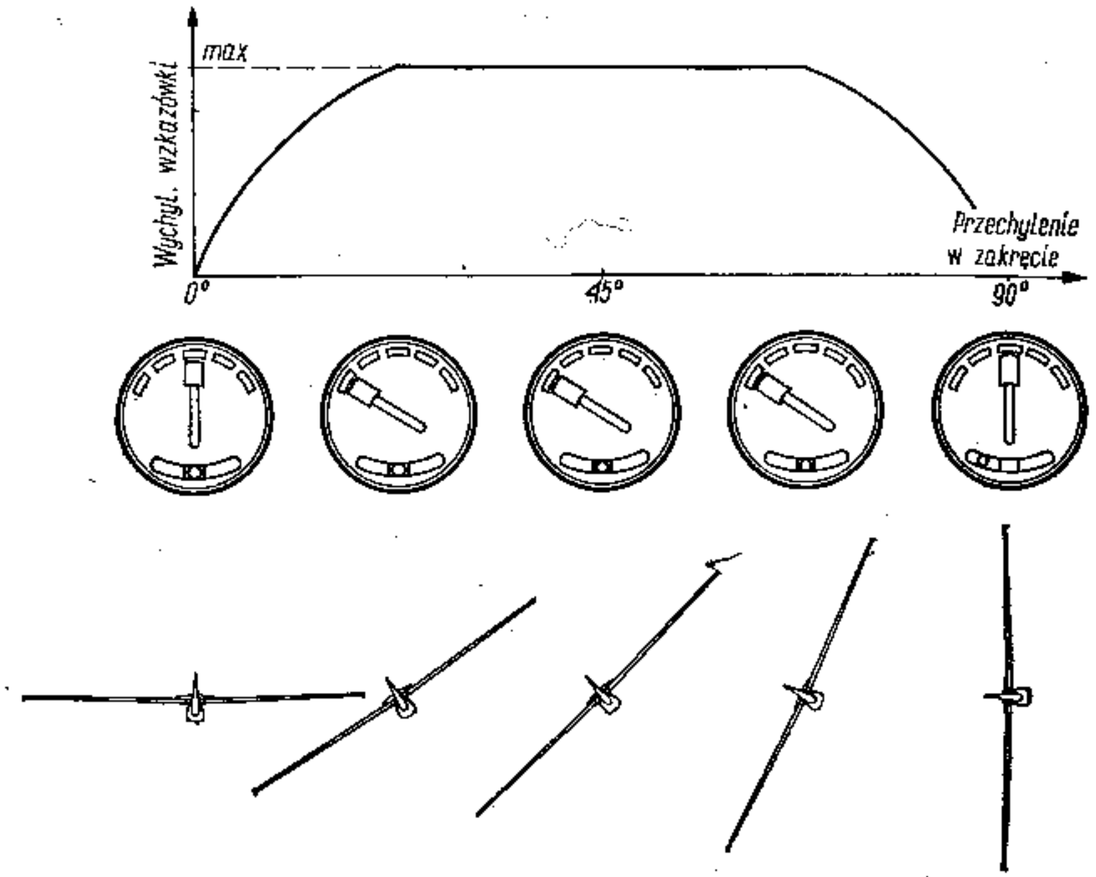
nie z tego przyrządu. Z chwilą bowiem, gdy wskazówka zakrętomierza wychyli się do swego krańcowego położenia, traci on dalszą kontrolę nad wykonywanym zakrętem i nie może odtworzyć sobie położenia szybowca na podstawie wskazań przyrządów. Może to w dalszej konsekwencji doprowadzić do nadmiernego przechylenia szybowca i pogłębiającej się spirali, której towarzyszą zawsze wzrastająca prędkość i przyspieszenie.

Omawiając dotychczas zagadnienie zakrętów poruszaliśmy jedynie sprawę wzajemnych proporcji przechylenia i prędkości kątowej zakręcania. Tymczasem na poprawność zakrętu ma jeszcze wpływ prędkość lotu. Otóż w miarę jak wzrasta przechylenie szybowca w zakręcie, musi wzrastać siła nośna. Jest to możliwe kosztem zwiększenia prędkości lotu. Jak więc widać, powstaje dodatkowo zagadnienie sterowania podłużnego szybowcem.

W czasie zakrętu przyspieszenie normalne działające na szybowiec rośnie. Przyrost kąta wychylenia steru oraz siły na drążku na jednostkę przyspieszenia jest miarą sterowności podłużnej. Widać stąd,



Rys. 8—3. Wskazania zakrętomierza w zakręcie przy sterowaniu szybowcem poszczególnymi sterami oddzielnie oraz przy skoordynowanym ruchu wszystkich sterów



Rys. 8—4. Zakrętomierz wskazuje prędkość kątową obrotu wokół osi pionowej szybowca, która tylko częściowo się pokrywa z prędkością kątową zakręcania. Rysunek przedstawia zależności pomiędzy przechyleniem szybowca w zakręcie a wskazaniami zakrętomierza

że w czasie wykonywania zakrętu nawet z prędkością lotu równą prędkości wyjściowej, tj. tej przy której zakręt rozpoczęto, trzeba wychylić ster wysokości używając do tego siły ściągającej drążek sterowy do siebie. Siła ta i związane z nią wychylenie steru są tym większe, im większe jest przechylenie.

Bezwzględnie należy pamiętać, że przed wykonaniem zakrętu o dużym przechyleniu, co zresztą w locie bez widoczności rzadko się zdarza, trzeba zwiększyć prędkość lotu. Ponadto przy wszelkich kłopotach z utrzymaniem prędkości podczas wykonywania zakrętów o dużym przechyleniu należy w pierwszym rzędzie rozluźnić zakręt przez zmniejszenie przechylenia oraz chwilowe zaprzestanie ściągania drążka sterowego i dopiero w łagodnym zakręcie należy powracać do zamierzonej prędkości lotu.

Trzeba również pamiętać o tym, że przechylony szybowiec zawsze ma tendencję do dalszego przechylania się i zwiększania prędkości lotu. Dlatego też należy pilnie kontrolować położenie szybowca nie dopuszczając do nadmiernego przechylenia i w żadnym razie nie

przeciwdziałać wzrostowi prędkości natychmiastowym ściąganiem drążka sterowego do siebie dopóki nie zostanie stwierdzone, że szybowiec nie znajduje się w spirali. Jeśli pilot stwierdzi stromą spiralę, powinien najpierw doprowadzić szybowiec do łagodniejszego zakrętu i wtedy dopiero zmniejszyć jego prędkość lotu. Natychmiastowe reagowanie na wzrost prędkości w spirali poprzez wychylenie drążka sterowego do siebie spowoduje tylko zacieśnienie spirali i nie da spodziewanego zmniejszenia prędkości lotu.

3. Wyprowadzanie z krążenia

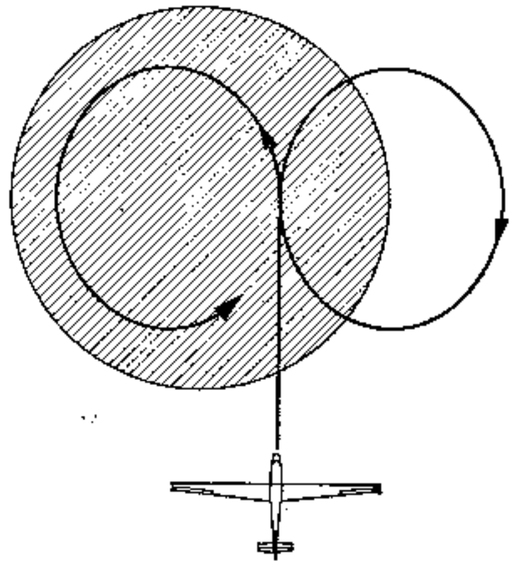
Bardzo istotnym zagadnieniem w pilotażu bez widoczności jest wyprowadzenie szybowca z krążenia na zamierzony kurs. Aby to osiągnąć w oparciu o wskazania busoli magnetycznej, należy przede wszystkim zmniejszyć przechylenie szybowca tak, aby zakręt był wykonywany z możliwie małą prędkością kątową. Tylko bowiem przy bardzo małych prędkościach kątowych można szacunkowo korzystać ze wskazań busoli.

Po przejściu szybowca do lotu po prostej nie należy również poprawiać żadnych odchyleń od zamierzonego kierunku lotu, ale poczekać aż róża wiatrów busoli wytłumi swoje wahania. Dopiero wtedy można stwierdzić dokładnie o ile stopni aktualny kurs lotu różni się od zamierzonego. Znając przy tym prędkość kątową zakręcania w stopniach na sekundę, odpowiadającą wychyleniu wskazówki zakrętomierza „na styk" (lub do jakiegokolwiek innego umownego położenia), należy podzielić różnicę kursów przez prędkość kątową. Otrzymana liczba sekund wskaże czas trwania zakrętu, który należy wykonać dla osiągnięcia zamierzonego kursu. Bardzo małe odchylenia od zamierzonego kursu należy poprawiać, jak to zostało już opisane przy rozważaniu lotu prostego.

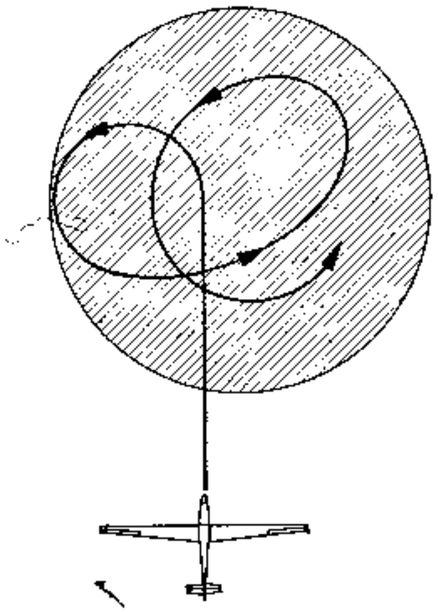
Niektórzy piloci twierdzą, że przy małych prędkościach zakręcania można w wystarczającym stopniu korzystać z aktualnych wskazań busoli. Nie jest to jednak sposób pewny ze względu na specyficzne właściwości (budowy różnych typów busoli magnetycznych.

4. Krążenie w chmurze

Dla uzyskania pomyślnych rezultatów w lotach chmurowych nie wystarczy tylko umiejętność poprawnego pilotażu szybowca bez widoczności. Umiejętność ta musi iść w parze z inną — skutecznym wykorzystywaniem wznoszeń. O tyle, o ile wykorzystywanie wznoszeń w locie z widocznością ziemi jest względnie proste, w locie bez



Rys. 8—5. Centrowanie wznoszenia przez zmianę kierunku krążenia szybowca (porównaj również rysunki 7—29 oraz 10—1)



Rys. 8—6. Centrowanie wznoszenia przez przesuwanie osi krążenia szybowca (porównaj również rysunki 7—28 oraz 10—1)

widoczności staje się czynnością znacznie trudniejszą. Tak jak w lotach z widocznością ziemi (patrz również rozdziały 7, pkt 5 oraz 10, pkt 2) i tu istnieją dwa zasadnicze sposoby wprowadzenia szybowca w środek prądu wznoszącego, czyli tzw. centrowanie kominów.

Pierwszy ze sposobów to zmiana kierunku krążenia. Jeśli szybowiec wprowadzony w krążenie ma niejednostajną prędkość wznoszenia, oznacza to, że środek prądu wznoszącego nie pokrywa się ze środkiem wykonywanych okrążeń. W momencie, gdy wznoszenie jest największe, szybowiec znajduje się najbliżej środka prądu wznoszącego. Gdy natomiast wznoszenie jest najmniejsze lub nawet gdy opadanie jest największe, szybowiec jest najbardziej oddalony od środka prądu wznoszącego. Aby więc najskuteczniej wykorzystać wznoszenie, należy zmienić kierunek krążenia w tym momencie, gdy wskazówka wariometru wykonuje najszybszy ruch do góry. W ten sposób uwzględnia się opóźnione wskazania wariometru oraz bezwładność szybowca przy zamianie kierunku krążenia. Sens tego manewru najlepiej wyjaśnia rysunek 8—5.

Opisany sposób centrowania wznoszeń daje najlepszy skutek, gdy początkowe krążenie odbywało się na skraju prądu wstępującego. Jeżeli jednak pilot wprowadził szybowiec dość dobrze w obszar wznoszenia i chce jedynie trochę przesunąć oś krążenia, powinien zastosować drugi ze sposobów. Polega on na tym, że w miejscach gdzie wznoszenie jest większe, należy zmniejszyć przechylenie szybowca (a tym samym powiększyć promień krążenia), natomiast

wychodząc z obszaru wznoszenia (gdy wznoszenie maleje) należy przechylenie szybowca zwiększyć (tj. zmniejszyć promień krążenia). W ten sposób szybowiec coraz dłużej przebywa w obszarze silniejszego wznoszenia, a coraz krócej w obszarze słabego wznoszenia. Oś krążenia przesuwa się oczywiście ku środkowi prądu wznoszącego.

Na pozór oczywisty fakt, że zmiany prędkości lotu spowodowane mało precyzyjnym pilotażem pociągają za sobą zmiany wskazań wariometru, może bardzo znacznie utrudnić, a nawet uniemożliwić wykorzystanie wznoszenia — chyba że szybowiec jest wyposażony w wariometr energii całkowitej. Dobry pilot powinien jednak pewnie i spokojnie prowadzić szybowiec także wówczas, gdy ma do dyspozycji tylko wariometr zwykłego typu.

Pewność siebie i zasób umiejętności gwaratujących skuteczne oraz bezpieczne wykonywanie lotów bez widoczności zdobywa pilot dopiero po dłuższym trenigu, a szczególnie po opanowaniu umiejętności wyprowadzania szybowca z nienormalnych położeń w locie bez widoczności, o czym będzie mowa dalej. Wyprowadzanie szybowca z nienormalnego położenia jest cenną umiejętnością, ale bardziej cenne jest niedoprowadzanie do takich położeń. A trzeba sobie zdać sprawę z tego, że przejście do lotu bez widoczonści w rzeczywistych warunkach sprzyja utracie panowania nad szybowcem, jeżeli pilot nie zabezpieczy się przed tym wcześniej.

Pomimo tego, że włączenie zakrętomierza na kilka minut przed wejściem w chmurę jest oczywistą koniecznością, młodzi piloci często o tym zapominają, co rzecz jasna prowadzi do niemal natychmiastowej utraty panowania nad szybowcem. Przed wejściem szybowca w chmurę zakrętomierz powinien być dobrze rozkręcony, a pilot powinien prowadzić szybowiec według jego wskazań jeszcze w warunkach widoczności ziemi, tak aby utrata kontaktu wzrokowego z ziemią nie zaskoczyła go.

Z taktycznego punktu widzenia dobrze jest również wybrać odpowiednie miejsce wejścia w chmurę. Jeżeli szybowiec znajduje się pod podstawą chmury, należy zorientować się, w którym miejscu wznoszenie jest najsilniejsze, ustalić krążenie w środku tego wznoszenia jeszcze w locie z widocznością i wtedy dopiero wejść w chmurę.

5. Nienormalne położenie szybowca w locie

Nienormalne położenia szybowca w locie bez widoczności mogą być wynikiem utraty panowania pilota nad szybowcem wskutek błędów pilotażu lub spowodowane przez bardzo silną turbulencję kiedy sterowność szybowca okazuje się niewystarczającą. W pierwszym

przypadku należy bezwzględnie jak najszybciej rozpoznać sytuację, w jakiej znajduje się szybowiec i wyprowadzić z niej, w drugim natomiast należy robić wszystko, aby przeciwdziałać zaburzeniom, a następnie możliwie jak najszybciej (gdy tylko stanie się to możliwe) opanować szybowiec.

Nienormalne dla lotów bez widoczności sytuacje, w których może znaleźć się szybowiec, można z grubsza podzielić na dwie grupy. Pierwszą grupę stanowią sytuacje zaistniałe w wyniku dopuszczenia do przekroczenia krytycznego kąta natarcia, a więc przeciągnięcie i korkociąg. Drugą grupę stanowią takie sytuacje, w których wskutek niepanowania pilota nad szybowcem zaczyna się on rozpędzać. Do tych sytuacji zaliczyć można ślizg, zakręt o nadmiernie dużym przechyleniu oraz spiralę „na łeb".

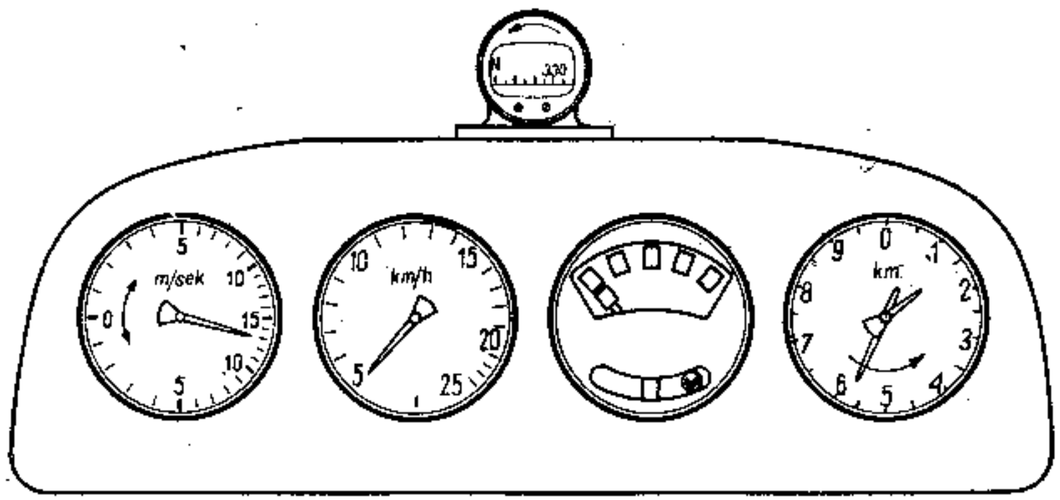
Przyczynami prowadzącymi do p r z e c i ą g n i ę c i a s z y b o w c a w locie bez widoczności są zwykle: niewycofanie wychylenia steru wysokości (ściągnięcia drążka sterowego) przy wyprowadzeniu z zakrętu o dużym przechyleniu oraz niedostateczne opanowanie utrzymywania prędkości lotu. Przy wykonywaniu zakrętu o dużym przechyleniu ster wysokości jest dość znacznie wychylony. Jeżeli więc wyprowadzenie przez wychylenie lotek z równoczesną pracą sterem kierunku nie jest odpowiednio skoordynowane ze zmniejszeniem wychylenia steru wysokości, to w następstwie tego szybowiec przechodzi do lotu silnie wznoszącego przy niewielkiej prędkości początkowej. Skutkiem tego prędkość zaczyna maleć w dość szybkim tempie, a jeśli pilot jest zaabsorbowany utrzymywaniem lotu prostego, to może się zdarzyć, że szybowiec ulegnie przeciągnięciu.

Jeżeli przeciągnięcie już nastąpiło, trzeba natychmiast mu przeciwdziałać i jak najszybciej doprowadzić szybowiec do normalnego lotu. Przeciągnięcie można rozpoznać przede wszystkim po szybko zmniejszającej się prędkości lotu. Ponadto sterowność szybowca znacznie się pogarsza, wychylenia sterów wymagają bardzo nieznacznych sił, a skutki tych wychyleń są niewielkie i pojawiają się z opóźnieniem. Często także tuż przed przeciągnięciem występuje nieduże drganie całego szybowca wywołane trzepotaniem usterzenia (ten objaw jest zależny od typu szybowca, na którym lot się odbywa i może mieć rozmaitą postać zależnie od charakteru samego przeciągnięcia).

W chwili przeciągnięcia szybowiec szybkim ruchem pochyla się do przodu. Jeżeli do tego w momencie przeciągnięcia szybowiec miał przechylenie (zwis), to prawie zawsze przechylenie to dość gwałtownie się powiększa. Najbardziej charakterystyczny przy tym jest fakt, że wyżej opisane zmiany położenia szybowca następują bez jakiejkolwiek akcji sterami ze strony pilota, a nawet często przeciwnie do jego usiłowań zdążających do opanowania sytuacji. Jest to najbardziej typowa oznaka przeciągnięcia. Po przeciągnięciu zawsze na-

stępuje wzrost prędkości, chyba że szybowiec wchodzi w korkociąg, co zostanie osobno opisane.

Aby przeciwdziałać przeciągnięciu, należy zdecydowanie wychylić ster wysokości ruchem drążka sterowego od siebie. Ten pierwszy ruch drążkiem sterowym ma na celu zmniejszenie kąta natarcia. Gdy się to uzyska, trzeba szybko zlikwidować przechylenie szybowca



Rys. 8—7. Przykład wskazań przyrządów pokładowych szybowca w czasie korkociągu. Charakterystyczne są tu wskazania zakrętomierza w połączeniu z małą prędkością, znacznym opadaniem oraz stałe zmniejszającą się wysokością lotu. Busola w tym czasie wiruje

używając do tego celu lotek, a następnie sprowadzić wskazówkę zakrętomierza do środkowego położenia. Po wykonaniu tych ruchów sterami szybowiec znajduje się teraz w stromym locie prostym, z którego wyprowadza się go jedynie sterem wysokości zmniejszając prędkość podwójnym ruchem drążka sterowego (w międzyczasie szybowiec już się rozpędził).

Wyprowadzając szybowiec z przeciągnięcia trzeba specjalnie uważać, aby przez zbyt obszerny ruch steru wysokości nie spowodować przejścia w strome nurkowanie, aby najpierw usunąć przechylenie i dopiero potem ustalić kierunek lotu, oraz aby zbyt gwałtownym ściągnięciem drążka sterowego nie spowodować powtórnego przeciągnięcia.

Jeżeli po przeciągnięciu zaistnieją odpowiednie warunki do k o r k o c i ą g u, szybowiec może rozpocząć jego wykonywanie. Korkociąg rozpoznaje się po tym, że wskazówka zakrętomierza utrzymuje się w krańcowym położeniu (wskazuje kierunek obrotu), kulka chyłomierza również w krańcowym położeniu, jednak przeciwnie odchylona niż wskazówka zakrętomierza, prędkość jest przy tym mniej więcej ustalona i niewiele większa od prędkości przeciągnięcia, a wariometr

i wysokościomierz pokazują, że szybowiec znacznie wytraca wysokość.

Stery szybowca znajdują się wtedy w takim położeniu, że drążek sterowy jest maksymalnie wychylony „do pilota", a ster kierunku całkowicie wychylony zgodnie z kierunkiem wskazywanym przez wskazówkę zakrętomierza. Szybowce nie wykazują takich skłonności korkociągowych, aby samo przeciągnięcie powodowało już wejście w korkociąg, oraz aby szybowiec pozostał w korkociągu przy sterach znajdujących się w innych położeniach niż odpowiadających prawie maksymalnym jego wychyleniom.

Po stwierdzeniu, że szybowiec znajduje się w korkociągu, należy przedsięwziąć natychmiastowe środki celem wyprowadzenia z niego (chyba że korkociąg jest wykonywany celowo). Aby to uzyskać, należy wychylić ster kierunku całkowicie w stronę przeciwną niż wychylona jest wskazówka zakrętomierza, a w ślad za tym oddać drążek sterowy od siebie poza położenie neutralne przy równoczesnym zachowaniu neutralnego położenia lotek. W chwili, gdy wskazówka zakrętomierza i kulka chyłomierza poprzecznego opuszcza swoje krańcowe (przeciwne) położenia i zaczną się zbliżać do środka tarczy przyrządu, należy rozpocząć ściąganie drążka sterowego do siebie celem wyprowadzenia szybowca ze stromego nurkowania, w którym się on znajduje. Równocześnie trzeba zwracać uwagę na utrzymanie wskazówki zakrętomierza i kulki chyłomierza w położeniu bliskim neutralnego.

Uniknięcie oscylacji wskazówki zakrętomierza przy wyprowadzaniu z korkociągu jest prawie niemożliwe, dlatego takimi wskazaniami (oraz niedużymi odchyleniami kulki) nie należy się przejmować. Trzeba zdecydowanie przeciwdziałać tylko większym odchyleniom wskazówki od środkowego położenia, a zwłaszcza jej tendencji do pozostawania w pozycji wychylonej.

Samo wyprowadzenie z nurkowania po zatrzymaniu obracania jest dość trudne. Droga bowiem szybowca po łuku aż do położenia mniej więcej poziomego jest dość długa, a zmniejszanie prędkości za pomocą niedużych podwójnych ruchów drążka sterowego nie daje zadowalających rezultatów. Takie stopniowe wyprowadzanie spowodowałoby znaczne rozpędzanie się szybowca połączone z bardzo dużą utratą wysokości. Trzeba więc w omawianym przypadku wychylić drążek sterowy zdecydowanym i dość znacznym ruchem do siebie oraz utrzymywać go w tym położeniu, dopóki prędkość nie zacznie się zmniejszać. Jest to sygnałem do rozpoczęcia wycofywania wychylenia drążka sterowego, przy czym należy być przygotowanym na ewentualną konieczność poprawienia prędkości lotu w dość dużym zakresie.

Jest rzeczą bardzo ważną, aby w porę rozpocząć wyprowadzanie szybowca z nurkowania nie pozwalając na jego nadmierne rozpędzanie oraz aby to wyprowadzanie zwłaszcza w początkowej fazie nie

było zbyt energiczne, co może doprowadzić do powtórnego przeciągnięcia.

Przejdźmy teraz do rozważań na temat wyprowadzenia szybowca z niezamierzonych położeń, w których szybowiec nadmiernie się rozpędza. Pierwszym przykładem jest ślizg. W ślizgu wskazania przyrządów pokładowych przedstawiają się następująco: wskazówka zakrętomierza jest maksymalnie wychylona w stronę przechylenia i kulka również w krańcowym położeniu z tej samej strony.

Skoro rozpoznaliśmy już ślizg szybowca, to przypomnijmy sobie najpierw jak jest on wyprowadzany z niego w normalnym locie z widocznością ziemi. Przede wszystkim więc należy zmniejszyć przechylenie przez energiczne wychylenie lotek. W wyniku tego wskazówka zakrętomierza będzie się zbliżała do środkowego położenia. Z kolei kulkę chyłomierza sprowadza się do neutralnego położenia przez wycofanie wychylenia steru kierunku.

Uzasadnienie takiego postępowania jest następujące. Na kulkę chyłomierza oddziałowuje siła odśrodkowa i siła ciężkości, które w przypadku przechylenia szybowca powodują przesunięcie się kulki. Przy podnoszeniu szybowca ze ślizgu zmniejsza się więc działanie siły ciężkości, pod wpływem którego kulka przesunęła się w stronę przechylenia. Jeśli przechylenie byłoby usunięte całkowicie, to kulka wróciłaby do neutrum, jednak przeciwdziała temu jeszcze siła odśrodkowa wywołana wychyleniem steru kierunku. Dlatego właśnie trzeba to wychylenie wycofać, a kulka powróci do środkowego położenia. Po zlikwidowaniu przechylenia oraz przejściu szybowca do lotu prostego zmniejsza się już jego prędkość podwójnymi ruchami steru wysokości.

Podobne wskazania jak te, z którymi spotykaliśmy się podczas ślizgu, mogą znamionować spiralę nie ustaloną, czyli tzw. „spiralę na łeb". Różnica polega tu tylko na tym, że wskazówka zakrętomierza zawsze zajmuje krańcowe położenie, a kulka chyłomierza także znajduje się w jej skrajnym położeniu i po tej samej stronie co wskazówka zakrętomierza. Charakterystycznym objawem spirali „na łeb" jest przy tym silnie wzrastająca prędkość lotu, znaczne opadanie, a przede wszystkim narastające przyspieszenie, które pilot odczuwa jako wciskanie w fotel. Próby zmniejszenia prędkości szybowca przez ściąganie drążka sterowego do siebie nie dają pozytywnych rezultatów powodując jedynie wzrost przyspieszenia.

Jest to bardzo groźny stan lotu, gdyż powoduje zarówno znaczną utratę wysokości, jak i nadmierny wzrost prędkości oraz duże obciążenie konstrukcji w miarę wzrostu przyspieszeń.

Aby dobrze rozumieć postępowanie przy wyprowadzaniu, trzeba sobie jasno zdać sprawę z tego co dzieje się z szybowcem. Otóż szybowiec jest silnie przechylony i ślizgając się nieco w stronę przechylenia rozpędza się. W czasie trwania spirali przechylenie wzrasta, a przyspieszenie normalne *) zwiększa się równocześnie ze wzrostem prędkości.

Jest rzeczą zrozumiałą, że w locie o dużym przechyleniu ściągnięcie drążka sterowego do siebie nie spowoduje wyraźnego zmniejszenia prędkości, lecz poprzez obrót dookoła poprzecznej osi szybowca powiększy jeszcze w znacznym stopniu przyspieszenie normalne działające na szybowiec. Oddanie natomiast drążka sterowego od siebie nie grozi już silniejszym wzrostem prędkości, lecz da wyraźne rozluźnienie zakręcania, a co za tym idzie, znaczne zmniejszenie przyspieszenia i zamieni stan lotu na coś w rodzaju ślizgu połączonego z zakręcaniem.

Teraz łatwo sobie wyobrazić jak należy wyprowadzać szybowiec ze spirali „na łeb". W pierwszym rzędzie należy zmniejszyć ściągnięcie drążka sterowego. W miarę oddawania drążka od siebie przyśpieszenie maleje, a prędkość jeszcze nadal rośnie. Następnie należy sprowadzić wskazówkę zakrętomierza i kulkę chyłomierza do środkowych położeń. Postępowanie w tym przypadku jest prawie takie samo jak przy wyprowadzeniu ze ślizgu, tzn. zdecydowanym i dużym wychyleniem lotek podnieść szybowiec z przechylenia (wskazówka zakrętomierza powróci do środka) oraz wycofać wychylenie steru kierunku (kulka chyłomierza po usunięciu siły odśrodkowej również wróci do środka).

Ostatnią czynnością przy wyprowadzaniu szybowca ze spirali „na łeb" jest zmniejszenie dużej prędkości lotu. Postępować należy tu podobnie jak przy wyprowadzaniu z korkociągu: — stopniowym i dość dużym ruchem drążka do siebie zmniejszyć kąt nurkowania, a następnie w miarę jak wskazówka prędkościomierza zbliża się do zamierzonej wartości wycofać wychylenie podwójnymi ruchami do jej ustalenia. Przy zmniejszaniu prędkości należy pamiętać, że zbyt powolna akcja drążkiem powoduje nadmierną utratę wysokości i przedłuża proces wyprowadzania.

6. Postępowanie w trudnych sytuacjach

Dotychczasowe rozważania dotyczyły pilotażu bez widoczności we względnie spokojnym powietrzu i przy sprawnie działających przyrządach pokładowych, tymczasem pilot szybowcowy odbywający loty w wypiętrzonych chmurach kłębiastych nierzadko spotyka się z zakłóceniami we wskazaniach przyrządów pokładowych lub z całkowitym brakiem tych wskazań. Przyczynami są zwykle zawodnienie

*) Przyspieszeniem normalnym nazywa się takie przyspieszenie, które działa zgodnie z pionową osią szybowca.

przyrządu lub oblodzenie rurki spiętrzeniowej, albo podciśnieniowej prędkościomierza i zakrętomierza.

Skutkom oblodzenia jako pierwszy przyrząd zazwyczaj ulega prędkościomierz. Wskazania jego stopniowo maleją i stają się leniwe, a w końcu ustają zupełnie. Jeśli po oblodzeniu rurki nastąpi znaczna zmiana wysokości, to wskazania ulegną postępującej bardzo powoli zmianie. Tłumaczy się to zmianą ciśnienia statycznego przy nie zmienionym ciśnieniu w pozostałym obwodzie prędkościomierza. Od chwili zaobserwowania pierwszych objawów oblodzenia należy ze szczególną uwagą obserwować wskazania prędkościomierza, aby na ich zmniejszanie wywołane oblodzeniem rurki nie reagować wychyleniami steru wysokości mającymi na celu pochylenie szybowca.

Po ustaniu wskazań prędkościomierza pozostają dwa sposoby utrzymania mniej więcej prawidłowej prędkości lotu. Pierwszy sposób — to korzystanie ze wskazań chyłomierza podłużnego, drugi — to utrzymywanie prędkości według wrażeń słuchowych. Trzeba oczywiście zdawać sobie sprawę z tego, że są to wysoce niedoskonałe metody i mogą mieć jedynie zastępcze znaczenie. Ponadto wskazania chyłomierza podłużnego zmieniają się również z przechyleniem szybowca w zakręcie i przy dużych przechyleniach zupełnie przestają być miarodajne. Wskazania chyłomierza są również niemiarodajne przy zmiennych przyspieszeniach, a więc w przypadku silnej turbulencji.

Co do utrzymania prędkości lotu według wrażeń słuchowych, to trzeba być przygotowanym na to, że w miarę wsłuchiwania się w szum szybowca zaczyna się odróżniać odgłosy o zmiennym natężeniu, np. dudnienia itp. Reagowanie na te wszystkie zjawiska może prowadzić do ustawicznych zmian prędkości lotu i powiększających się różnic w odbieranych wrażeniach słuchowych. W każdym razie w miarę powstawania zmian prędkości coraz łatwiej odróżnia się prędkość dużą od małej, jednak amplituda wahań prędkości musi być dostatecznie duża.

Równocześnie z prędkościomierzem ulega oblodzeniu podwójna dysza Venturi napędzająca zakrętomierz (jeśli jest to zakrętomierz pneumatyczny). W przypadku zaobserwowania zwolnienia reakcji wskazówki zakrętomierza należy starać się natychmiast opuścić chmurę i to koniecznie w locie prostym, a w żadnym razie nie w korkociągu. Brak wskazań zakrętomierza wskutek oblodzenia dyszy lub wyczerpania się baterii zasilającej (w przypadku zakrętomierza elektrycznego) stwarza bardzo groźną sytuację, gdyż pilot przestaje zdawać sobie sprawę z położenia szybowca w przestrzeni.

Jedynym wyjściem w tym przypadku jest neutralne ustawienie pedałów, zablokowanie ich oraz utrzymanie lotu bez zwisów poprzez reagowanie lotkami na odchylenia kulki chyłomierza poprzecznego. Szybowiec powinien zachować wtedy lot mniej więcej prosty i w tym

locie po pewnym czasie opuścić chmurę. Na szczęście ostatnio stosuje się prawie wyłącznie zakrętomierze elektryczne i przy posiadaniu zapasowej baterii groźba przerwy w działaniu zakrętomierza zmniejsza się praktycznie do zera.

Zaprzestanie wskazań wysokościomierza lub wariometru nie ma w zasadzie wpływu na sam pilotaż szybowca i nie stwarza tak groźnych sytuacji, jak zaprzestanie wskazań zakrętomierza. Oblodzenie wysokościomierza oraz wariometru następuje na ogół późno i najczęściej albo trzeba już wcześniej wyprowadzić szybowiec z chmury wskutek oblodzenia prędkościomierza, albo oblodzenie wysokościomierza i wariometru w ogóle nie nastąpi. Ponieważ przy tym podstawy chmur kłębiastych są dość wysokie, więc w lotach nad terenem nizinnym brak wskazań wysokościomierza do wyjścia z chmur bokiem, a nawet przez podstawę nie stwarza niebezpiecznych sytuacji.

Oblodzenie szybowca jest groźne nie tylko ze względu na możliwość odmowy wskazań przyrządów pokładowych. Innymi czynnikami przemawiającymi za unikaniem lub możliwie szybkim przelatywaniem obszarów, w których występuje oblodzenie są: wzrost ciężaru szybowca, możliwość zablokowania sterów lodem oraz zmiana profilu części pokrytych warstwą lodu.

Wzrostowi ciężaru i zmianom profilu części szybowca pilot nie może przeciwdziałać. Obydwa te czynniki wpływają na wzrost prędkości przeciągnięcia, pogorszenie doskonałości i minimalnego opadania oraz zmianę stateczności i sterowności szybowca. Natomiast przed zablokowaniem sterów przez lód pilot może się dość skutecznie bronić. W tym celu powinien, począwszy od momentu zaobserwowania pierwszych objawów oblodzenia, co pewien czas stosować krótkie ale szybkie i obszerne ruchy sterami. Ruchy te mają na celu obłamywanie tworzących się narośli lodu dopóki są one nieduże i nie mogą zablokować sterów.

Jeszcze jednym zagadnieniem występującym w lotach bez widoczności wewnątrz chmur kłębiastych jest sprawa burzliwości powietrza. Turbulencja wpływa zarówno na stopień trudności pilotażu poprzez ustawiczne wytrącanie szybowca z położenia równowagi, jak i na obciążenia szybowca (patrz również rozdział 2, pkt 5).

W locie bez widoczności w burzliwej atmosferze częstokroć wskazówka zakrętomierza osiąga skrajne położenia. Należy natychmiast temu przeciwdziałać, gdyż prowadzi to do niemożności rozpoznania położenia szybowca, a w dalszym ciągu do utraty panowania nad nim. Z tego właśnie powodu piloci szybowcowi w czasie lotów w chmurach kłębiastych tak często mają do czynienia ze spiralą „na łeb".

Jeżeli szybowiec prowadzony jest ze zbyt małą prędkością, to nagły

podmuch pionowy od dołu może spowodować przeciągnięcie szybowca a nawet korkociąg. Dlatego w burzliwym powietrzu nie należy latać z prędkością bliską minimalnej. Nie upoważnia to jednak równocześnie do wnioskowania, że w burzliwym powietrzu należy rozpędzać szybowiec. Istnienie bowiem dużej prędkości lotu samo przez się obciąża konstrukcję szybowca, a możliwość zaistnienia silnego podmuchu stwarza niebezpieczeństwo przekroczenia dopuszczalnych obciążeń i grozi zniszczeniem szybowca (patrz również rozdział 2, pkt 11 i 12). Prędkością więc, która powinna w dostatecznej mierze zabezpieczać szybowiec przed przeciągnięciem bez woli pilota, a która nie powinna równocześnie stwarzać niebezpieczeństwa uszkodzenia szybowca wskutek wystąpienia podmuchu jest mniej więcej dwukrotna prędkość minimalna.

W bardzo silnie wypiętrzonych chmurach może się pojawić jeszcze innego rodzaju niebezpieczeństwo. Występujące prądy wznoszące mogą okazać się tak silne, że szybowiec zostanie uniesiony na wysokość zagrażającą pilotowi brakiem tlenu.

Wtedy na ogół piloci rozpędzają szybowiec w stromym nurkowaniu. Jeśli właśnie przy takiej ucieczce przed wysokością wystąpi dostatecznie silny podmuch, to szybowiec może go nie wytrzymać. Dlatego też z decyzją o przerwaniu dalszego wznoszenia nie należy czekać zbyt długo. Również nie należy zwlekać z użyciem hamulców aerodynamicznych. Otwarcie ich bowiem ogranicza prędkość szybowca i znacznie powiększa opadanie. Hamulców aerodynamicznych należy również używać zawsze, gdy grozi utrata panowania nad szybowcem, np. wskutek silnej turbulencji.

Trzeba jednak pamiętać o tym, że otwieranie hamulców przy zbyt dużej prędkości jest gwałtowne i może uszkodzić ich konstrukcję, a nawet konstrukcję skrzydła. Nie dotyczy to jedynie szybowców klasy „standard", na których wolno otwierać hamulce aerodynamiczne w całym zakresie dopuszczalnych prędkości lotu. Mimo to dobrze jest zapamiętać sobie zasadę, że hamulce aerodynamiczne należy otwierać nie później niż przy osiągnięciu 0,8 V_{max} danego szybowca.

Skoro już zatrzymaliśmy się przy zagadnieniu wychodzenia z chmury, poświęćmy mu chwilę uwagi. Chmurę należy opuszczać z zamierzonym z góry kursem. Najłatwiej to zrobić — stopniowo zmniejszając przechylenie, a więc i prędkość kątową krążenia. Warto przy tym zapamiętać, że skoro podjęliśmy decyzję opuszczenia chmury, należy tę decyzję szybko realizować. Jakiekolwiek zwlekanie jest jak najbardziej niewskazane. Jeżeli zdecydowaliśmy się wyprowadzić szybowiec z chmury ze względów taktycznych, to zwlekanie spowoduje niepotrzebną stratę czasu a częstokroć i wysokości, jeśli natomiast opuszczamy chmurę z powodu nadmiernego wznoszenia, turbulencji, oblodzenia lub trudności w pilotażu szybowca, to pośpiech podyktowany jest względami bezpieczeństwa.

Bardzo ważną sprawą jest nie tylko to jak wychodzimy z chmury, ale także którędy wychodzimy. Powinno się przyjąć zasadę, że chmurę opuszcza się wychodząc jej bokiem. Jest to najrozsądniejszy sposób nie tylko z punktu widzenia taktyki lotu chmurowego, ale i z punktu widzenia bezpieczeństwa. To jeszcze jednak nie wszystko. Jeśli chmura przechodzi w stadium burzy lub gdy przypuszczamy, że może to nastąpić w czasie, gdy znajdujemy się w jej wnętrzu, powinniśmy przed rozpoczęciem lotu bez widoczności zorientować się, z której strony chmury znajduje się strefa silnych zawirowań i opuszczać chmurę w kierunku przeciwnym.

O ile wyjście z chmury przez jej podstawę nie jest na ogół niebezpieczne nad terenem płaskim oraz gdy chmura nie daje silnego opadu, o tyle w górach lub w przypadku silnego deszczu lub gradu w żadnym razie nie należy się decydować na ten sposób przejścia do lotu z widocznością. W terenie górskim może bowiem się zdarzyć, że podstawa chmury znajduje się poniżej szczytów gór, a wtedy istnieje ogromne niebezpieczeństwo katastrofy. W przypadku silnego opadu z chmury, wskutek bardzo znacznego pogorszenia się widzialności w opadzie i znacznego zwykle obniżenia podstawy chmury, istnieje również niebezpieczeństwo rozbicia się, gdy pilot zbyt późno zobaczy ziemię lub — co gorsze — gdy jej nie zobaczy.

Z przyczyn opisanych wyżej nie wchodzi w rachubę opuszczanie chmury przez wykonanie korkociągu. Jest to rozpaczliwy sposób ratowania się, gdy pilot całkowicie stracił panowanie nad szybowcem. Raczej nie należy decydować się na wchodzenie w chmurę, niż ryzykować ten sposób wychodzenia z niej. Skoro już mowa o korkociągu, trzeba sobie zdać sprawę z tego, że może on być pomocny w opanowaniu szybowca po utracie panowania nad nim. Utrata bowiem panowania nad szybowcem może się zdarzyć nawet dobremu pilotowi. Można wtedy wprowadzić szybowiec w korkociąg, ale tylko w tym celu, aby po stwierdzeniu korkociągu — nie mając wątpliwości co do stanu lotu — wyprowadzić z niego szybowiec według poznanych wyżej zasad.

To co wyżej napisane zostało o lotach szybowcowych bez widoczności w chmurach nie powinno odstraszać miłośników szybownictwa od ich wykonywania. Niemniej jednak przed wejściem w chmurę należy się poważnie zastanowić czy posiadane umiejętności pilotażowe pozwolą na wykonanie zadania, przypomnieć sobie tok postępowania w przypadku zaistnienia niekorzystnych okoliczności lotu, a przede wszystkim posiadać świadomość podejmowanej decyzji. Tylko wtedy lot w chmurze da pilotowi pełną satysfakcję z wykonania zadania i nie będzie niepotrzebnym igraniem z niebezpieczeństwem.

Inż. *Andrzej Abłamowicz*

Rozdział dziewiąty

Akrobacja szybowcowa

Chcąc stać się pełnowartościowym pilotem wyczynowym, trzeba mieć opanowaną technikę pilotażu w jak najwyższym stopniu. Jednym z elementów tej techniki, a przy tym najlepszą szkołą pilotażu jest akrobacja. Tak pilotażu, jak i akrobacji lotniczej nie można się jednak nauczyć nawet z najbardziej szczegółowego podręcznika, można je opanować jedynie w powietrzu siedząc za sterami samolotu lub szybowca. Pomimo to przed przystąpieniem do praktycznej nauki trzeba gruntownie poznać całą teorię związaną z tematem.

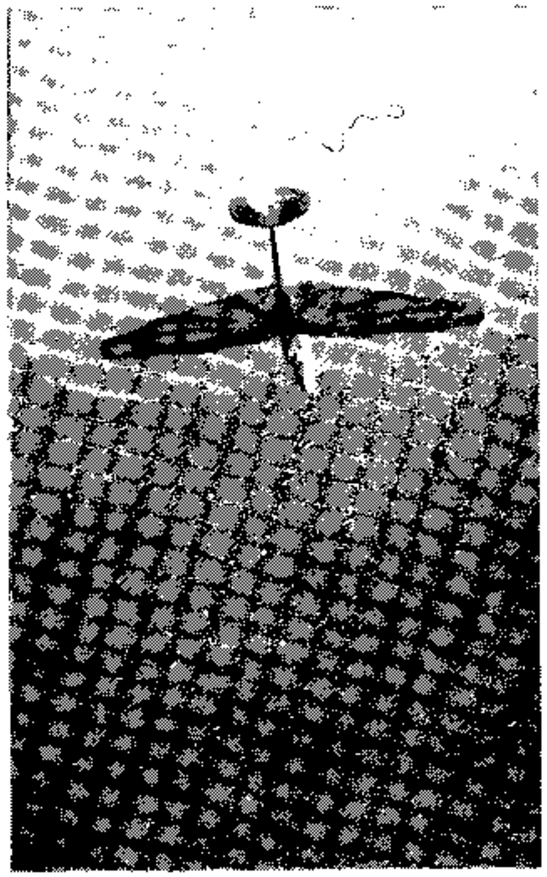
Opanowywanie przez pilota sztuki wykonywania akrobacji lotniczej zależy w bardzo znacznej mierze od sposobu nauki. Szkolenie bowiem w akrobacji to nie tylko kontrola i kierowanie właściwą kolejnością oraz tempem przyswajania przez pilota umiejętności wykonywania poszczególnych jej figur czy też wiązanek. Dobre szkolenie to również ułatwienie pilotowi przezwyciężenia samego siebie i przełamania nieraz dużych oporów psychicznych związanych z anormalnymi położeniami szybowca, np. z położeniem odwróconym, ze stromą pozycją w korkociągu lub z ujemnym przeciążeniem.

Wskutek wrodzonego lub nabytego lęku niektórzy piloci mają często pewne urazy i w związku z tym nie chcą wykonywać niektórych figur akrobacji. Stopniowe jednak oswajanie szkolącego się pilota z anormalnymi położeniami szybowca pozwoli na nabranie przez niego pewności, że akrobacja nie jest niczym groźnym i strasznym, oraz że np. położenie odwrócone szybowca jest również „normalne", jeżeli tylko wie jak się podczas niego zachować i umie w pełni panować nad sytuacją.

W związku z tym przed rozpoczęciem szkolenia instruktor powinien bezwarunkowo wykonać z pilotem lot na dwusterze, aby zapoznać go z wrażeniami, jakich doznaje człowiek w czasie wykonywania akrobacji. Najlepiej, aby lot taki odbył się na dwumiejscowym szybowcu. W braku takiego można również wykonać lot na samolocie. Myliłby się jednak ten, kto mógłby pomyśleć, że takie zapoznanie ma

polegać na popisywaniu się instruktora przed pilotem. Takie podejście świadczyłoby jedynie o niskim poziomie pedagogicznym instruktora. Właśnie w pierwszych lotach może się on łatwo przekonać, czy pilot szybko opanuje sztukę akrobacji i czy będzie ją chętnie wykonywał. Jeżeli w tym okresie zrazi się on do akrobacji, to bardzo trudno go później przekonać do niej.

Pierwszymi lotami należy tak pokierować, aby wykonywanie akrobacji wydawało się pilotowi przede wszystkim przyjemne i nie trudne. Zwłaszcza z mocniejszymi wrażeniami trzeba pilota zapoznawać stopniowo — np. nigdy nie zaczyna się w lotach odwróconych od wykonania długiego pokazowego lotu odwróconego i to w dodatku z licznymi zakrętami. Dobrze jest również przed przystąpieniem do praktycznego szkolenia w akrobacji zalecić pilotom wykonywanie lotów „zmijką" lub też poziomych ósemek. Te ewolucje bowiem wyrabiają w znacznym stopniu koordynację w poprawnym posługiwaniu się sterami i stanowią bardzo dobry trening nawet dla zaawansowanych pilotów.



Rys. 9—1. Akrobacji szybowcowej nie można się nauczyć nawet z najbardziej szczegółowego podręcznika — trzeba ją opanować siedząc za sterami szybowca w powietrzu

Praktyczne szkolenie rozpoczyna się z reguły od nauki korkociągu, który znany jest już pilotom z podstawowego szkolenia. Nigdy nie zaszkodzi przerobienie go jeszcze na kursie akrobacji, tym bardziej że wówczas chodziło tylko o rozpoznanie figury oraz bezpieczne wyprowadzenie szybowca do lotu prostego. Z kolei powinien pilot opanowywać pojedyncze figury, przy czym na pierwszy ogień muszą pójść pętla i beczka sterowana, ponieważ z ich elementów składają się inne figury akrobacji. Dobre opanowanie tych dwóch figur jest gwarancją szybkiej i gruntownej nauki takich figur jak wywrot, zawrót i przewrót.

Dalszym etapem szkolenia jest nauka ślizgów na ogon, korkociągu przekładanego i lotów odwróconych. Jeżeli pilot umie już je wyko-

nywać, powinien przejść do nauki pętli odwróconej i korkociągu odwróconego. Na tym etapie nauki akrobacji pilot musi przyzwyczajać się również do tego, że zawsze nadmiar prędkości po wykonaniu figury należy zamienić na wysokość przez lot wznoszący po prostej lub też przez wykonanie zwrotu bojowego. Takie „oszczędzanie" nadmiaru prędkości i wysokości lotu jest bardzo istotne w akrobacji szybowcowej.

Bardzo ważną sprawą jest również to, aby pilot jednakowo dobrze wykonywał figury w lewo i w prawo. Jeżeli wykonanie jakiejkolwiek figury w jedną stronę idzie mu trudniej, powinien tak pokierować dalszym swoim treningiem, aby różnice te wyrównać.

Instruktor może łatwo prowadzić szkolenie w akrobacji szybowcowej, jeżeli dysponuje dwusterem, natomiast samodzielna nauka akrobacji „pod nadzorem" jest znacznie trudniejsza i postępuje nieporównywalnie wolniej. W tym ostatnim przypadku właściwe stopniowanie trudności przy opanowywaniu poszczególnych figur obowiązuje w jeszcze większym stopniu. Pilot powinien oswajać się stopniowo nawet z tak podstawowymi elementami lotu jak duża prędkość (3—4-krotna prędkość przeciągnięcia) lub prędkość minimalna, przeciągnięcie statyczne oraz przeciągnięcie dynamiczne itp.

1. Korkociąg

Korkociąg jest stanem lotu, w którym szybowiec szybko opada po stromej linii spiralnej w autorotacyjnym obrocie.

Aby mogła nastąpić autorotacja (samoobrót), musi nastąpić przekroczenie krytycznego kąta natarcia, czyli tzw. przeciągnięcie szybowca. W czasie lotu na nadkrytycznych kątach natarcia dalszy ich wzrost powoduje zmniejszenie siły nośnej. W związku z tym zmniejszenie prędkości postępowej wewnętrznego skrzydła przy zakręcaniu spowoduje jego „zapadanie się" połączone z dalszym zakręcaniem szybowca. Zjawisko to przybiera na sile, a po ustaleniu się równowagi sił i momentów daje stan lotu, który jest właśnie korkociągiem.

Rozpoczęcie korkociągu może nastąpić przy rozmaitych prędkościach lotu, ale pod warunkiem, że zostanie przekroczony krytyczny kąt natarcia. Trzeba o tym zawsze pamiętać. Przeciągnięcie szybowca przez stopniowe zwiększanie kąta natarcia, któremu towarzyszy zmniejszanie prędkości lotu aż do prędkości minimalnej, nazywa się p r z e c i ą g n i ę c i e m s t a t y c z n y m, natomiast przeciągnięcie

przy prędkości większej od minimalnej — p r z e c i ą g n i ę c i e m d y n a m i c z n y m.

Zapoznajmy się teraz z opisem wykonania korkociągu. Przez powolne ściąganie drążka szybowiec przechodzi na coraz większe kąty natarcia. Ściąganie to (wychylenie steru wysokości) powinno być tak powolne, aby nie wywoływało widocznej zmiany toru lotu. W miarę zwiększania kątów natarcia, któremu towarzyszy zmniejszanie prędkości, szybowiec coraz powolniej reaguje na wychylenie sterów. Tuż przed osiągnięciem prędkości przeciągnięcia pilot ściąga drążek do „oporu" i równocześnie daje pełne wychylenie steru kierunku w stronę zamierzonego korkociągu. Szybowiec przechylając się na skrzydło wyraźnie opuszcza przód i rozpoczyna a u t o r o t a c y j n y o b r ó t.

Rys. 9—2. Schemat wykonania korkociągu

Może się jednak zdarzyć, że szybowiec mimo takiego wprowadzenia nie zechce wykonać korkociągu. Można wtedy spróbować wychylić lotki. Na ogół wychylenie lotek w stronę korkociągu (korkociąg w lewo — drążek sterowy wychylony w lewo) ułatwia wykonanie korkociągu przez szybowiec, choć nie jest to regułą i może się również zdarzyć, że właśnie przeciwne wychylenie lotek ułatwi wykonanie korkociągu.

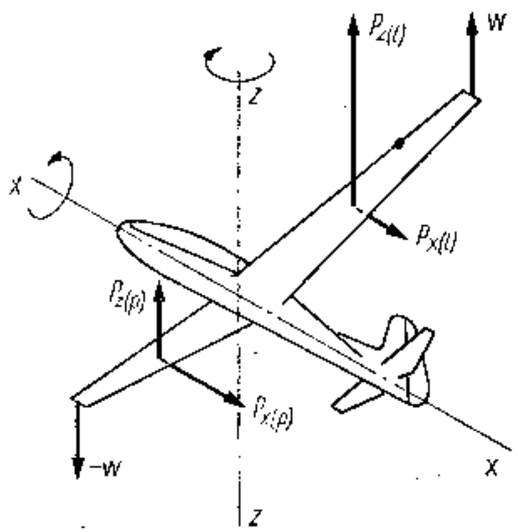
Aby przerwać autorotacyjny obrót szybowca, należy przeciwdziałać momentowi obrotowemu przez wychylenie steru kierunku, a przez oddanie drążka sterowego od siebie spowodować przejście szybowca na kąty natarcia mniejsze od krytycznego. Wychylenie steru kierunku powinno nastąpić przed użyciem steru wysokości, ponieważ skuteczność jego jest wtedy większa. Ma to swoje uzasadnienie w charakterze opływu sterów przez powietrze. W czasie wyprowadzania szybowca z korkociągu lotki powinny znajdować się w położeniu neutralnym.

Różne typy szybowców w rozmaity sposób reagują na wychylenie sterów przy wyprowadzaniu z korkociągu. Niektóre przerywają korkociąg już przy sterze kierunku wyrównanym do położenia neutralnego, nawet pomimo ściągniętego do siebie drążka sterowego, inne wymagają również wycofania steru wysokości do położenia neutralnego (oddanie drążka do neutrum).

Najczęściej stosowanym sposobem wyprowadzania z korkociągu jest pełne wychylenie steru kierunku w stronę przeciwną obrotowi oraz oddanie drążka sterowego nieco poza położenie neutralne.

W szybowcach, które bardzo trudno wychodzą z korkociągu, bywa nieraz konieczne całkowite oddanie drążka sterowego. Po uruchomieniu sterów szybowiec nie od razu zaprzestaje korkociągu. Wirowanie zwalnia się stopniowo i jest połączone z coraz to bardziej stromym położeniem szybowca, aż wreszcie ustaje zupełnie i szybowiec przechodzi w lot nurkowy.

Wielkość kąta zawartego pomiędzy kierunkiem wyznaczonym przez oś podłużną szybowca, w chwili gdy pilot rozpoczął wyprowadzanie, a kierunkiem w chwili zaprzestania obrotu nazywa się opóźnieniem wyprowadzenia z korkociągu. Opóźnienie to zależy od takich czynników jak: liczba wykonanych zwitek, sposób ustawienia sterów w korkociągu, położenie środka ciężkości szybowca, sposób wyprowadzenia i wiele innych. Na ogół opóźnienie wyprowadzenia po wykonaniu około czterech zwitek korkociągu jest dla różnych typów szybowców nie większe niż 1/4 do 3/4 zwitki.



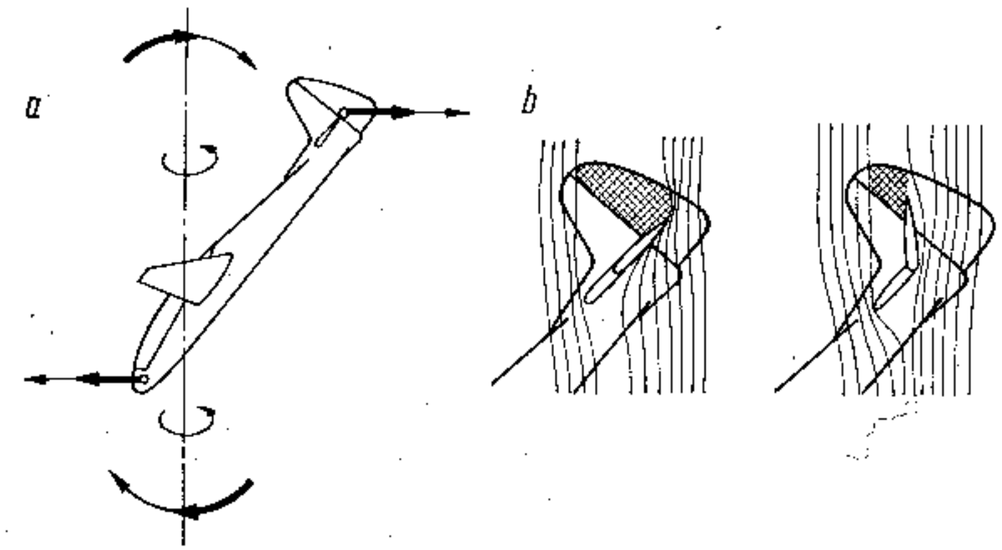
Rys. 9—3. W chwili rozpoczęcia korkociągu maleje siła nośna skrzydła wewnętrznego $P_{z(p)}$, a jego opór $P_{x(p)}$ wzrasta; równocześnie na skrzydle zewnętrznym siła nośna $P_{z(l)}$ jest większa, a opór $P_{x(l)}$ mniejszy — w związku z tym skrzydło wewnętrzne „zapada się" (patrz również rys. 1—49)

Błędy przy wykonywaniu korkociągu mogą dotyczyć zarówno wprowadzania, samego korkociągu, jak i wyprowadzania.

Błędy popełnione przy wprowadzaniu polegają na ogół na niewłaściwej koordynacji ruchów sterami lub na niewłaściwej prędkości wprowadzenia. Skutkami tych błędów mogą być niewprowadzenie szybowca w korkociąg lub zbyt gwałtowne wprowadzenie, co odbija się ujemnie na jakości wykonywanej ewolucji.

Błędy możliwe do pełnienia po wprowadzeniu szybowca w korkociąg to niewłaściwe wychylenie sterów. Zbyt małe wychylenie sterów powoduje najczęściej przejście szybowca w spiralę, co rozpoznajemy po wzroście prędkości. Należy wtedy szybowiec wyprowadzić, a w żadnym przypadku nie starać się zmuszać go do korkociągu przez zwiększenie wychyleń sterów. Takie postępowanie mogłoby doprowadzić do nieprzyjemnego dla pilota i niebezpiecznego dla konstrukcji wzrostu obciążeń.

Przy wyprowadzaniu z korkociągu można popełnić następujące błędy: wyprowadzić w kierunku innym od zamierzonego,



Rys. 9—4. Wyprowadzanie z korkociągu

a — wychylenie steru kierunku powoduje zmniejszenie sił masowych wynikających z ruchu obrotowego szybowca, tym samym zostaje ułatwione pochylenie szybowca w wyniku ruchu sterem wysokości, b — oba rysunki wyjaśniają zasadę — dlaczego przy wyprowadzaniu z korkociągu lepiej najpierw wychylić ster kierunku

wyprowadzić zbyt energicznie — wskutek czego szybowiec przejdzie w strome nurkowanie, co z kolei spowoduje znaczną utratę wysokości i rozpędzenie się szybowca. Można również wyprowadzić z nurkowania zbyt szybko i przez ściągnięcie drążka sterowego na zbyt małej prędkości wprowadzić szybowiec ponownie w niezamierzony korkociąg.

Na szybowcach, na których przewidziano wykonywanie lotów odwróconych, można wykonywać także korkociąg odwrócony. Przebiega on analogicznie do normalnego korkociągu, z tym że szybowiec leci na ujemnych kątach natarcia — w pozycji odwróconej.

Najłatwiej wprowadzić szybowiec w korkociąg odwrócony wykonując półpętlę w górę i powodując przeciągnięcie szybowca w locie odwróconym — oczywiście wychylając ster kierunku w stronę zamierzonego obrotu i drążek sterowy od siebie. Wyprowadzenie natomiast następuje poprzez ściągnięcie drążka sterowego do siebie, oczywiście po uprzednim wychyleniu steru kierunku przeciw wykonywanemu obrotowi. Po zaprzestaniu obrotu szybowiec przechodzi do normalnego lotu nurkowego, z którego wyprowadza się go do położenia normalnego zwykle przez ściągnięcie drążka sterowego do siebie. Nie jest to jednak regułą, można bowiem również poprzez oddanie drążka sterowego przejść do położenia odwróconego.

Korkociąg odwrócony jest figurą trudną, a jego poprawne wyko-

nanie świadczy o dobrym poziomie pilotażu (przede wszystkim o bardzo dobrej orientacji przestrzennej), zwłaszcza gdy pilot umie wyprowadzić szybowiec na zamierzony kierunek lotu. Nie wszyscy jednak piloci lubią wykonywać ten rodzaj korkociągu. Powodem tego jest chyba ujemne przyspieszenie, a więc silne zwisanie pilota na pasach w ciągu całej figury.

Rys. 9—5. Schemat wykonania korkociągu odwróconego

Warto jeszcze dodać, że wyprowadzenie z korkociągu odwróconego jest chyba łatwiejsze niż z korkociągu normalnego (szybowce niechętnie na ogół pozostają w odwróconym korkociągu), opływ usterzenia kierunku jest korzystniejszy i nie występuje „zacienienie" steru, a i ruch drążkiem sterowym do siebie — celem wyprowadzenia — wykonuje się zwykle chętniej i energiczniej niż ruch drążkiem sterowym od siebie przy wyprowadzaniu z normalnego korkociągu.

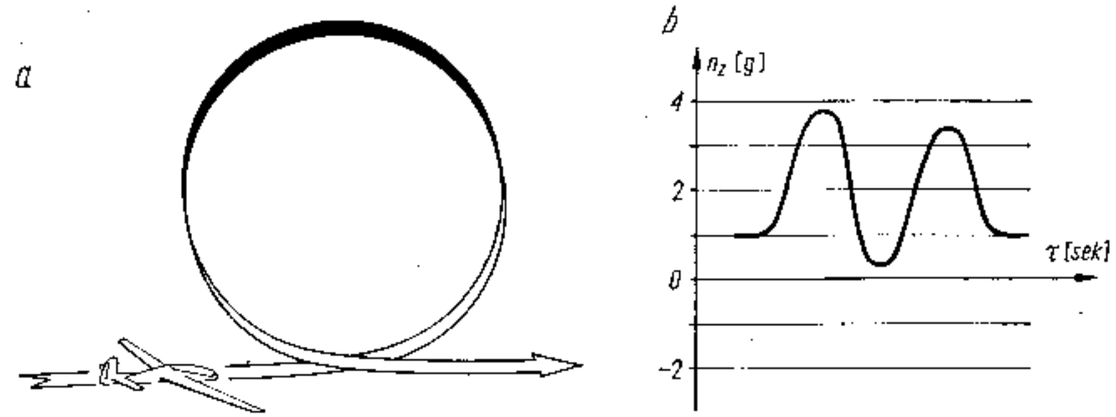
Bardzo efektowną, ale trudną figurą akrobacji jest korkociąg przekładany. Polega on na wprowadzaniu szybowca w kolejne zwitki korkociągu, przy czym każda z nich ma inny kierunek obrotu niż zwitka poprzednia. Bezpośrednio po wyprowadzeniu z jednej zwitki następuje dynamiczne przeciągnięcie i wprowadzenie ze stromej pozycji w zwitkę o przeciwnym kierunku obrotu.

2. Pętla

Pętla jest figurą akrobacji, w której szybowiec porusza się w płaszczyźnie pionowej po torze zbliżonym do koła. Jest ona najstarszą z figur akrobacji lotniczej.

Ażeby szybowiec mógł poruszać się po torze krzywym, musi istnieć siła dośrodkowa. Tą siłą dośrodkową wywołującą dodatnie przyspieszenie jest siła nośna wytworzona przez skrzydła szybowca. Aby przy tym możliwe było uzyskanie dodatniego przyspieszenia powodującego zakrzywianie toru lotu, siła nośna musi być większa od ciężaru szybowca.

Ze względu na tor lotu szybowca zbliżony do kolistego, a więc na rozmaite położenia szybowca w stosunku do ziemi w miarę wykonywania pętli oraz ze względu na zmienną prędkość szybowca po torze, przyspieszenia w pętli również są zmienne. W dobrze wykonanej pętli maksymalne przyspieszenia nie powinny na ogół przekraczać



Rys. 9—6. Schemat wykonania oraz rozkład przyspieszeń w pętli

wartości 3,5 *g*, u szczytu zaś pętli powinny osiągać wartość około 1,0 *g* lub nieco mniejszą, jednak w żadnym razie nie wartość ujemną.

Przejdźmy teraz do opisu sposobu wykonania pętli na szybowcu. Aby otrzymać zwiększoną prędkość potrzebną do wykonania figury, należy rozpędzić szybowiec przez oddanie drążka sterowego. Dla szybowców akrobacyjnych lub wyczynowych na ogół wystarcza rozpędzenie do około dwukrotnej prędkości optymalnej lub nieznacznie większej. Szybowiec powinien być rozpędzany po niezbyt stromym torze, bez zwisów i w ustalonym kierunku. Najlepszym wskaźnikiem tempa rozpędzania się szybowca są wskazania prędkościomierza — wskazówka przyrządu powinna niezbyt szybkim, ale zdecydowanym ruchem przesuwać się w kierunku większych prędkości.

Tuż przed uzyskaniem zamierzonej prędkości należy łagodnym, ale zdecydowanym ruchem drążka sterowego do siebie wprowadzić szybowiec do pętli. W miarę ściągania drążka pilot odczuwa wzrastające przyspieszenie, które „wtłacza" go w fotel szybowca. Tempo ściągania drążka sterowego w tym czasie powinno być tak dobrane, aby największe przyspieszenie przypadło na pierwszą ćwiartkę pętli. W położeniu szczytowym pilot nie powinien odczuwać wciskania w siodełko szybowca, lecz raczej nawet nieznaczny „ubytek na ciężarze", co będzie dowodziło, że szybowiec znajduje się pod wpływem przyspieszenia w zakresie 0—1,0 *g*. W żadnym razie pilot nie powinien dopuścić do „zawisania na pasach", tj. do ujemnych przyspieszeń.

W trzeciej ćwiartce pętli, tj. po przejściu położenia szczytowego a przed położeniem pionowym, pilot zachowuje wychylenie steru wysokości takie jak w drugiej ćwiartce pętli. Wreszcie czwarta ćwiartka jest niczym innym jak tylko wyprowadzeniem szybowca z lotu nurkowego. W tej fazie pętli nie należy dopuszczać do przyspieszeń większych niż przy wprowadzaniu do figury oraz do większej prędkości niż prędkość rozpoczęcia.

Takie wykonanie pętli zapewni jej kształt najbardziej zbliżony do koła. Zbyt silne ściąganie drążka w drugiej i trzeciej ćwiartce prowadzi do owalizacji pętli lub przeciągnięcia szybowca, o czym będzie mowa dalej. Jeżeli pętla była wykonywana jako oddzielna i pojedyncza figura, należy po jej ukończeniu przejść do lekko wznoszącego lotu, aby nadmiar prędkości po wykonaniu zamienić na cenne metry wysokości. Pętla jest jedną z najłatwiejszych figur akrobacji szybowcowej i najczęściej pierwszą figurą, którą początkujący akrobata wykonuje.

Mimo że całą figurę wykonuje się za pomocą jednego tylko steru (ster wysokości), możliwa jest dość znaczna ilość pomyłek, z którymi zetknie się z pewnością każdy początkujący pilot. Pierwsza grupa błędów powstaje wskutek niewłaściwej prędkości rozpoczęcia figury. Zbyt duża prędkość szybowca daje tor lotu odbiegający znacznie od kolistego. Jeszcze gorzej przedstawia się sytuacja przy zbyt małej prędkości wprowadzenia. Taki błąd „mści się" albo przeciągnięciem szybowca w drugiej ćwiartce pętli, co prowadzi do wykonania „czegoś" w rodzaju zawrotu a dalej korkociągu, albo „zawiśnięciem" szybowca w pozycji odwróconej, co z kolei dla niedoświadczonego pilota jest bardzo nieprzyjemne i kończy się załamaniem toru lotu u szczytu figury.

Druga grupa błędów spowodowana jest niewłaściwym tempem wychylania steru wysokości. — Zbyt szybkie tempo ściągania drążka sterowego w pierwszej fazie pętli prowadzi albo do autorotacyjnego obrotu szybowca (przeciągnięcia dynamicznego), a w dalszym ciągu do chwilowej utraty sterowności, albo do zbyt szybkiego wyhamowania prędkości, co z kolei daje małą prędkość u szczytu figury i kończy się następstwami opisanymi powyżej. Nieodpowiednie tempo wychylania steru wysokości po przejściu szczytowego położenia prowadzi albo do znacznego rozpędzenia się szybowca i dużej utraty wysokości, gdy ściąganie drążka jest zbyt powolne i małe, albo do dużych przyspieszeń lub nawet przeciągnięcia dynamicznego — gdy ściągnięcie drążka jest zbyt duże i szybkie.

Trzecia grupa błędów to niewłaściwe sterowanie szybowcem za pomocą lotek i steru kierunku. Błędy te są powodem wszelkiego rodzaju „skrzywienia pętli". Aby tego uniknąć, należy przede wszystkim wystrzegać się jakichkolwiek zmian kierunku i zwisów podczas rozpędzania szybowca przed wykonaniem pętli.

Po dokładnym opanowaniu techniki wykonywania normalnej pętli warto spróbować tak zwanej p ę t l i s k o ś n e j. Figura ta jest niczym innym jak normalną pętlą wykonaną nie w płaszczyźnie pionowej, lecz w skośnej. W związku z tym technika wykonania jej jest nieco inna. Pętlę taką należy wykonywać z nieco większej prędkości niż pętlę normalną, w szczytowym zaś położeniu przyspieszenie nie powinno być mniejsze niż 1,0 *g* (pilot cały czas „wciskany" w siodełko).

Po rozpędzeniu szybowca do żądanej prędkości pilot przechyla go lotką, a po uzyskaniu zamierzonego przechylenia i wycofaniu lotek do neutrum rozpoczyna figurę przez ściąganie drążka do siebie. W dalszym ciągu wykonania pętla skośna niczym nie różni się od normalnej, a dopiero przy wyprowadzeniu do lotu poziomego pilot za pomocą lotek wyrównuje przechylenie lub (najczęściej) przechyla szybowiec w drugą stronę i bezpośrednio wykonuje drugą pętlę z przeciwnym przechyleniem. Obserwacja ziemi przy wykonywaniu skośnych pętli doskonale wyrabia przestrzenną orientację pilota w rozmaitych położeniach szybowca i właśnie dlatego figurę tę warto wykonywać.

Podczas nauki wykonywania pętli pilot najczęściej po raz pierwszy w życiu spotyka się z większymi (wyraźnie wyczuwalnymi) przyspieszeniami. Z tego też powodu należy przedtem zapoznać go z przyspieszeniami albo na dwusterze (nawet w samolocie), albo przez nakazanie mu wykonania kilku rozpędzeń szybowca połączonych z nieco energiczniejszym wyprowadzeniem — jakby imitacją początkowej fazy pętli.

3. Beczka

Figurą, która daje wyraz opanowania przez pilota szybowca w każdym położeniu względem ziemi, jest b e c z k a s t e r o w a n a. Jest to wolny, sterowany (gdyż biorą w nim udział wszystkie stery) obrót szybowca dokoła osi podłużnej.

Figura ta najzupełniej niesłusznie miała — zwłaszcza dawniej — opinię trudnej, a ci którzy jej taką opinię urabiali, podawali jako argument, że w ciągu jednej tylko beczki czterokrotnie następuje tzw. zamiana sterów. Ma to rzekomo miejsce w pierwszej połowie beczki, gdy w położeniu „nożowym" ster wysokości działa jak ster kierunku i odwrotnie, dalej w położeniu odwróconym, gdy stery wysokości i kierunku działają podobno też przeciwnie. Potem zamiana sterów występuje znowu w czasie przejścia do położenia „nożowego" z lotu odwróconego i wreszcie po raz czwarty przy powrocie do normalnego położenia.

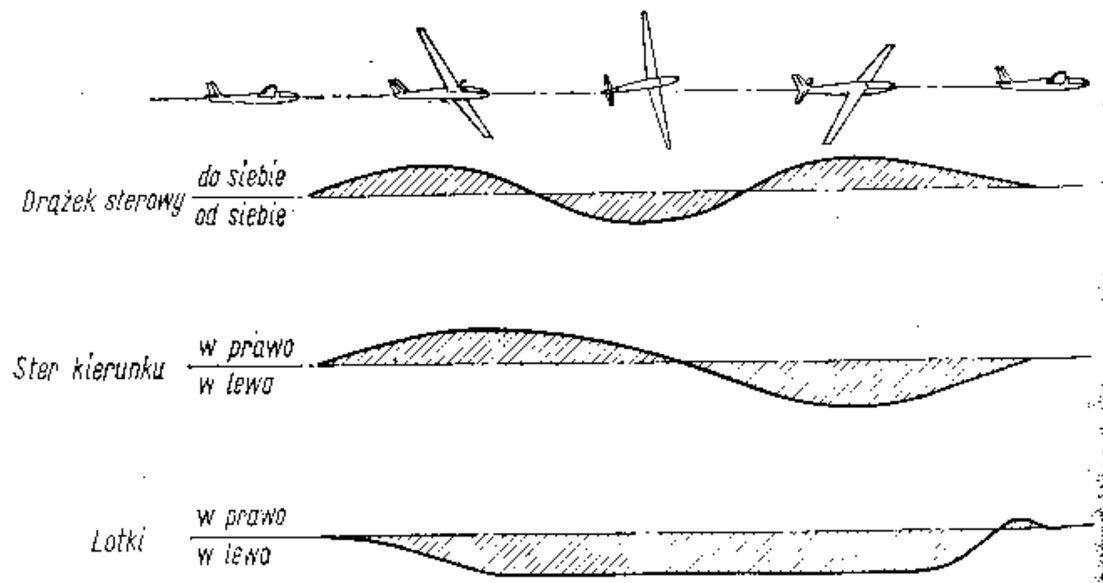
Podany sposób rozumowania komplikuje bardzo — a zupełnie nie-

Rys. 9—7. Schemat wykonania beczki sterowanej

potrzebnie — przygotowanie się do wykonania sterowanej beczki i przedstawia tę figurę początkującemu pilotowi jako niezwykle trudną. Rozumowanie to można by uznać za słuszne jedynie wtedy, gdybyśmy przy omawianiu działania sterów przyjęli ziemię za układ odniesienia. Założenia takiego jednak nie możemy zrobić, byłoby ono bowiem najzupełniej niecelowe. Jedynym układem odniesienia, który można przyjąć przy omawianiu działania sterów, jest szybowiec. Jeśli więc w związku z tym zdamy sobie jasno sprawę, że stery zachowują swoje działanie bez względu na położenie szybowca w stosunku do ziemi, to zagadnienie prowadzenia szybowca w powolnej beczce okaże się zupełnie łatwe i proste.

W myśl teorii o tzw. zamianie sterów występują tu dwie zasadnicze trudności: utrzymanie wysokości w położeniu „nożowym" za pomocą steru kierunku i „odwrotne" działanie steru wysokości w położeniu odwróconym. Że nie jest to takie trudne, łatwo możemy się przekonać przenosząc się na chwilę do kabiny szybowca.

W celu wykonania beczki sterowanej rozpędzamy szybowiec do prędkości nieco mniejszej niż dwukrotna prędkość optymalna, a następnie przechodzimy do lekko wznoszącego lotu i rozpoczynamy obrót szybowca dookoła osi podłużnej przez wychylenie lotek. Przód szybowca ciągle „celuje" w z góry obrany punkt nad horyzontem, przy czym musimy pamiętać tylko o jednym: ster wysokości i ster kierunku służą nam jedynie do utrzymania przodu szybowca w kierunku obranego punktu. Jeśli więc maska szybowca „wychodzi nad punkt" — oddajemy nieco drążek, jeśli maska „ucieka pod punkt" — ściągamy. Podobnie sterem kierunku „naprowadzamy" maskę na obrany kierunek: jeśli więc maska jest w lewo od punktu — wychylamy ster prawą nogą i odwrotnie — jeśli sytuacja jest przeciwna. Najważniejszą przy tym zasadą jest: nie sugerować się położeniem szybowca względem ziemi.



Rys. 9—8. Wykres przedstawiający ruchy sterami przy wykonywaniu beczki sterowan

Gdyby opisać ruchy sterami w powolnej beczce, to byłyby one następujące. Lekkie ściągnięcie drążka sterowego spowoduje przejście szybowca do lotu wznoszącego. Wychylenie lotek, stałe w czasie wykonywania całej beczki, powoduje obrót dookoła osi podłużnej. W miarę przechylania szybowiec będzie starał się „uciekać" pod obrany punkt. Musimy więc przeciwdziałać temu wychyleniem steru kierunku w stronę przeciwną odchyleniu i wycofaniem ściągnięcia drążka sterowego, tak aby w położeniu „nożowym" znajdował się on w neutrum. Po przejściu położenia „nożowego" drążek sterowy stopniowo „oddajemy", przy czym największe jego wychylenie przypada na moment, w którym szybowiec przyjął położenie odwrócone. Ponadto w miarę zbliżania się do położenia odwróconego wycofujemy również wychylenie steru kierunku.

W ten sposób wykonaliśmy już pierwszą połowę sterowanej beczki. Drugą połowę wykonujemy następnie w ten sam sposób, z tym że kierunki wykonywanych ruchów sterami są odwrotne.

Opis ruchów sterami podajemy Czytelnikowi w tym celu, aby można było zorientować się w sposobie prowadzenia szybowca w sterowanej beczce i przemyśleć jej wykonanie. Kolejności tych ruchów nie należy jednak w żadnym razie traktować jako „recepty", a potem starać się według nich wykonać beczkę. Taki system nauki nie doprowadzi do pozytywnych wyników.

Opis skomplikowanych ruchów sterami w beczce sterowanej jest najlepszym dowodem, że jedynie słuszną metodą nauczenia się tej figury jest ta, w której trzeba tylko zapamiętać, że stery zachowują swoje działanie i że należy po prostu prowadzić szybowiec „tam, dokąd chce pilot", tj. w kierunku obranego nad horyzontem punktu, mając przy tym cały czas wychylone lotki. Prędkość rozpoczęcia i zakończenia beczki sterowanej powinna być mniej więcej taka sama.

Omówimy teraz t y p o w e b ł ę d y związane z wykonywaniem beczki sterowanej.

Pierwszy błąd to „uciekanie" szybowca pod horyzont połączone z jego rozpędzaniem się. Trudno się temu zresztą dziwić, ponieważ w beczce pilot po raz pierwszy spotyka się z lotem odwróconym, a co za tym idzie z „zawisaniem" na pasach, co jest odczuciem nowym i jednak dość trudnym do opanowania. Błąd „uciekania" szybowca pod horyzont jest spowodowany najczęściej zbyt nisko nad horyzontem obranym punktem, w kierunku którego wykonywana jest beczka, albo zbyt małym wychyleniem steru kierunku w stronę przeciwną do przechylania się szybowca w pierwszej fazie figury. Ponadto zbyt późne wycofanie wychylenia drążka sterowego (zbyt późne oddanie od siebie) powoduje także przejście szybowca pod horyzont.

Drugim często spotykanym błędem jest mimowolne wycofywanie wychylenia lotek w miarę przechodzenia do lotu odwróconego. Pilot, który popełnił ten błąd, najczęściej szybko peszy się przedłużającym się lotem odwróconym i chcąc jak najprędzej wyjaśnić sytuację rozpoczyna wyprowadzanie półpętlą w dół. Ze względu na dużą prędkość rozpoczęcia półpętli prowadzi to albo do znacznych przyspieszeń, albo do nadmiernego rozpędzenia się szybowca i bardzo dużej utraty wysokości. Jako główną zasadę przy nauce beczki należy przyjąć, że we wszystkich wątpliwych przypadkach, gdy zależy pilotowi na jak najszybszym powrocie do normalnego położenia, należy odwracać szybowiec za pomocą pełnego wychylenia lotek.

Trzecim wreszcie — najczęściej chyba spotykanym błędem — jest utrata kierunku w czwartej ćwiartce beczki. Błąd ten spowodowany jest zwykle albo zbyt wczesnym rozpoczęciem ściągania drążka sterowego do siebie, albo za małym wychyleniem „górnej nogi" w ostatniej fazie beczki.

Doskonałym treningiem w wykonywaniu beczki sterowanej jest wykonywanie jej w ten sposób, aby zmiana kierunku obrotu szybowca następowała w położeniu odwróconym, tj. na przykład pół beczki w lewo (do położenia odwróconego), następnie pełna beczka w prawo, potem pełna beczka w lewo i powrót do lotu normalnego przez pół beczki w prawo. Bardzo cenny i efektowny trening daje również wykonywanie beczek sterowanych po obwodzie koła, np. lewe beczki w lewo aż do zamknięcia kręgu.

Innym rodzajem beczki jest tzw. b e c z k a s z y b k a. Nie jest to nic innego jak jedna zwitka korkociągu wykonanego w poziomie. Wprowadzenie do tej figury powinno odbywać się gwałtownie przez przeciągnięcie dynamiczne z prędkości nieco mniejszej niż dwukrotna prędkość przeciągnięcia.

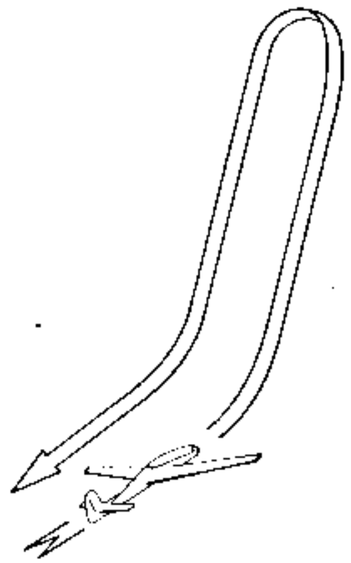
Błędy popełniane przy wykonywaniu beczki szybkiej, podobnie jak w korkociągu, polegają przede wszystkim na błędach wprowadzenia lub wyprowadzenia.

Ponieważ beczka szybka jest figurą nie mającą zastosowania w nowoczesnym lotnictwie, a do tego szybowce posiadające dużą rozpiętość i małe obciążenie powierzchni niechętnie ją wykonują, nie będziemy się nią bliżej zajmowali.

4. Przewrót

Przewrót jest figurą akrobacji pokrewną nieco pętli. Można powiedzieć, że jest to jak gdyby połączenie pierwszej i czwartej ćwiartki pętli za pomocą obrotu szybowca dokoła jego osi pionowej (patrz rys. 9—9).

Podobnie jak w pierwszej ćwiartce pętli szybowiec przechodzi w przewrocie do wznoszenia przez ściągnięcie drążka sterowego do siebie. Ściąganie to jest na ogół nieco mniej energiczne niż przy pętli. Po uzyskaniu kąta wznoszenia, które utrzymuje się zwykle w granicach 60°—90°, pilot wycofuje ściągnięcie drążka, a następnie rozpoczyna „odwracanie" szybowca (płaski obrót dookoła osi pionowej), tj. zmianę toru lotu o 180°.



Rys. 9—9. Schemat wykonania przewrotu

Cała trudność wykonania dobrego przewrotu polega na dobraniu właściwego kąta wznoszenia (najłatwiej ocenić go patrząc w bok i określając kąt między cięciwą skrzydła szybowca i horyzontem) oraz na wykonaniu obrotu po możliwie małym promieniu i po torze jak najbardziej zbliżonym do półkola. Obrotu szybowca dokonuje się przez wychylenie steru kierunku z równoczesnym podtrzymywaniem poprzez wychylenie przeciwnej lotki. Następnie po uzyskaniu zmiany toru lotu o 180° wycofuje się stery do neutrum i wyprowadza szybowiec z lotu nurkowego przez ściąganie drążka sterowego do siebie starając się równocześnie, aby ten odwrócony tor lotu był jak najbardziej zbliżony do toru lotu wznoszącego.

Przy wykonywaniu przewrotu piloci na ogół napotykają na dwie zasadnicze trudności: pierwsza — to dobranie odpowiedniego momentu, w którym należy rozpocząć zmianę kierunku toru lotu, druga natomiast — to wykonanie płaskiego obrotu szybowca dookoła osi pionowej w tej samej płaszczyźnie co tor lotu wznoszącego.

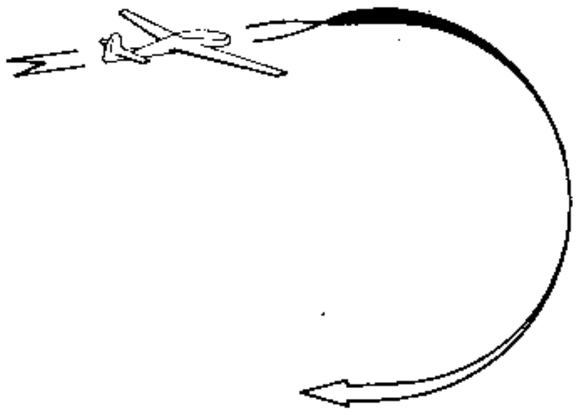
Do t y p o w y c h b ł ę d ó w, które najczęściej zdarzają się przy wykonywaniu przewrotu należą:

— zbyt mały kąt wznoszenia;
— niewłaściwa prędkość rozpoczęcia obrotu na szczycie figury;
— obrót szybowca na szczycie z przechyleniem; należy tu pamiętać, że wychylenie steru kierunku powoduje przechylanie szybowca w tę samą stronę, w związku z tym trzeba podtrzymać go wychyleniem lotek w przeciwną stronę;
— zbyt energiczne wyprowadzenie po obróceniu o 180°, lub przedwczesne albo opóźnione wycofanie steru kierunku.

Jak widać z powyższego, pilot uczący się wykonywania przewrotu napotyka liczne trudności. Jednak praca włożona w naukę sowicie się opłaca, ponieważ jest to bardzo efektowna figura, a dobre jej wykonanie świadczy o wysokim poziomie umiejętności pilota.

5. Wywrót

Figura akrobacji, którą nazywamy wywrotem, powstaje właściwie z połączenia półbeczki z półpętlą, dając w sumie zmianę kierunku o 180° z równoczesnym zniżeniem lotu. W związku z tym, że półbeczka może być szybka lub sterowana, rozróżniamy również dwa rodzaje wywrotów — szybki i sterowany.



Rys. 9—10. Schemat wykonania wywrotu

Sposób wykonywania wywrotu oraz błędy spotykane podczas jego wykonywania wynikają z opisu beczki i pętli. Należy tylko specjalną uwagę zwrócić na to, aby w chwili rozpoczynania wyprowadzania półpętlą w dół prędkość szybowca nie była zbyt duża. Jeśli taka sytuacja zaistniałaby, należy zrezygnować z wykonania wywrotu i zakończyć figurę drugą połową beczki.

Przy wykonywaniu wywrotu należy ponadto zwracać uwagę na to, aby po ukończeniu półbeczki szybowiec w położeniu odwróconym (plecowym) nie miał żadnych zwisów (przechyleń).

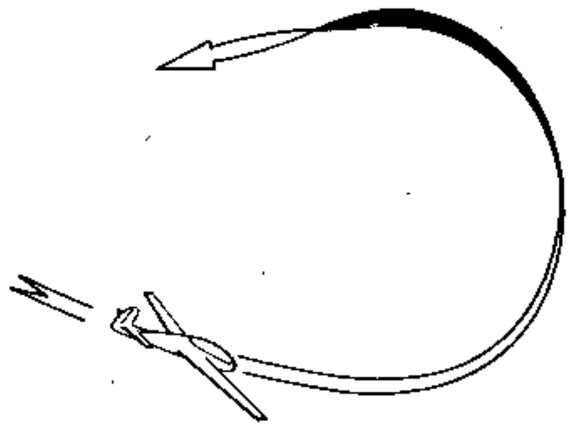
6. Zawrót

Zawrót jest figurą powstałą z połączenia półpętli i półbeczki, która daje w efekcie zmianę kierunku o 180° z równoczesnym zwiększeniem wysokości lotu.

Wprowadzenie do zawrotu odbywa się tak jak do pętli, z tym że prędkość wyjściowa jest nieco większa. Pozostałe uwagi dotyczące wykonania figury oraz najczęściej spotykanych błędów są takie jak w opisach pętli i beczki. Jedyna różnica, która tu występuje, z którą zresztą początkujący piloci prawie zawsze mają spore trudności, to dobranie odpowiedniego położenia w stosunku do horyzontu przed rozpoczęciem półbeczki.

Zbyt wczesne (za wysoko nad horyzontem) rozpoczęcie odwracania szybowca prowadzi najczęściej do utraty prędkości i zwalenia się lub wejścia w korkociąg. Błąd ten połączony ze zbyt dużym oddaniem drążka sterowego od siebie może doprowadzić nawet do korkociągu odwróconego (jeśli ster kierunku jest w tym czasie wychylony).

Zbyt „niskie" (za późno pod horyzontem) odwracanie półbeczką prowadzi do niepotrzebnego rozpędzenia się szybowca i prawie zawsze kończy się niemożnością utrzymania kierunku w zawrocie oraz utratą wysokości.



Rys. 9—11. Schemat wykonania zawrotu

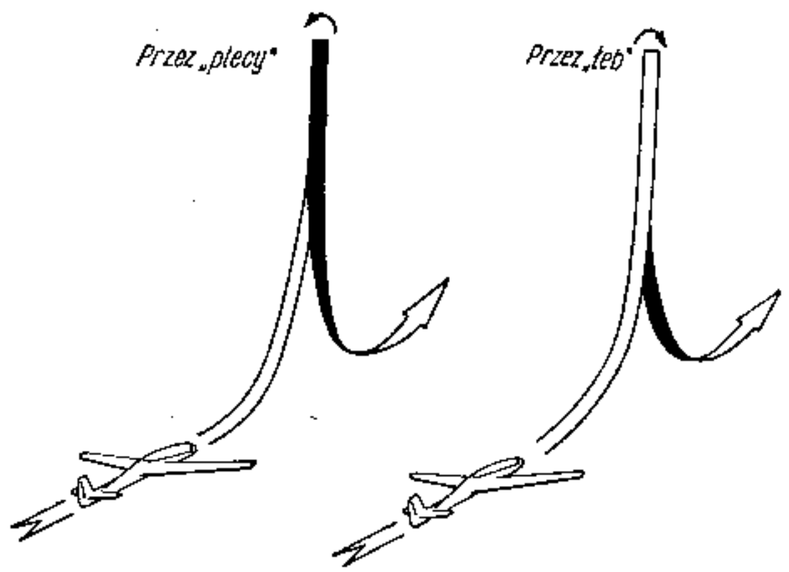
Dobrze wykonany zawrót na szybowcu jest jedną z trudniejszych figur akrobacji.

7. Ślizg na ogon

Ślizg na ogon jest to figura akrobacji, w której szybowiec (po odpowiednim rozpędzeniu) przechodzi do pionowego lotu wznoszącego, a następnie po całkowitej utracie prędkości i chwilowym ześlizgu wstecz na ogon zwala się przez „łeb" lub przez „plecy", po czym zostaje wyprowadzony z nurkowania do normalnego lotu ślizgowego (rys. 9—12).

Sposób wykonania ślizgu na ogon jest następujący. — Prędkość rozpoczęcia figury jest taka sama jak prędkość rozpoczęcia przewrotu i podobnie jak w przewrocie może być większy, jeśli wznoszenie szybowca ma być dłuższe. Kąt wznoszenia najlepiej jest ustalić patrząc w bok i porównując wzajemne położenie cięciwy skrzydła szybowca i linii horyzontu. Po całkowitej utracie prędkości szybowiec zwala się do pionowego w przybliżeniu lotu nurkowego. W tej fazie figury jest bardzo ważne, aby trzymać mocno stery, zabezpieczając się tym samym przed ich wyszarpnięciem skutkiem odwróconego opływu.

Ze względu na to, że kierunek ruchu szybowca jest w tym czasie odwrotny niż normalnie, reakcja na stery jest również odwrotna. Dlatego też ściągnięcie drążka sterowego do siebie spowoduje zwalenie się szybowca do przodu — jak mówimy „przez łeb", podczas gdy od-



Rys. 9—12. Schematy wykonania ślizgów na ogon

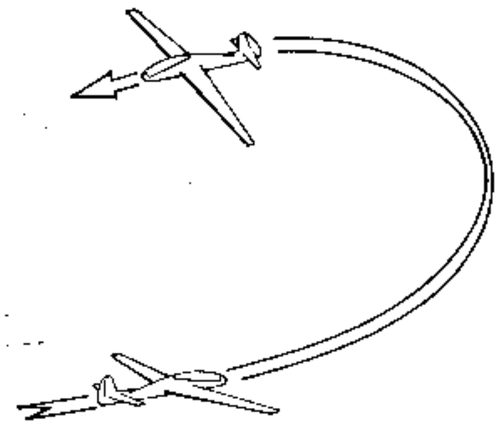
danie drążka sterowego od siebie (do przodu) zwala szybowiec do tyłu, czyli „przez plecy". Gdy tylko szybowiec zdecydowanie zwali się w żądany sposób, należy natychmiast wyrównać stery do położenia neutralnego (dotyczy to przede wszystkim steru wysokości, gdyż pozostałe powinny być w neutrum), a następnie po przejściu od stromego nurkowania rozpocząć wyprowadzanie przez ściągnięcie drążka sterowego do siebie.

Błędy możliwe do popełnienia podczas wykonywania ślizgu na ogon dotyczą przede wszystkim zbyt małej prędkości wprowadzenia, nieutrzymania kierunku i pionowego wznoszenia w pierwszej połowie figury oraz dopuszczenia do przechyleń szybowca.

8. Zwrot bojowy

Zwrot bojowy jest to zakręt o 180°, wykonany z dużym przechyleniem poprzecznym oraz połączony ze zwiększeniem wysokości lotu. W celu jego wykonania szybowiec musi dysponować znacznym nadmiarem prędkości.

Wykonanie zwrotu bojowego ma następujący przebieg. — Szybowiec rozpędza się do dwukrotnej prędkości optymalnej lub nieco większej, a następnie wprowadza tak jak do głębokiego zakrętu, z tą tylko różnicą, że ściągnięcie drążka sterowego do siebie jest większe niż w normalnym zakręcie. Wskutek tego właśnie szybowiec zyskuje wysokość. Po uzyskaniu zamierzonego kąta przechylenia należy wycofać wychylenie lotek do położenia neutralnego i jedynie ściągnięciem drążka sterowego do siebie kontynuować w dalszym ciągu wykonywanie figury. Na około 30° przed zamierzonym kierunkiem należy wychylić lotki w stronę przeciwną przechyleniu z równoczesnym zgodnym wychyleniem steru kierunku. W tym samym czasie należy również wycofać ściągnięcie drążka sterowego, tak aby po przejściu do normalnego lotu nie nastąpiło przeciągnięcie szybowca. W czasie całego zwrotu bojowego zakrętomierz nie powinien wskazywać ani wyślizgu, ani ześlizgu.



Rys. 9—13. Schemat wykonania zwrotu bojowego

Do najczęściej spotykanych błędów przy wykonywaniu zwrotu bojowego należą przede wszystkim:

— zbyt energiczne ściągnięcie drążka sterowego, które może spowodować dynamiczne przeciągnięcie szybowca (jak w szybkiej beczce);
— zbyt powolne ściąganie drążka sterowego, co zamiast zwrotu da w wyniku zakręt bez zysku wysokości lub z bardzo nieznacznym zyskiem;
— niewłaściwe przechylenie szybowca lub nieskoordynowana praca sterami, co odbija się na prawidłowości wykonywanej figury i zakończeniu zwrotu ze zbyt małą prędkością; w bardzo licznych przypadkach prowadzi to do niezamierzonego korkociągu.

Zwrot bojowy wykonywany jest przeważnie jako „łącznik" pomiędzy figurami akrobacji przy równoczesnym odzyskaniu wysokości. Dlatego też najczęściej łączy taką figurę, która kończy się dużą prędkością, z inną, która znowu wymaga małej prędkości do jej rozpoczęcia.

9. Akrobacja odwrócona

Wszystkie opisane dotychczas figury akrobacji można w zasadzie wykonać jako odwrócone („plecowe"). Wymaga to jednak doskonałego opanowania techniki pilotażu, a ponadto opis wykonywania takich figur wybiega poza ramy niniejszego opracowania stanowiąc temat dla drobiazgowych rozważań nad akrobacją. Warto pomimo to poświęcić kilka słów samemu lotowi w pozycji odwróconej (plecowej), który nie stanowi figury akrobacji, ale jest elementem wchodzącym często w skład wiązanek akrobacji.

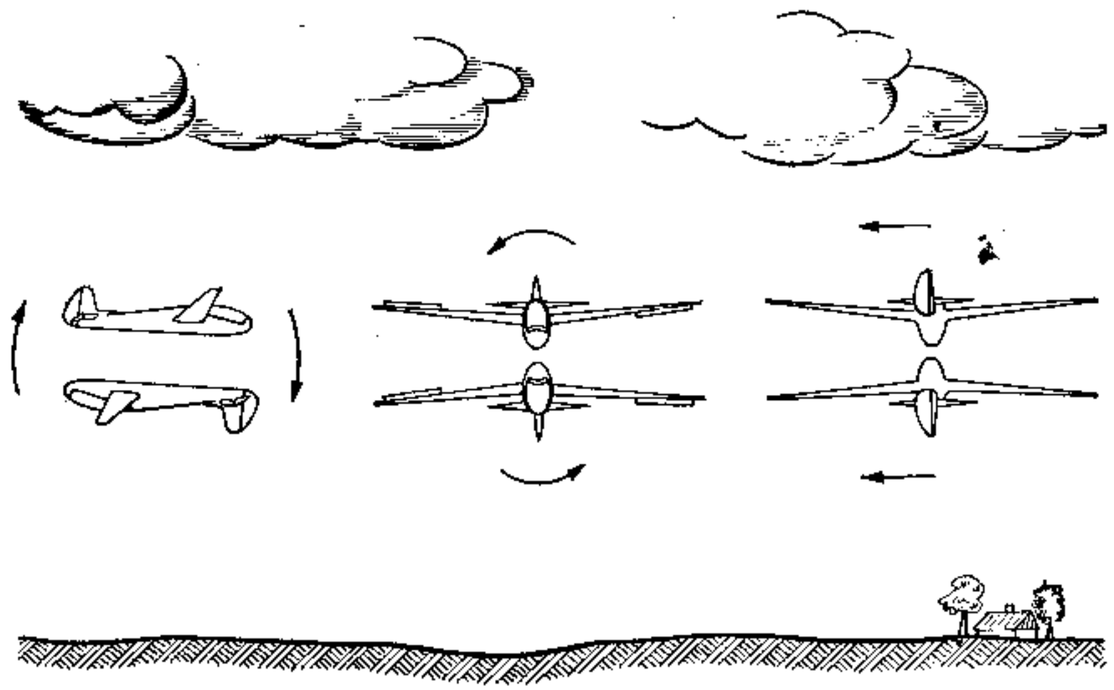
Zagadnienie lotu odwróconego należy dla łatwiejszego zrozumienia

podzielić na opis samego lotu w pozycji „plecowej" oraz na opis sposobów przejścia do lotu odwróconego i wyprowadzania z niego.

Rozpatrując więc sam lot odwrócony trzeba sobie przede wszystkim zdać jasno sprawę z tego, że własności aerodynamiczne szybowca w locie na ujemnych kątach natarcia są gorsze niż własności w locie normalnym. Ważne jest to dlatego, aby pilot pamiętał, że prędkość przeciągnięcia szybowca w locie odwróconym jest zawsze większa niż w pozycji normalnej oraz że łatwiej go również przeciągnąć. Ponadto należy także pamiętać, że wytrzymałość np. skrzydła szybowca konstrukcji drewnianej jest o połowę mniejsza na przyspieszenie ujemne niż na przyspieszenie dodatnie.

Jeśli chodzi natomiast o sterowanie szybowcem w locie odwróconym, to jest ono takie samo jak w locie normalnym. Stery zupełnie tak samo działają, powodując obroty szybowca dookoła jego osi zawsze w tę samą stronę, a różnice w skutkach wychyleń sterów są tylko pozorne i wywołane jedynie zmianą wzajemnego położenia ziemi i szybowca (patrz rys. 9—14).

Przecież odchylenie drążka sterowego „od siebie" powoduje nadal pochylenie szybowca w kierunku „od pilota", a ruch drążka „do siebie" powoduje pochylenie odwrotne, tj. „ku pilotowi". Tak więc, jeżeli w locie odwróconym chcemy spowodować wyjście przodu szybowca „nad horyzont", dokonujemy tego wychyleniem drążka sterowego od siebie. I na odwrót — aby sprowadzić przód szybowca „pod horyzont", dokonujemy tego przez ściągnięcie drążka sterowego do siebie.



Rys. 9—14. Działanie sterów w locie odwróconym („plecowym") jest oczywiście takie samo — nie należy tylko przyjmować ziemi za układ odniesienia

Identycznie wygląda sprawa z pozostałymi sterami. Ster kierunku daje w wyniku swego wychylenia zmianę kierunku w tę stronę, w którą go wychylono, a lotki — powodują obrót szybowca dookoła jego osi podłużnej w kierunku wyznaczonym przez kierunek wychylającego się drążka sterowego.

Najłatwiej opanować sterowanie szybowcem w locie odwróconym rozpoczynając od ćwiczeń polegających na utrzymaniu stałej prędkości lotu, co sprowadza się tylko do utrzymania stałego położenia maski szybowca względem horyzontu. Po opanowaniu tego trzeba oczywiście przećwiczyć lot prosty ze zmianą prędkości lotu. Da to ugruntowanie umiejętności sterowania podłużnego szybowcem w tym położeniu.

Drugim etapem nauki jest trening w sterowaniu poprzecznym szybowcem, czyli w posługiwaniu się lotkami. Podobnie jak w przypadku sterowania podłużnego, tak i w nauce sterowania poprzecznego zaczynamy od prób utrzymania lotu bez zwisów. Po opanowaniu tego zagadnienia przechodzimy z kolei do celowych przechyleń szybowca oraz ich usuwania.

Wreszcie ostatnim etapem oswajania się ze sterowaniem szybowca w locie odwróconym jest opanowanie steru kierunku. W tym przypadku postępuje się podobnie jak poprzednio, tzn. początek stanowią próby opanowania lotu prostego, a następnie celowe zmiany kierunku.

Po opanowaniu lotu odwróconego po linii prostej trzeba przejść do nauki zakrętów. Tu początkującemu pilotowi sprawi trochę kłopotu nabranie wprawy w koordynowaniu wychyleń sterów, ponieważ przeważnie „mylą się nogi". Dzieje się tak dlatego, że w locie normalnym przy wprowadzaniu do zakrętu drążek sterowy i orczyk wychylają się w zgodnym kierunku, podczas gdy w locie odwróconym kierunki te są przeciwne. Jest to jednak dosyć łatwe do opanowania i nie wymaga dużego treningu. Niezłą przy tym pomoc może dać prosta reguła mówiąca, że w locie odwróconym „drążek podpiera skrzydło".

Prawidłowość wykonywanego zakrętu w locie odwróconym można kontrolować za pomocą chyłomierza poprzecznego. Wprawdzie jego kulka, wskutek odwrotnego wygięcia rurki „U", przyjmuje zawsze położenie krańcowe, to jednak rolę jej spełnia w zupełnie zadowalający sposób pęcherzyk powietrza, który się zawsze w tym przyrządzie znajduje.

Na zakończenie trzeba jeszcze wspomnieć, że przejścia do lotu odwróconego dokonuje się zazwyczaj przez wykonanie półbeczki albo

półpętli. Istnieją oczywiście jeszcze inne sposoby wprowadzenia szybowca do lotu odwróconego, a więc: półpętlą odwróconą z lotu normalnego, z przewrotu, ze ślizgu na ogon..., ale są to już „sposoby wyszukane".

10. Zasady łączenia figur

Dotychczas omawialiśmy poszczególne figury akrobacji, które stanowiły do pewnego stopnia — każda dla siebie całość. Może jedynie wywrót i zawrót (o czym sygnalizowaliśmy) składały się z elementów beczki i pętli — a więc były połączeniem dwóch różnych figur. O takim właśnie łączeniu figur i jego zasadach chcemy teraz mówić.

Poprawne wykonywanie poszczególnych figur akrobacji szybowcowej, to dopiero pierwszy etap na drodze doskonalenia się pilota. Właściwą umiejętność w tym zakresie posiądzie on dopiero wówczas, gdy poszczególne figury powiąże w pewną logiczną pod względem pilotażowym całość oraz potrafi ją poprawnie wykonać.

Przyglądając się bacznie omówionym wyżej figurom spostrzeżemy, że dadzą się one zaliczyć do pewnych grup mających podobne cechy. Tak na przykład — beczki (sterowana i szybka) oraz lot odwrócony po prostej mają tę wspólną cechę, że wykonujący je szybowiec cały czas oddala się od miejsca rozpoczęcia w ustalonym kierunku. Inne znowu, jak: przewrót, wywrót i zawrót albo półpętla (normalna lub odwrócona) dają zmianę kierunku o 180°. Jeszcze inne, jak: pętla, ślizg na ogon czy korkociąg są stacjonarne, tzn. są wykonywane w przybliżeniu nad tym samym miejscem oraz nie dają ani zmiany kierunku, ani też wyraźnego przesunięcia do przodu lub do tyłu. Dalszy podział prowadzi jeszcze do figur, które rozpoczynają się z dużej lub małej prędkości, albo kończą się na dużej lub małej szybkości.

Taki właśnie podział figur akrobacji ułatwi nam ich dobór przy tworzeniu pewnej logicznej całości — tzw. wiązanki, którą komponując kierujemy się pewnymi od dawna uznanymi i słusznymi zasadami:

— wszystkie figury wykonujemy wzdłuż ustalonej osi, która w czasie jednej wiązanki nie powinna ulegać zmianom;
— staramy się całą wiązankę wykonywać nad tym samym, możliwie mało rozległym, miejscem w terenie;
— figury następują jedna po drugiej i nie są rozdzielone dłuższym wytracaniem prędkości lub rozpędzaniem szybowca;
— zmiany kierunku wykonujemy przez wykonanie odpowiedniej figury, a nigdy przez robienie zakrętu (wyjątek może tu stanowić zakręt w locie odwróconym);
— nigdy nie wykonujemy kolejno po sobie dwóch takich samych figur, chyba że ich połączenie daje także pewną logiczną całość (np. ósemka z dwóch wywrotów itp.);
— o jakości wiązanki (pod warunkiem bezbłędnego wykonania poszczególnych jej elementów) decyduje możliwie krótki czas trwania założonej liczby figur;
— jeśli akrobację robimy w celach pokazowych, to wykonujemy ją przed a nie nad publicznością i to w takiej odległości, aby akrobację można było swobodnie oglądać bez „zadzierania" głowy; ponadto obserwujący powinien cały czas widzieć szybowiec w przybliżeniu pod stałym kątem, tzn. kiedy szybowiec jest jeszcze wysoko — powinien być równocześnie dalej, jeśli jest już nisko — powinien być bliżej widza.

Inż. *Sławomir Makaruk*

Rozdział dziesiąty

Loty wyczynowe

Opanowanie techniki pilotażu szybowca jest dopiero wstępem do właściwego latania szybowcowego, tzn. do lotów wyczynowych. Latanie wyczynowe to wykorzystywanie prądów wstępujących — zarówno wymuszonych, jak i termicznych oraz falowych — w celu osiągnięcia możliwie największego czasu lotu, największej wysokości, a przede wszystkim w celu uzyskania największej odległości przelotu lub prędkości na przelocie. Ostatnio loty czasowe, które niegdyś zajmowały czołowe miejsce wśród wyczynów szybowcowych, ustąpiły pierwszeństwa (po zniesieniu przez FAI * rekordów czasowych) bardziej atrakcyjnym przelotom.

Aby móc wykonywać loty wyczynowe, trzeba poza teoretycznym opanowaniem wiadomości o zasadach lotu, budowie szybowca i urządzeń pomocniczych, znajomością przepisów oraz wszystkich innych zagadnień niezbędnych dla każdego szybownika, umieć również dobrze latać na typie szybowca, na którym mają być wykonywane wyczyny. Ponadto trzeba również dobrze znać meteorologię i to zarówno teoretycznie, jak i praktycznie oraz potrafić oceniać warunki meteorologiczne w czasie lotu i umieć odpowiednio te warunki wykorzystać.

Przy wykonywaniu wyczynowych lotów szybowcowych spotykamy w zasadzie trzy rodzaje prądów wstępujących:

— wznoszenia wymuszone (zboczowe) — występujące przy silnym wietrze w górach;
— wznoszenia termiczne — powstające wskutek termicznych ruchów powietrza, a występujące zarówno w terenach górzystych, jak i płaskich;
— wznoszenia falowe — występujące głównie w terenach górzystych.

Każdy z wymienionych rodzajów wznoszeń wymaga zastosowania odmiennej techniki przy ich wykorzystywaniu. Często zdarza się, że np. podczas przelotu zachodzi potrzeba łączenia lotów termicznych ze zboczowymi lub falowymi, dlatego też znajomość techniki i taktyki lotów wyczynowych w różnych warunkach meteorologicznych oraz terenowych jest sprawą bardzo ważną. Bez tych umiejętności żaden szybownik nie może liczyć na powodzenie w swoich wyczynowych zamierzeniach.

*) Federation Aeronautique Internationale — Międzynarodowa Federacja Lotnicza.

1. Technika wykorzystywania prądów zboczowych

Loty na prądach zboczowych mają starą tradycję w szybownictwie. Pierwsze bowiem loty wyczynowe wykonywano właśnie przy pomocy prądów wymuszonych na zboczu.

Jak wiemy, warunkiem powstawania wznoszeń zboczowych jest odpowiednia prędkość wiatru (powyżej 8 m/sek) oraz przeszkoda terenowa w postaci góry (zbocza), którą opływając powietrze unosi się do góry. Są to więc prądy pionowe umiejscowione i związane z rzeźbą terenu. Latanie w górach na silnych prądach zboczowych jest dosyć łatwe, jednak przy słabym wietrze i trudnym terenie (zbocze pokryte lasem, uskoki terenu itp.) wymaga ono dużej wprawy, dobrego opanowania szybowca, a czasami i silnych nerwów (patrz również rozdział 7, pkt 6).

Latając nisko przy zboczu trzeba pamiętać o turbulencji, jaka występuje wskutek niewielkich nawet przeszkód terenowych, takich jak: krawędzie lasów, samotne duże drzewa, zagrody chłopskie lub uskoki terenowe. W miarę nabierania wysokości obszar najlepszych wznoszeń przesuwa się z wiatrem w kierunku szczytu zbocza. Maksymalny zasięg prądów zboczowych przy tym dochodzi do 30% wysokości zbocza (licząc od szczytu).

Bardzo często spotyka się połączenie prądów zboczowych ze wznoszeniami termicznymi, wówczas po uzyskaniu bezpiecznej wysokości na zboczu można przejść na termikę. Loty zboczowe mają znaczenie nie tylko z punktu widzenia treningu szybowcowego, lotów czasowych itp. Czasami zdarza się bowiem, że wykonując w zasadzie przelot na termice pilot zmuszony jest przeczekać jakiś kryzys termiczny na zboczu. Wtedy znajomość lotów zboczowych bardzo się mu przydaje.

Do lotów zboczowych startuje się przeważnie za pomocą lin gumowych lub rzadziej za pomocą wyciągarki. Start z lin gumowych jest prosty i po pewnym oswojeniu się z występującym przy nim przyspieszeniu nie nasuwa trudności (patrz również rozdział 7, pkt 2d).

2. Technika wykorzystywania wznoszeń pochodzenia termicznego

Loty termiczne można wykonywać startując za pomocą lin gumowych, wyciągarki lub samolotu. Jakkolwiek wszystkie te rodzaje startów zostały już omówione (patrz rozdział 7, pkt 2 — *Technika wykonywania startów*), to jednak warto jeszcze zrobić kilka uwag na temat ich wykorzystania do celów nawiązania kontaktu z termiką.

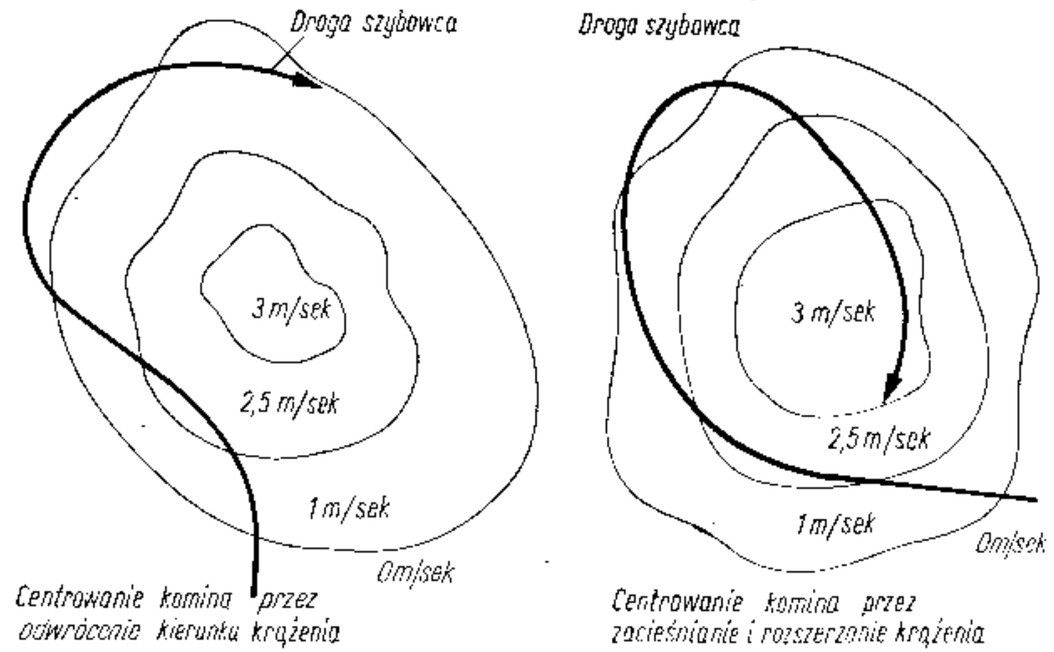
Pomimo tego, że zdarza się to stosunkowo rzadko, ale trzeba stwierdzić, że za pomocą lin gumowych można również startować bezpośrednio do lotu termicznego bez pośrednictwa prądów zboczowych. Start taki jest możliwy do wykonania przy słabym wietrze oraz przy występowaniu termiki wypracowanej, zwłaszcza jeżeli miejsca powstawania kominów są znane. Oczywiście niezbędna jest przy tym odpowiednia różnica poziomów między startem a lądowiskiem, tj. taka aby po odejściu od zbocza było możliwe bezpieczne krążenie w napotkanym kominie termicznym.

Start szybowca za pomocą wyciągarki jest bardzo ekonomiczny i pozwala w większości przypadków na wykorzystywanie prądów termicznych, zwłaszcza w lotach treningowych. Wadą jednak tego rodzaju startu jest stosunkowo niewielka wysokość odczepienia, która tylko w bardzo sprzyjających warunkach może dojść do 500 m, a najwyżej 600 m (średnio waha się między 300 a 400 m), a ponadto konieczność odczepienia się w rejonie wyciągarki, co bardzo ogranicza możliwości poszukiwania wznoszeń. Pomimo tego start za pomocą wyciągarki wystarcza do wykonywania większości lotów wyczynowych, oczywiście oprócz przelotów wymagających wczesnego startu na termikę naniesioną.

Najbardziej cenionym wśród szybowników-wyczynowców jest start szybowca za samolotem. Ten rodzaj startu jest stosunkowo drogi, pozwala jednak na wyszukiwanie wznoszeń w całym rejonie szybowiska, przejście przez strefę turbulencji przy termice naniesionej oraz umożliwia pilotowi odczepienie się na żądanej wysokości w najbardziej odpowiednim miejscu.

Wyobraźmy sobie teraz, że za pomocą któregoś ze wspomnianych wyżej rodzajów startu został nawiązany kontakt szybowca z termiką. Co wobec tego należy robić, aby napotkane wznoszenie jak najbardziej wykorzystać? Będzie to oczywiście w dużej mierze zależało od rodzaju termiki.

Wszystkie wznoszenia termiczne występują w postaci mniej lub więcej regularnych słupów cieplejszego powietrza unoszącego się do góry. Zadaniem szybownika jest więc wyszukanie takiego wznoszenia i utrzymania się w nim. Jeżeli szybowiec odczepił się w kominie i po wykonaniu okrążenia okazało się, że wznoszenie waha się np.



Rys. 10—1. Podstawowe zasady centrowania kominów termicznych (patrz również rys. 7—28, 7—29 oraz 8—5 i 8—6)

w granicach 2,5—0 m/sek, pilot powinien rozpocząć centrowanie komina. Istnieją dwa zasadnicze sposoby pozwalające na przesunięcie się do centrum komina (patrz również rozdział 7, pkt 5 oraz rozdział 8, pkt 4), np. można spróbować przełożyć krążenie w drugą stronę w momencie, gdy wznoszenie zacznie spadać. Jednak ta metoda daje pozytywne rezultaty wtedy, gdy szybowiec znajduje się na samym skraju komina lub gdy wznoszenia są bardzo szerokie. W naszym przypadku opisana metoda nie przyniosłaby dobrych wyników i szybowiec prawdopodobnie wypadłby z obszaru wznoszącego.

Dużo praktyczniejszą i dającą się prawie zawsze zastosować jest metoda zacieśniania i poszerzania (wydłużania) krążenia. Polega ona na tym, że w momencie gdy wznoszenie zaczyna spadać, zacieśniamy krążenie, tak aby promień krążenia w obszarze o zmniejszonym wznoszeniu (lub w duszeniu) był jak najmniejszy. Natomiast gdy wznoszenie zaczyna rosnąć, rozpłaszczamy krążenie i przesuwamy się w ten sposób w kierunku silniejszego wznoszenia (rys. 10—1 oraz rys. 8—5, 8—6 i 7—28, 7—29).

W podobny zresztą sposób poprawiamy krążenie w kominie, jeżeli stwierdzimy, że szybowiec zaczyna wypadać z centrum wznoszenia.

Zwykle pierwsze wycentrowane wznoszenie lub nawet kilka pierwszych wznoszeń należy wykorzystać aż do końca, aby móc zorientować się jaki mają charakter (spokojne czy turbulencyjne), jaka jest średnica wznoszeń, na jakich wysokościach wznoszenia są najsil-

niejsze oraz — w przypadku występowania chmur — w którym miejscu w stosunku do podstawy chmury jest usytuowany komin (zwykle od strony nasłonecznionej i pod wiatr). Określenie charakteru i rodzaju wznoszeń w danym dniu jest bardzo ważne, ponieważ w czasie dalszego lotu będzie można z góry określić z dużym prawdopodobieństwem, w którym miejscu i jaki komin się znajduje. Oczywiście w ciągu dnia pogoda, a więc i wznoszenia ulegają przemianom i z tym należy się liczyć. Między innymi powodzenie lotu zależy w dużej mierze od tego, jak prędko pilot spostrzeże i właściwie oceni zmiany pogody.

W początkowych lotach termicznych dużą trudność sprawia właściwe określenie odległości do chmur. Zwykle młodzi piloci latają od najbliższej chmury do następnej najbliższej, przy czym lecą na ogół pod Cumulus bez uwzględnienia kierunku i siły wiatru oraz kierunku operacji słonecznej. Jeżeli przy tym dolatują do chmury niewiele poniżej podstawy, odnalezienie centrum wznoszenia jest stosunkowo łatwe. Gorzej jest natomiast po przeleceniu pod chmurę dużo poniżej jej podstawy, mogą wówczas mieć poważne trudności z odszukaniem komina.

Właściwe wycentrowanie komina jest ważne z następujących względów:

— pozwala najszybciej uzyskać wysokość konieczną do dalszego kontynuowania lotu;
— w centrum komina szybowiec lata w obszarze wznoszeń o zbliżonej prędkości, a więc turbulencja mająca duży wpływ na zmęczenie pilota jest dużo mniejsza;
— w przypadku lotów chmurowych — dokładne wycentrowanie komina pod chmurą ułatwia dalszy lot bez widoczności ziemi.

Centrowanie kominów termiki wypracowanej jest dosyć łatwe, ponieważ wznoszenia są przeważnie bardzo regularne, dosyć obszerne i silne. Dlatego też początkujący szybownicy powinni najpierw próbować swych sił na termice tego rodzaju. Termika naniesiona natomiast charakteryzuje się silną turbulencją oraz wąskimi i nieregularnymi wznoszeniami, zwłaszcza w okresie budzenia się termiki. Wykorzystywanie takich wznoszeń jest dosyć trudne i wymaga pewnej wprawy, szczególnie przy niewielkich wysokościach lotu.

Odrębnej techniki wyszukiwania kominów wymaga termika chmurna. Podczas normalnej termiki chmurowej widzialnymi wskaźnikami wznoszeń są Cumulusy, natomiast na bezchmurnym niebie trudno doszukać się jakiegoś widzialnego znaku wznoszeń. Pierwszy lot na termice bezchmurnej, a zwłaszcza przelot, wymaga od pilota pewnego przełamania się oraz stwierdzenia samemu, że czyste i chmurne niebo nie zawsze świadczy o braku wznoszeń.

Przy wyszukiwaniu wznoszeń obserwować przede wszystkim należy teren. Termika bezchmurna jest przeważnie termiką wypłaszczaną i występującą wtedy, gdy pułap wznoszeń nie sięga poziomu kondensacji. A więc wznoszeń należy szukać tam, gdzie znajdują się tereny kontrastowe. Dlatego też — łachy piaszczyste wśród łąk, polanki w lesie, łany zboża, a nawet klepisko przed stodołą może być miejscem, w którym prawie na pewno napotkamy wznoszenie. Lecąc na termice bezchmurnej należy ponadto obserwować dymy z kominów fabryk a nawet ptaki. Często bowiem krążące bociany lub jastrzębie ratowały szybowników z opresji.

Latanie na termice jest podstawą latania wyczynowego. Bez dobrego opanowania lotów termicznych nie można się wybierać na przelot szybowcowy, który jest niejako ukoronowaniem lotów wyczynowych. Wykonywanie przelotów wymaga oczywiście jeszcze samych umiejętności, jak np. właściwego dobierania parametrów lotu, aby w danych warunkach osiągnąć najlepsze prędkości przelotowe i odległości. Ale do tego jest już potrzebna praktyka w lotach termicznych oraz znajomość teoretycznych zasad wykonywania przelotów, o czym będzie mowa w dalszym ciągu niniejszego rozdziału.

3. Loty w chmurach

Analizując loty termiczne nie omawialiśmy jeszcze wznoszeń wewnątrz chmur kłębiastych. Umiejętne jednak wykorzystywanie tych wznoszeń ma bardzo duże znaczenie zarówno podczas przelotów, jak i podczas wykonywania wyczynów wysokościowych. W chmurze bowiem, ze względu na inne w porównaniu do powietrza suchego własności termodynamiczne powietrza przesyconego parą wodną, spadek temperatury mas powietrza wznoszącego się jest mniejszy, a więc wznoszenia są silniejsze i pozwalają na szybkie uzyskiwanie dużych wysokości.

Loty chmurowe w zasadzie możemy podzielić na dwie grupy:

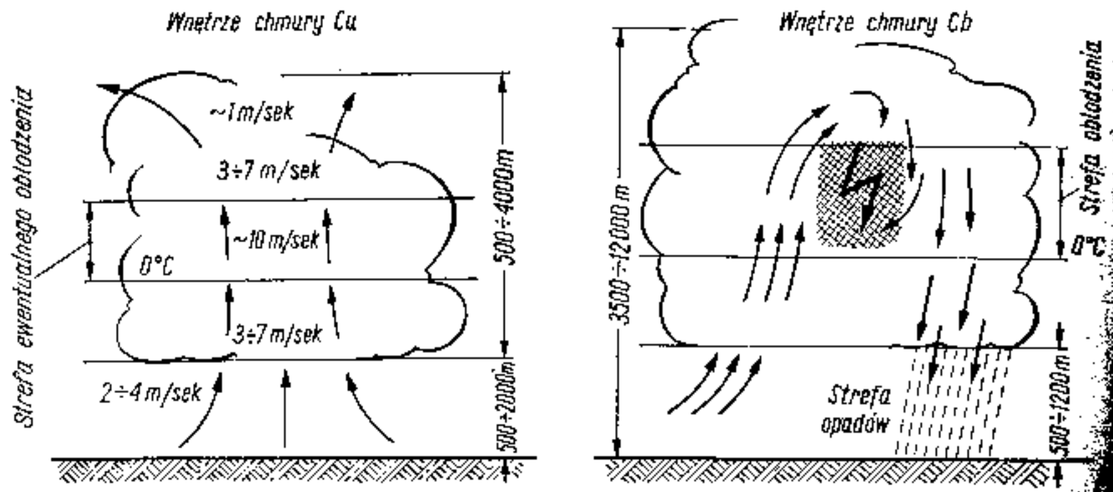
— loty mające na celu skrócenie czasu przelotu,
— loty, w których chcemy uzyskać maksymalną wysokość lotu.

W czasie przelotu wykorzystujemy przede wszystkim chmury typu Cumulus congestus (Cu cong.) których wysokość waha się średnio w granicach 500—4000 m (od podstawy do szczytu), przy czym strefa najlepszych wznoszeń sięga zazwyczaj do $^3/_4$ jej wysokości od podstawy. Wznoszenia w takiej chmurze są przeważnie uporządkowane i regularne oraz nie nastręczają specjalnych trudności pilotażowych pod warunkiem że:

— pilot wykonujący lot ma odpowiednie przeszkolenie w lotach bez widoczności;
— szybowiec jest przystosowany do wykonywania lotów w chmurach (odpowiednio wyposażony);

— przed wejściem w chmurę (pod podstawą) został określony i wycentrowany środek wznoszenia (zwykle najciemniejsze miejsce podstawy);
— pilot nie wszedł w chmurę Cu cong. rozbudowującą się w Cumulonimbus (Cb).

Najwygodniejsze z punktu widzenia przelotu są pojedyncze chmury Cu cong. występujące w odległości kilkunastu kilometrów od siebie, ponieważ nie zasłaniają terenu oraz nie utrudniają nawigacji i nie powodują zjawiska tłumienia termiki na dużych obszarach przez cień chmury (patrz rys. 10—2).



Rys. 10—2. Schematyczne przekroje chmur kłębiastych *Cu cong.* **oraz** *Cb* **z układ prądów wznoszących i duszących oraz stref niebezpiecznych dla lotu szybowcowe**

W czasie wykonywania przelotu należy pamiętać, że nie opłaca wykorzystywać wznoszeń chmurowych do końca, a tylko w partia w których wznoszenia przekraczają lub są równe wznoszeniom chmurami (normalnie wznoszenia w Cu cong. nie przekraczają m/sek), chyba że wykorzystywany Cumulus jest ostatnim, np. pr dużym obszarem nietermicznym (np. w okolicach burz termiczn itp.). Wtedy uzyskana nawet w słabych noszeniach wysokość m okazać się niezbędna do kontynuowania dalszego przelotu. Oczywi w każdym takim przypadku pilot musi podjąć decyzję zależnie istniejących warunków meteorologicznych.

Wykonując przelot z wykorzystaniem wznoszeń w chmurach leży zwracać uwagę, aby szybko i dokładnie wyprowadzać szybo na potrzebny kurs. Często bowiem zdarza się początkującym pilo że lecąc na przelocie nawigują głównie na podstawie terenu zap nając o kursie, a po wejściu w chmurę gubią się z wrażenia i prowadzają szybowiec z chmury nieraz na kursie zupełnie prze nym. Powoduje to oczywiście duże straty w prędkości przelot

Czasami może się zdarzyć, że Cu cong., który wyglądał bardzo niewinnie przed wejściem, rozbuduje się szybko i przekształca w chmurę burzową, albo że weszliśmy celowo w bardzo szybko rozbudowujący się Cu cong., aby np. uzyskać wysokość. Trzeba tu od razu przypomnieć, że loty w chmurach burzowych są zabronione ze względu na bezpieczeństwo lotu (silna turbulencja, w której łatwo jest przekroczyć obciążenia dopuszczalne dla szybowca), jednak ze względu na wspomniany wyżej przypadek szybkiego przekształcania się Cu cong. w Cb w trakcie lotu należy wiedzieć jak zachować się w takiej chmurze i z jakimi niespodziankami można tam się spotkać.

W chmurze burzowej wznoszenia występują w jej przedniej części i są bardzo silne (do 30 i więcej m/sek), ale wbrew powszechnym przypuszczeniom pokutującym wśród pilotów są przeważnie spokojne i regularne. Należy tylko przed wejściem w chmurę dobrze wycentrować środek wznoszenia. Wewnątrz chmury wznoszenie wraz ze wzrostem wysokości szybko wzrasta, po czym szybowiec napotyka na strefę oblodzenia. Niebezpieczeństwo oblodzenia jest tym mniejsze, im z większą prędkością szybowiec wznosi się, tzn. im prędzej przejdzie przez niebezpieczną strefę.

Wielkość oblodzenia, obok sprzyjających temu zjawisku warunków meteorologicznych, zależy również od kształtu elementów obladzanych. Oblodzeniu przede wszystkim ulegają krawędzie natarcia powierzchni nośnej, usterzenia oraz wystające elementy, jak rurki spiętrzeniowe, chwyty powietrza do wariometru energii całkowitej itp. oraz elementy kadłuba o większych krzywiznach (zwykle przód szybowca). W pewnych przypadkach oblodzenie może utrudnić, a czasem nawet uniemożliwić kontynuowanie lotu ze względu na wzrost ciężaru szybowca oraz możliwość zablokowania szczelin lotkowych i sterów przez lód (rozdział 8, pkt 6). Jednak na szczęście w praktyce bardzo silne oblodzenie w burzach występuje rzadko i zwykle kończy się ze względu na dużą prędkość wznoszenia na niezbyt silnym oblodzeniu kesonów oraz unieruchomieniu prędkościomierza. Również w zwykłych Cu cong. można spotkać się z niewielkim oblodzeniem.

Oblodzenie i unieruchomienie prędkościomierza w przypadku lotu w spokojnych warunkach bez opadów (np. gradu) przy pewnym treningu nie powoduje specjalnych trudności pilotażowych, ale w przypadku opadu gradowego, na który można natrafić w centralnej części chmury, wymaga dobrego opanowania pilotażu bez widoczności oraz dużej odporności psychicznej. Opady gradu w chmurze grożą bowiem jeszcze jednym niebezpieczeństwem: przy dużej wielkości gradzin oraz zbytnim rozpędzeniu szybowca może nastąpić rozbicie plexiglasowej osłony kabiny, co z kolei może mieć bardzo przykre następstwa.

Ponadto w centralnej części chmury burzowej (patrz rys. 10—2) natrafić można na strefę wyładowań atmosferycznych, które mogą doprowadzić do uszkodzenia szybowca, dlatego też strefę wyładowań

należy natychmiast opuścić lecąc — o ile to możliwe — w kierunku czoła chmury burzowej. Z tych właśnie względów przed wejściem w chmurę należy zawsze starać się zapamiętać, w jakim kierunku (z jakim kursem) się ona przesuwa, aby w przypadku dostania się w strefę duszeń, gradu lub wyładowań elektrycznych było wiadomo, pod jakim kursem należy uciekać z niebezpiecznej strefy.

Po przejściu strefy oblodzenia na ogół napotyka się wznoszenia słabsze. Wnosząc się dalej zauważymy pojawianie się (wraz ze słabnięciem wznoszeń) niewielkich nerwowych rzucań. Świadczą one o tym, że zbliżamy się do końca strefy wznoszeń, które przechodzą w kierunku tyłu chmury w silne prądy opadające.

Loty chmurowe dają dużo zadowolenia i emocji, jednak lekkomyślne wchodzenie w chmury, bez odpowiedniego przygotowania pilotażowego oraz na nieodpowiednim sprzęcie (np. brak aparatury tlenowej), grozi poważnymi następstwami, aż do całkowitego zniszczenia szybowca włącznie.

4. Loty falowe

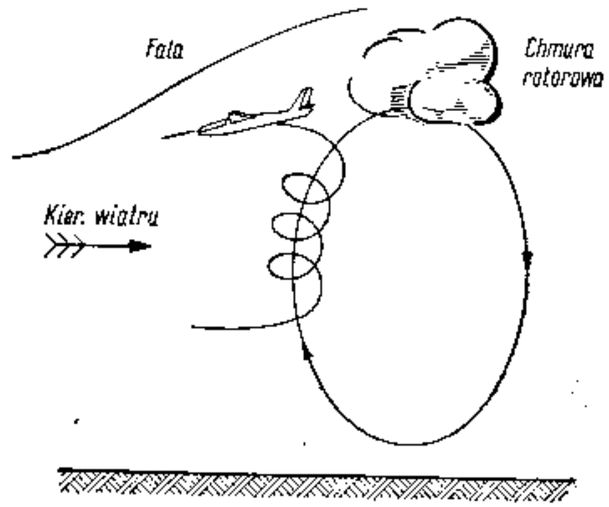
Ta dziedzina szybownictwa w ostatnich latach bardzo się rozwinęła zarówno w naszym kraju, jak i za granicą. Zaczęto osiągać wysokości ponad 13 000 m, a przeloty wykonywane na fali przekraczają już odległość 600 km. W związku z tym każdy szybownik powinien zapoznać się z lotami falowymi teoretycznie i praktycznie.

Latanie na fali wymaga od pilota umiejętności połączenia lotów falowych z lotami zboczowymi, a także z lotami w rotorach. Rodzaj startu do lotów falowych jest w zasadzie obojętny i zależy przede wszystkim od specyfiki warunków terenowych w miejscu występowania fali. Istnieją bowiem szybowiska, na których można wykonywać starty na falę za pomocą lin gumowych lub wyciągarki, gdzie po starcie pilot wykorzystuje najpierw prądy zboczowe, aby następnie przejść do wznoszeń rotorowych, z których z kolei dostaje się na falę. Jednak najbardziej uniwersalnym i pewnym sposobem startu do lotu falowego jest start za samolotem, który pozwala szybownikowi na rozpoczęcie lotu wolnego w miejscu najbardziej dogodnym.

Hol w warunkach falowych, charakteryzujących się zwykle silnym wiatrem również przy ziemi oraz silną turbulencją w strefie rotorowej, wymaga dużych kwalifikacji zarówno od załogi samolotu, jak i szybowca. Zazwyczaj po starcie pilot holujący stara się najpierw uzyskać minimum 200—400 m wysokości w rejonie lotniska, a dopiero potem udaje się na poszukiwanie wznoszeń rotorowych i falowych.

Lot zespołu w strefie rotorowej jest bardzo trudny. Przechodzenie

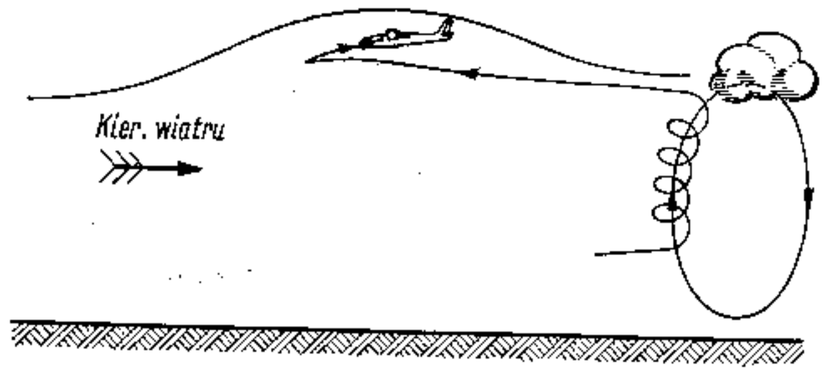
bowiem z obszaru wznoszeń (zwykle bardzo silnych) do obszaru duszeń jest tak gwałtowne, że np. zespół który wznosił się z prędkością często rzędu 10—15 m/sek momentalnie przechodzi w strefę duszącą o podobnym nasileniu. Gdyby w takiej turbulencji hol odbywał się na lince holowniczej o normalnej długości, mogłoby się łatwo zdarzyć, że samolot znajdowałby się np. w strefie duszącej, a szybowiec w tym samym czasie wznosiłby się z dużą prędkością stwarzając bardzo niebezpieczną sytuację. Aby przynajmniej w tym zakresie zapobiec temu, do lotów w warunkach halniakowych stosuje się linki holownicze (konopne lub z tworzyw sztucznych) o długości 10—15 m. Przy takich długościach linek cały zespół prawie jednocześnie przechodzi przez obszary wznoszeń i duszeń. Aby ponadto zapewnić pełne bezpieczeństwo, piloci mający latać w warunkach falowych przechodzą specjalne przeszkolenie.



Rys. 10—3 Schemat wykorzystywania wznoszeń rotorowych w celu przejścia do lotu na fali

Właściwy lot szybowca odbywa się dopiero po odczepieniu, które może nastąpić albo we wznoszącej części rotoru, albo powyżej — już w strefie występowania fali. Jeżeli odczepienie nastąpiło w rotorze, należy pamiętać, że obszar rotoru jest niewielki i bardzo silne duszenia graniczą z silnymi wznoszeniami. Dlatego też do wykorzystania rotoru stosuje się technikę podobną do wykorzystywania wąskich kominów termicznych (rys. 10—3) pamiętając równocześnie o tym, że wznoszenie w rotorze występuje zawsze od strony nawietrznej w stosunku do chmury rotorowej. Spostrzeżenie to jest bardzo cenne, jeżeli w czasie krążenia wypadniemy z obszaru wznoszącego. Należy wówczas jak najprędzej skierować szybowiec w kierunku pod wiatr, aby wejść ponownie w strefę wznoszeń.

Po osiągnięciu chmury rotorowej, a nawet wysokości nieco większej, należy opuścić rotor kierując się pod wiatr. Po pewnym czasie powinno nastąpić uspokojenie warunków lotu oraz ustalenie prędkości wznoszenia. Zmiana turbulentnych na ogół i bardzo silnych wznoszeń na mniejsze, ale zupełnie spokojne i ustalone, świadczy o przejściu szybowca na falę. Teraz zaczyna się zasadnicze zadanie lotu — wykorzystywanie wznoszeń falowych pozwalających na uzys-



Rys. 10—4. Sposób poszukiwania największych wznoszeń w locie na fali, gdy prędkość wiatru przekracza prędkość minimalną szybowca

kiwanie dużych wysokości, a przy sprzyjających warunkach — odległych przelotów.

Po przejściu z rotoru na falę lub po odczepieniu się szybowca w strefie wznoszeń falowych zadanie pilota polega na wyszukaniu, a następnie na utrzymaniu się w obszarze najsilniejszych wznoszeń. Zwykle wznoszenia falowe występują przy silnym wietrze, którego prędkość przekracza prędkość minimalną szybowca. Dlatego też należy szybowiec ustawić pod wiatr z prędkością pozwalającą na powolne jego przesuwanie się do przodu, aby móc w ten sposób spenetrować obszar fali i określić najkorzystniejszą strefę wznoszeń. W chwili gdy tylko wznoszenie zaczyna maleć, należy zmniejszyć prędkość szybowca na tyle, aby wiatr zniósł go z powrotem tam, gdzie wznoszenie było najsilniejsze. Po ponownym wejściu w strefę silnych wznoszeń należy starać się utrzymać prędkość równą prędkości wiatru (patrz rys. 10—4).

Jeżeli wiatr jest bardzo silny, mocno przekraczający prędkość minimalną szybowca, wówczas aby utrzymać się w strefie występowania fali, należy latać ze zwiększoną prędkością, ale co za tym idzie — wznoszenie szybowca będzie nieco mniejsze. W przypadku wiatru słabego można z powodzeniem esować wzdłuż fali lub nawet krążyć. Nie będzie to groziło wypadnięciem z fali, ponieważ szerokość fali jest zawsze wielokrotnie większa od jej długości.

Zasadniczym punktem orientacyjnym podczas lotu falowego jest chmura falowa, która w postaci jednej lub wielu piętrowo ułożonych soczewek pokazuje usytuowanie fali. Strefa wznoszeń, która na małych wysokościach znajduje się pod chmurą, w wyższych partiach przesuwa się do przodu, tak że na poziomie soczewki występuje przed chmurą. Takie położenie fali ma tę dużą zaletę, ponieważ w większości przypadków możliwe jest wykonywanie całego lotu z widocznością. Często jednak zdarza się również, że chmura falowa zaczyna się gwałtownie rozbudowywać do przodu zakrywając szybowiec albo

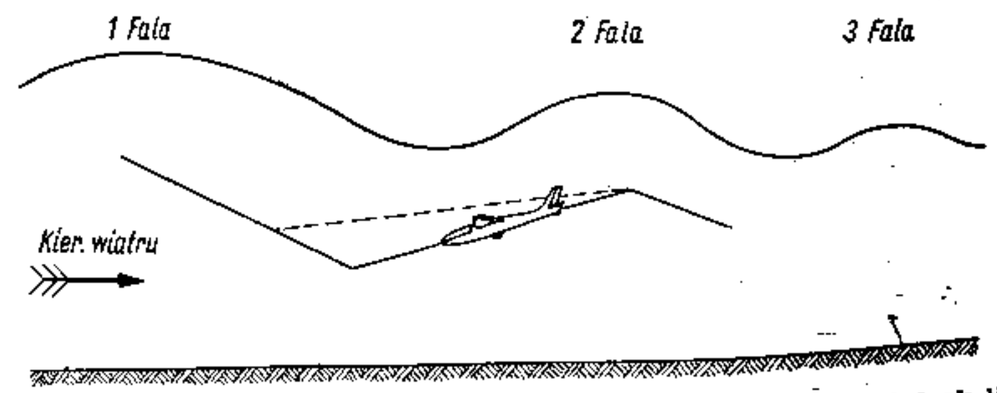
też na niższej wysokości powstaje dosyć nagle warstwa chmur przykrywających ziemię. Dlatego właśnie piloci wykonujący loty falowe muszą mieć bardzo dobrze opanowane loty bez widoczności ziemi.

Podczas lotów falowych pilot ma do czynienia nie z pojedynczymi falami, ale z całym zespołem zafalowań. Przy czym lecąc w poprzek fali bardziej pod wiatr napotyka fale o wyższym pułapie wznoszeń, natomiast bardziej z wiatrem fale mają zasięg pionowy niższy (wyjątek stanowi nakładanie się fal). Fale niższe są to fale wtórne występujące za ogniskiem zafalowania. Dlatego też w lotach, w których zależy na uzyskaniu największej wysokości, należy się starać przedostać do pierwszej fali najwyższej. Trzeba się jednak przy takim przejściu również liczyć z dużą stratą wysokości zanim szybowiec osiągnie poszukiwaną falę. Dzieje się tak dlatego, że pomimo lotu z dużą prędkością w czasie przeskoku na następną falę szybowiec ze względu na silny wiatr wolno przelatuje przez strefę duszeń (rys. 10—5).

Podczas przechodzenia na falę wtórną (z wiatrem) strata wysokości jest oczywiście dużo mniejsza, ponieważ przejście przez strefę prądów opadających jest znacznie szybsze niż w poprzednim przypadku. Należy tylko zwracać baczną uwagę na to, aby nie przelecieć poszukiwanej fali (lot odbywa się z bardzo dużą prędkością równą prędkości szybowca plus prędkość wiatru). Dlatego też gdy tylko po strefie duszeń zaczyna się pojawiać wznoszenie, należy natychmiast zakrążyć lub wykonać es, aby móc określić gdzie znajduje się wtórna fala.

Loty falowe to jednak nie tylko znajomość zjawiska i umiejętność wykorzystywania wznoszeń. Z lotami falowymi łączy się również zagadnienie długotrwałego przebywania na dużych wysokościach i w niskich temperaturach.

Spadek zawartości tlenu z wysokością powoduje, że przeciętny organizm ludzki wymaga dodatkowego zaopatrzenia w tlen już na wy-



Rys. 10—5. Przy przechodzeniu pod wiatr do najwyższej fali trzeba się jednak liczyć z dużą stratą wysokości

sokości około 4000—4500 m. Powyżej tej granicy niedotlenienie odbija się na psychice i zdolności fizycznej pilota, co nie pozostaje bez wpływu na przebieg lotu (patrz również rozdział 4, pkt 11 oraz rozdział 12, pkt 8). W lotach falowych czas uzyskiwania wysokości jest dużo dłuższy niż np. w chmurach Cu cong. i Cb, a więc niedotlenienie grozi w dużo większym stopniu. Dlatego też nie wolno wykonywać lotów na fali bez wyposażenia szybowca w aparat tlenowy oraz możliwie duży zapas tlenu. Aby przy tym pilot zachował pełną sprawność fizyczną oraz zdolność szybkiego i prawidłowego podejmowania decyzji, powinien dosyć wcześnie (na wysokości około 3000 m) rozpocząć korzystanie z aparatu tlenowego.

Normalna aparatura tlenowa może zabezpieczyć loty w szybowcu bez kabiny ciśnieniowej tylko do wysokości 12 000 m. Powyżej tej wysokości muszą być już używane kabiny ciśnieniowe lub skafandry stratosferyczne.

Wykonując lot wysokościowy na fali i korzystając z tlenu należy zawsze pamiętać, że przy schodzeniu do lądowania będzie trzeba jeszcze przejść pewną strefę wysokości, w której również niezbędne jest korzystanie z aparatu tlenowego. Rezerwa tlenu potrzebnego na zejście do wysokości 4000 m jest zależna w dużej mierze od typu szybowca, tzn. od jego prędkości opadania przy dopuszczalnej prędkości nurkowania z otwartymi hamulcami, zużycia tlenu w jednostce czasu oraz indywidualnych własności organizmu pilota.

Niezależnie od tlenowej aparatury pokładowej zabudowanej na szybowcu loty falowe na dużych wysokościach powinny w zasadzie odbywać się ze spadochronami wyposażonymi w oddzielną aparaturę tlenową, która zapewni organizmowi ilość tlenu potrzebną na przebycie niebezpiecznej strefy w przypadku skoku (patrz rozdział 4, pkt 11). Skoki awaryjne w czasie lotów wysokościowych należy zawsze wykonywać z opóźnionym otwarciem spadochronu.

Drugim poważnym niedomaganiem lotów szybowcowych na fali jest zimno. Dlatego do lotów falowych należy ubierać się ciepło, ale nie w sposób krępujący ruchy pilota, ponieważ w czasie lotów w turbulencji rotorowej, wymagających energicznego sterowania, mógłby mieć duże trudności pilotażowe. Wielogodzinne przebywanie w niskich temperaturach jest o tyle niebezpieczne dla pilota, ponieważ zmęczony zimnem dużo gorzej rozwiązuje on taktycznie i technicznie zadanie lotu.

Niska temperatura otoczenia ma również wpływ na mechanizmy sterowania szybowca powodując kurczenie się linek sterowych oraz gęstnienie smarów w łożyskach napędów, a ponadto spadek wydajności akumulatorów elektrycznych i wewnętrzne oblodzenie szyb. Czasami nawet bardzo niska temperatura może także być przyczyną pękania osłon kabiny wykonanej z plexi. O tych wszystkich sprawach należy pamiętać przygotowując pilotów i sprzęt do wyczynów na fali.

5. Loty nocne

Loty w nocy rzadko znajdują zastosowanie w lotach wyczynowych. Może się jednak zdarzyć, że w pewnych przypadkach będą potrzebne do wykonania wyczynu. Dawniej, gdy szybownictwo wyczynowe zajmowało się również lotami czasowymi, loty nocne miały bardzo duże znaczenie. Były one zwłaszcza niezbędne do pobicia rekordów długotrwałości lotu. Obecnie znaczenie wyczynowych lotów nocnych poważnie zmalało. Przewidywany rozwój lotów falowych, a szczególnie przelotów pozwala jednak przypuszczać, że w pewnych nielicznych przypadkach loty nocne mogą być pomocne do uzyskania wyników rekordowych.

Zdarza się na przykład, że nasilenie warunków falowych może wystąpić w godzinach popołudniowych lub wieczornych, a wtedy aby osiągnąć zamierzony wynik, pilot musi przedłużyć lot do godzin nocnych. W takim przypadku należy brać pod uwagę możliwość zakrycia lotniska przez chmury i związaną z tym konieczność lądowania w przygodnym terenie. Do lądowania jednak w nocy w przygodnym terenie szybowiec musi, oprócz normalnego wyposażenia do lotów nocnych, mieć także specjalne urządzenie oświetlające (np. wyrzucane na spadochronie), które mogłoby wystarczająco oświetlić teren przed lądowaniem. Podobna sytuacja może wystąpić podczas długich przelotów falowych, których czas w odróżnieniu od przelotów termicznych nie jest związany z operacją słoneczną lub z porą dnia.

Istnieje również koncepcja długotrwałego przelotu „na raty", tzn. pilot przelatuje na przykład na termice w ciągu jednego dnia odległość rzędu 500 km, następnie czeka przez noc latając na prądach zboczowych, a wreszcie po wystąpieniu termiki w dniu następnym kontynuuje dalej przelot i ma szanse osiągnąć następne 500 km.

Jak z tego wynika umiejętność wykonywania lotów w nocy może być potrzebna podczas prób bicia niektórych rekordów, w czasie przelotów na czole burzy, a ponadto przy transporcie szybowców z dalekich przelotów (zwłaszcza na zawodach).

6. Taktyka przelotowa

Po zdobyciu umiejętności wyszukiwania i wykorzystywania prądów wstępujących można zająć się teraz najbardziej atrakcyjną częścią wyczynów szybowcowych — przelotami.

Przeloty szybowcowe dają pilotowi wiele satysfakcji i pozostawiają w pamięci niezapomniane wrażenia, jakich nie daje żadna dziedzina sportu lotniczego. Przelot samolotem czy helikopterem, nawet w bar-

dzo trudnych warunkach, sprowadza się w końcu do mniej lub więcej skomplikowanej nawigacji oraz obsługi silnika i agregatów pomocniczych. Natomiast na przelot szybowcowy nie ma recepty. Szybowiec bowiem nie ma napędu, który bez kłopotu pozwoli mu na lot po trasie. Uzyskana odległość czy prędkość przelotowa jest uzależniona tu od wiedzy, treningu i inteligencji pilota, który poza znajomością nawigacji oraz opanowaniem sprzętu musi mieć duży zasób wiadomości z meteorologii i taktyki przelotowej. A ponadto musi umieć wykorzystać w praktyce całą swoją wiedzę.

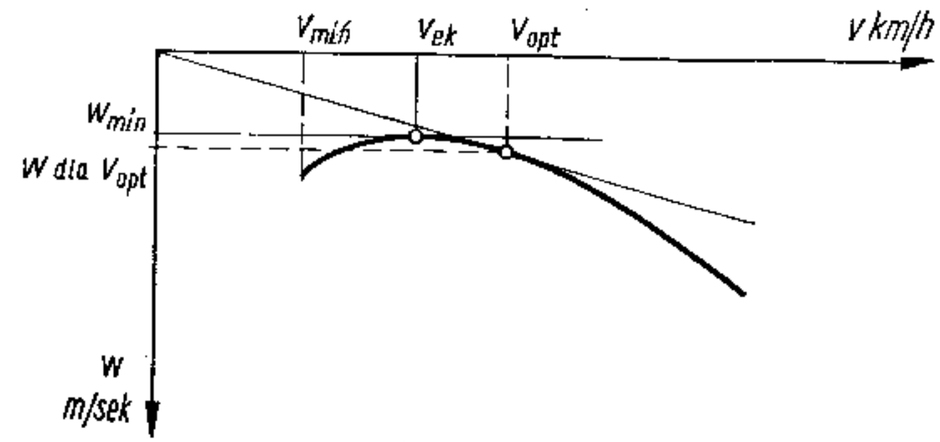
Na podstawie dotychczasowych doświadczeń powstało szereg metod, mniej lub więcej dokładnych, które pozwalają na określenie prędkości przelotowej i najlepszej prędkości przeskoku zależnie od dysponowanego sprzętu oraz występujących na trasie warunków meteorologicznych. Poniżej zostały opisane najczęściej stosowane i — jak się dotychczas okazało — najbardziej praktyczne metody określania prędkości przelotowej oraz prędkości przeskoku. Podano również najważniejsze zasady wykonywania przelotów w różnych warunkach meteorologicznych.

a. Metody określania prędkości przeskoku i prędkości przelotowej

Podstawą przy wszelkiego rodzaju rozważaniach i kalkulacjach dotyczących własności przelotowych szybowca jest biegunowa prędkości. Posiadając możliwie dokładną biegunową dysponowanego szybowca możemy drogą odpowiedniej analizy i przeliczeń otrzymać wiele ciekawych danych, które pozwolą właściwie wykorzystać jego walory przelotowe.

Pamiętamy z poprzednich rozdziałów, że biegunowa prędkości jest krzywą charakteryzującą prędkość opadania szybowca w funkcji prędkości lotu. Rysując biegunową prędkości w odpowiedniej skali możemy od razu określić najważniejsze dane dotyczące osiągów szybowca: prędkość optymalną v_{opt} (odpowiadającą największej doskonałości), prędkość opadania w odpowiadającą v_{opt}, prędkość minimalnego opadania w_{min} i odpowiadającą jej prędkość ekonomiczną v_{ek} oraz prędkość minimalną szybowca v_{min}. Posługując się biegunową prędkości musimy upewnić się czy pochodzi ona z pomiarów w locie, gdyż tylko taka biegunowa daje rzeczywisty obraz osiągów szybowca (patrz również rozdział 1, pkt 12).

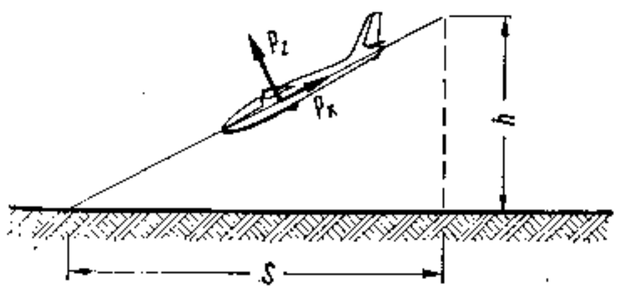
Jeżeli z początku układu na rysunku 10—6 przeprowadzimy styczną do biegunowej prędkości, to punkt styku określi prędkość optymalną v_{opt} i odpowiadającą jej prędkość opadania w. Stosunek $\frac{v_{opt}}{w_{opt}}$ równa się doskonałości szybowca D.



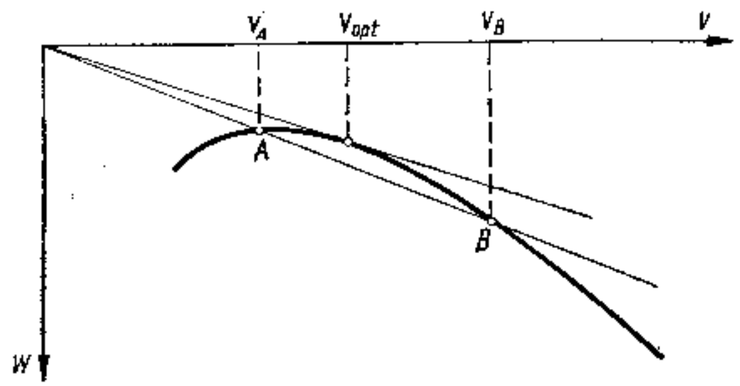
Rys. 10—6. Biegunowa prędkości szybowca i jej charakterystyczne punkty

Jak wiemy $D = \frac{P_z}{P_x} = \frac{v}{w}$, a z rysunku 10—7 wynika, że na podstawie podobieństwa trójkątów możemy napisać $\frac{P_z}{P_x} = \frac{S}{h}$, a stąd $S = \frac{P_z}{P_x} \cdot h = \frac{v}{w} \cdot h$. Odległość jaką przeleci szybowiec w warunkach bezwietrznych równa się iloczynowi doskonałości i wysokości, którą w danej chwili dysponuje szybowiec — oczywiście przy założeniu, że cały czas jest utrzymywana prędkość odpowiadająca danej doskonałości.

Wróćmy jeszcze raz do wykresu biegunowej prędkości (rys. 10—8). Co będzie, jeżeli zamiast stycznej poprowadzimy sieczną przecinającą biegunową w dwóch punktach A i B? Po obliczeniu doskonałości dla obydwu punktów okaże się, że jest ona taka sama dla punktu A jak i B. Podstawiając obliczone doskonałości do wzoru $S = D \cdot h$ (dla jednakowej wartości h) stwierdzimy, że szybowiec przeleci taką samą odległość w obu przypadkach. Ponieważ w rozpatrywanych przypadkach stosunki prędkości są takie same, natomiast wielkości rozpatrywanych prędkości są różne, szybowiec lecąc z prędkością v_B przeleci drogę S prędzej niż z prędkością v_A. Z powyższego rozważania wynika, że w czasie przelotu bardziej opłaca się lecieć z prędkościami większymi niż v_{opt}.



Rys. 10—7. Wyznaczenie zasięgu lotu na podstawie doskonałości szybowca i wysokości $S = \frac{v}{w} \cdot h$

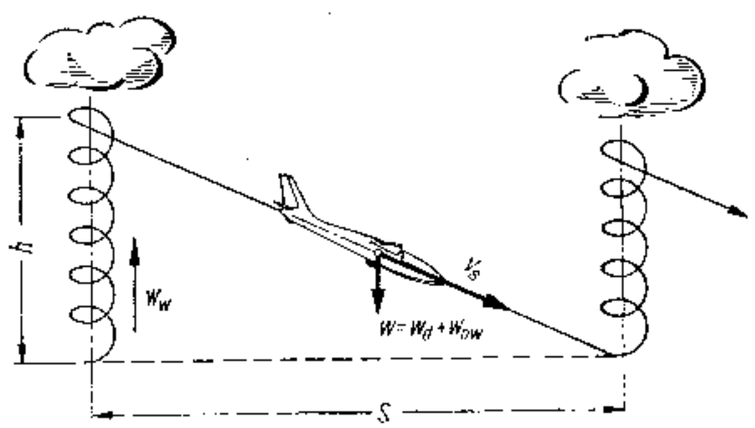


Rys. 10—8. Doskonałość szybowca w punktach A i B na biegunowej jest taka sama, dlatego w czasie przelotu bardziej opłaca się latać z prędkościami większymi niż v_{opt}

Spróbujmy teraz zastanowić się, z jakimi prędkościami powinien latać szybowiec w czasie przelotu, aby uzyskiwać największe prędkości przelotowe.

b. Metoda średnich prędkości przeskoku

Przypuśćmy, że w kominie wykręciliśmy wysokość h m wznosząc się z prędkością w_w m/sek. Po opuszczeniu komina chcemy lecieć do następnej chmury odległej o S km, a po drodze napotykamy duszenia równe w_d m/sek (wartość opadania samego powietrza). Nasz szybowiec lecąc do następnego komina z prędkością v_s ma prędkość własną opadania w_{ow}. Jaką należy dobrać prędkość przeskoku, aby drogę S przebyć w najkrótszym czasie (rys. 10—9)?



Rys. 10—9. Schemat przeskoku między kominami termicznymi

Czas potrzebny na uzyskanie wysokości h m w pierwszym kominie wynosi $t_1 = \frac{h}{w_w}$, czas potrzebny na przebycie drogi S km z prędkością v_s wynosi $t_2 = \frac{h}{w_{wo} + w_d}$, natomiast czas potrzebny na przebycie drogi S łącznie z wykręcaniem wysokości w kominie pierwszym wynosi:

$$T = \frac{S}{v_p} + t_1 + t_2 \quad (v_p = \text{średnia prędkość przelotowa}),$$

stąd

$$v_p = \frac{S}{t_1 + t_2}.$$

Podstawiając z kolei do tego wzoru

$$S = t_2 \cdot v_s, \quad t_1 = \frac{h}{w_w} \quad \text{i} \quad t_2 = \frac{h}{w_{ow} + w_d},$$

otrzymujemy:

$$v_p = \frac{v_s \cdot t_2}{t_1 + t_2} = \frac{v_s \frac{h}{w_{ow} + w_d}}{\frac{h}{w_w} + \frac{h}{w_{ow} + w_d}},$$

Po uproszczeniu możemy napisać:

$$v_p = \frac{v_s \cdot w_w}{w_{ow} + w_d + w_w} \quad \text{lub} \quad \frac{v_s}{1 + \frac{w_{ow} + w_d}{w_w}}$$

Jak widzimy, prędkość przelotowa w przypadku warunków bezwietrznych zależy od własności aerodynamicznych szybowca oraz czynników meteorologicznych. Znając więc biegunową prędkości oraz warunki meteorologiczne możemy obliczyć zarówno średnią prędkość przelotową, jak i najlepszą prędkość przeskoku. Rozpatrywany powyżej przypadek nie uwzględniał w ogóle wiatru, ponieważ nie ma on wpływu na prędkość przeskoku określaną zależnie od napotykanych wznoszeń (wiatr działa jednakowo na szybowiec i na kominy termiczne). Rzeczywistą prędkość przelotową oblicza się jako sumę geometryczną prędkości przelotowej w warunkach bezwietrznych oraz prędkości wiatru.

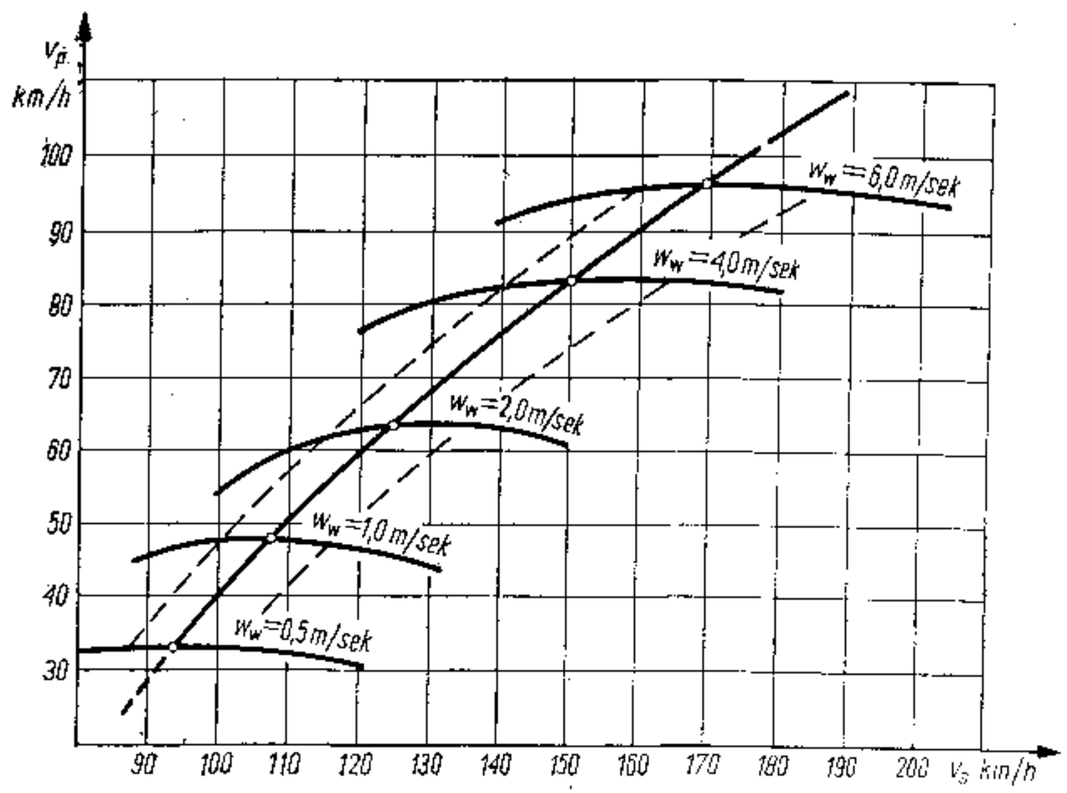
Należy zwrócić uwagę, że nasze rozważania dotyczyły klasycznego lotu termicznego od Cumulusa do Cumulusa. Oczywiste jest, że dla szlaków Cumulusowych czy lotu na czole burzy prędkość przelotowa będzie zupełnie inna. Niestety nie jesteśmy w stanie ująć tego zagadnienia za pomocą jakiegoś dokładnego wzoru.

Spróbujmy teraz przeanalizować otrzymane przez nas uprzednio wyniki. Jeżeli za pomocą wzoru:

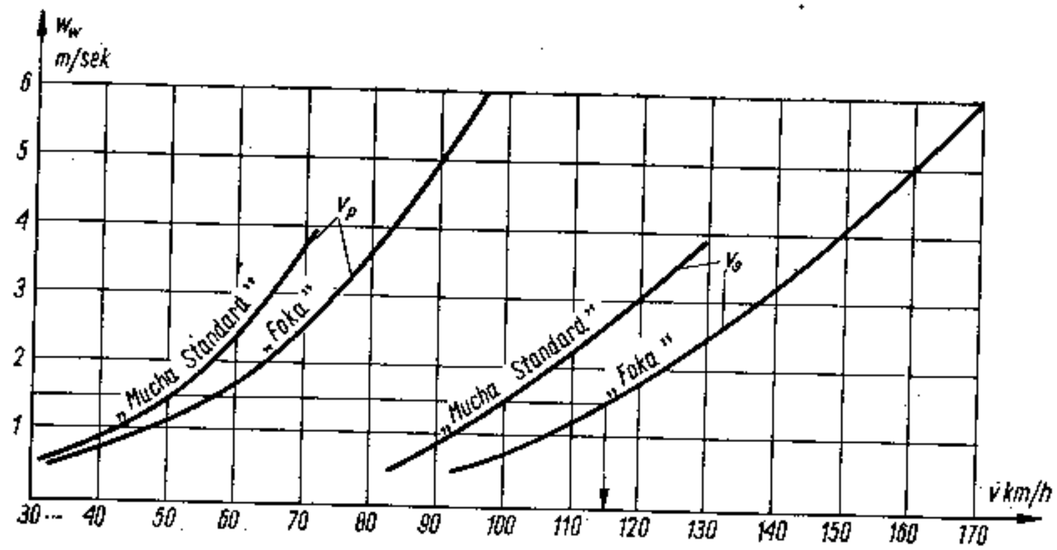
$$v_p = \frac{v_s \cdot w_w}{w_{ow} + w_d + w_w}$$

będziemy na przykład obliczać prędkości przelotowe dla określonego szybowca kolejno przy wznoszeniach: 0,5 m/sek, 1,0 m/sek, 2,0 m/sek itd. — dla różnych prędkości przeskoku, to otrzymamy dla każdego wznoszenia krzywą charakteryzującą prędkość przelotową w zależności od prędkości przeskoku dla danej stałej wartości wznoszenia. W rozpatrywanym wzorze występuje również prędkość duszenia międzykominowego w_d. Jak wykazała praktyka wielkość ta waha się w granicach $w_d = 0{,}1 - 0{,}3\ w_w$, średnio więc przyjmujemy: $w_d = 0{,}2\ w_w$.

Rysując otrzymane krzywe w układzie $v_p = f(v_s)$ przekonamy się (rys. 10—10), że ze wzrostem prędkości przeskoku będzie rosła prędkość przelotowa aż do pewnego momentu, w którym osiąga maksimum. Następnie mimo wzrostu v_s prędkość przelotowa zaczyna maleć. Wynika to stąd, że istnieje pewna prędkość przeskoku, dla której uzyskamy największą prędkość przelotową.



Rys. 10—10. Prędkości przelotowe (v_p) w funkcji prędkości przeskoku dla wznoszeń kominowych w_w = 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 i 6,0 m/sek oraz współczynnika duszeń 0,2 dla szybowca SZD-24 „Foka" (przy ciężarze w locie 304 kG)



Rys. 10—11. Prędkości przelotowe (v_p) i przeskoku (v_s) dla współczynnika duszeń 0,2 szybowców SZD-22 „Mucha Standard" i SZD-24 „Foka"

Na rysunku 10—10, na którym pokazano wyniki przeliczeń zrobione dla szybowca SZD-24 „Foka", widać wyraźnie dużą płaskość krzywych w pobliżu najlepszej prędkości przeskoku. Wskazuje to, że nawet w przypadku niezbyt dokładnego doboru prędkości przeskoku uzyskana prędkość przelotowa niewiele będzie się różnić od teoretycznie najlepszej. Spostrzeżenie to ma duże znaczenie, jeżeli weźmiemy pod uwagę, że błąd wskazań prędkościomierza pokładowego może dochodzić czasami do 10 km/h.

Na podstawie wykresu zamieszczonego na rysunku 10—10 możemy sporządzić podręczny wykres lub tabelkę, którymi można się posługiwać w czasie przelotu. Sposób posługiwania się takim wykresem pokazano z kolei na rysunku 10—11. Przypuśćmy na przykład, że lecimy na szybowcu „Foka" i wznosimy się w kominie ze średnią prędkością w_w = 1,5 m/sek. Aby znaleźć najlepszą prędkość przeskoku, prowadzimy od wartości 1,5 m/sek równoległą do osi v aż do przecięcia z krzywą prędkości przeskokowych. Odcięta w punkcie przecięcia określa poszukiwaną prędkość (równa w tym przypadku 115 km/h). Podobnie odnajduje się również prędkość przelotową.

Na wykresie prędkości przelotowych i przeskoku możemy zamieścić również biegunową prędkości. Ułatwi to nam obliczanie dolotu, o czym będzie mowa w dalszych rozdziałach.

Powyższa metoda średnich prędkości jest metodą przybliżoną opartą na wielu założeniach (np. przyjmuje stałe wartości duszeń międzykominowych itp.), jest jednak bardzo prosta i przejrzysta oraz mało absorbuje pilota w czasie lotu. W związku z tym z powodzeniem nadaje się do stosowania przez początkujących wyczynowców. Dokładność tej metody, jak wykazała praktyka, jest zadowalająca.

c. Metoda chwilowych prędkości przeskoku

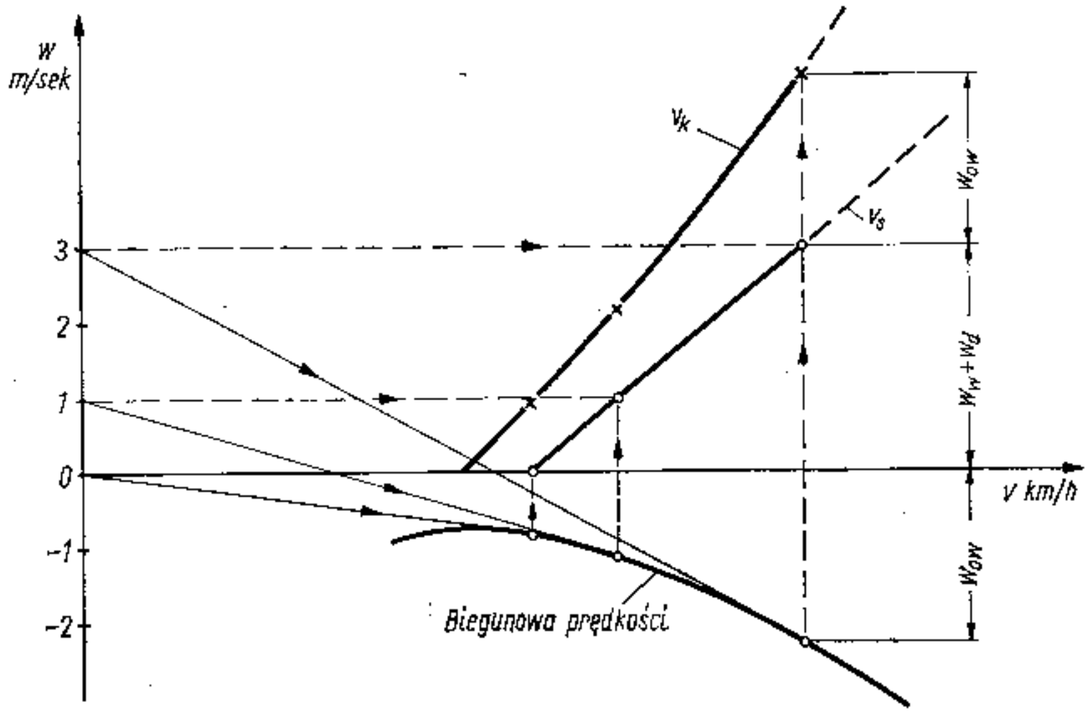
Dużą popularnością wśród szybowników cieszy się tzw. kalkulator krążkowy, oparty na metodzie chwilowych prędkości przeskoku. Metoda ta jest rozwinięciem poprzednio opisanej metody, a różni się od niej tym, że prędkości przeskoku nie są już określane w oparciu o założone średnie opadanie międzykominowe, lecz w oparciu o rzeczywiste duszenia.

Przekształćmy wzór na v_p tak, aby otrzymać proporcję:

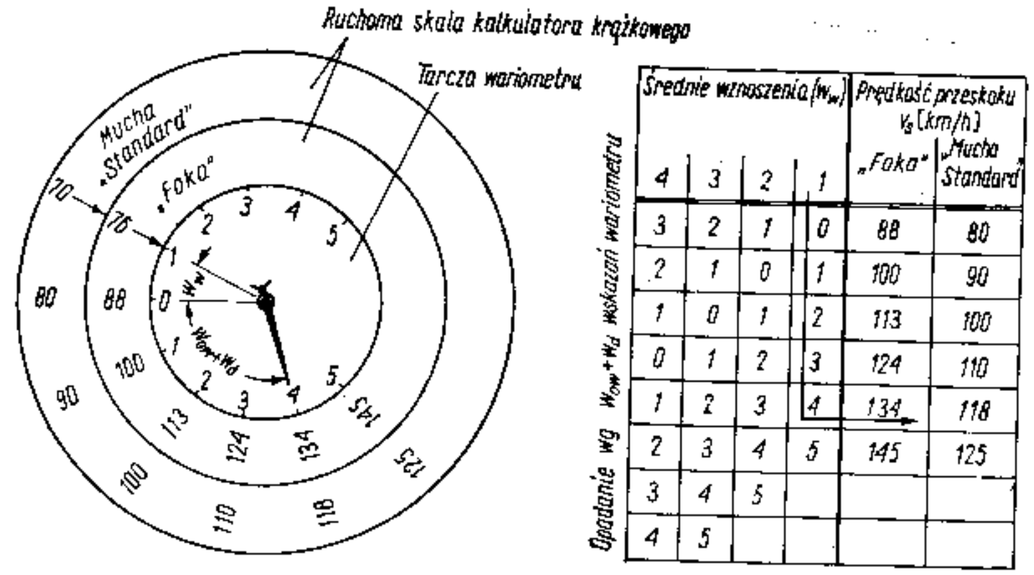
$$\frac{v_p}{w_w} = \frac{v_s}{w_w + w_{ow} + w_d}.$$

Jeżeli teraz narysujemy biegunową prędkości i na osi prędkości pionowych odłożymy do góry od punktu *0* prędkości w_w i w_d oraz z otrzymanego punktu poprowadzimy styczną do biegunowej, to odcięta punktu styczności pokaże nam właściwą prędkość przeskoku (rys. 10—12). W przypadku, gdy zmieni się prędkość duszenia, to również zmieni się położenie stycznej na biegunowej prędkości. Tak więc, znając wartość duszenia w danej chwili, możemy określić właściwą prędkość przeskoku.

Oczywiście posługiwanie się takim wykresem w czasie lotu byłoby zbyt uciążliwe, dlatego zaczęto zastanawiać się nad jakimś bardziej prostym rozwiązaniem. Okazało się, że najwygodniejsze jest zasto-



Rys. 10—12. Wykreślne wyznaczanie prędkości krążkowych



Rys. 10—13. Prędkości krążkowe naniesione na krążek przy wariometrze oraz w formie tabeli dla szybowców SZD-24 „Foka" i SZD-22 „Mucha Standard" (strzałka w tabeli pokazuje sposób odnajdywania prędkości przeskoku)

sowanie wariometru jako wskaźnika prędkości przeskoku, tzn. w ten sposób, aby wskazówka wariometru pokazywała prędkość przeskoku zależnie od aktualnego duszenia w danej chwili. W tym celu należy nanieść uprzednio obliczone prędkości na krążek umieszczony na tarczy wariometru.

Wartości krążkowe znajduje się w następujący sposób. — Ponieważ wariometr wskazuje całkowite opadanie, które jest sumą opadania własnego szybowca i duszenia między kominami, musimy prędkości przeskoku uzależnić od tych właśnie wskazań. W tym celu do wykresu prędkości przeskokowych v_s, otrzymanego wykreślnie metodą pokazaną na rysunku 10—12 musimy dodać odpowiadające im opadania własne. Otrzymamy w ten sposób wykres prędkości krążkowych v_k, gdzie krzywa v_k przecina oś w punkcie odpowiadającym prędkości ekonomicznej szybowca. Uzyskane prędkości nanosimy na krążek (np. z plexi) tak, aby wartościom 1, 2, 3, 4, 5 m/sek na skali wariometru odpowiadały naniesione na krążku prędkości równające się na wykresie tym wartościom wskazań wariometru. Przy prędkości ekonomicznej odpowiadającej $w = 0$ m/sek rysujemy strzałkę (rys. 10—13).

Kalkulatorem krążkowym posługujemy się następująco. — Załóżmy, że osiągnęliśmy w kominie pewną wysokość ze średnim wznoszeniem 1 m/sek, dalsze korzystanie z tego komina nie opłaca się, ponieważ wznoszenie maleje i chcemy lecieć do następnej chmury. Ustawiamy więc strzałkę krążka na 1 m/sek wznoszenia na skali wariometru i wychodzimy z komina. Wariometr zaczyna pokazywać nam np.

4 m/sek opadania (składającego się z opadania własnego oraz duszenia), a więc wskazówka wariometru dla naszego ustawienia krążka (1 m/sek) wskazuje prędkość przeskoku dla szybowca „Mucha Standard" 118 km/h i 134 km/h dla szybowca „Foka". Jeśli prędkość, z którą opuściliśmy komin była zbyt duża lub zbyt mała, to aby utrzymać właściwą prędkość przeskoku, będziemy musieli odpowiednio zmniejszyć lub zwiększyć prędkość. To oczywiście z kolei znowu zmieni wskazania wariometru, tak że właściwą prędkość przeskoku uzyskujemy stosując „pogoń" za wskazówką wariometru.

Jeżeli natomiast wykorzystując posiadaną wysokość chcemy dolecieć najdalej uwzględniając napotkane po drodze duszenie, musimy znaleźć prędkość maksymalnego zasięgu. Prędkość tę znajdujemy za pomocą kalkulatora krążkowego przy założeniu, że prędkość średniego wznoszenia w ostatnim kominie była równa zero. Wykonujemy to w ten sposób, że strzałkę krążka ustawiamy na zero skali wariometru — wtedy w czasie dolotu wskazówka wariometru będzie pokazywała prędkość maksymalnego zasięgu tylko w zależności od napotkanych duszeń.

Obliczając prędkości krążkowe otrzymujemy często wartości ułamkowe, które należy zaokrąglić do 1 km/h. Popełniona w ten sposób niedokładność jest nieporównywalnie mała w stosunku do błędu wskazań samego prędkościomierza. Należy jednak zwrócić uwagę, aby przy stosowaniu prędkości krążkowych utrzymywać je z dokładnością nie mniejszą niż ± 5 km/h. Jako średnią wartość wznoszenia, na którą nastawiamy krążek, przyjmuje się 0,5—0,6 spodziewanej wartości maksymalnego wznoszenia w kominie, do którego lecimy.

Zamiast na krążku można również obliczone wartości zestawić w odpowiedniej tabelce, która została pokazana na rysunku 10—13.

Opisane powyżej dwie metody określania prędkości przeskoku zupełnie wystarczają w praktyce lotów wyczynowych, jednak istnieje jeszcze wiele innych metod, a na pewno wiele nowych powstanie. Prawie każdy szybownik wyczynowy interesujący się tymi zagadnieniami od strony teoretycznej wypracowuje sobie zawsze „swoją własną metodę" drogą modyfikacji różnych istniejących metod oraz na podstawie własnej praktyki.

d. Obliczanie dolotu

Uzyskanie największej prędkości przelotowej w konkurencjach prędkościowych zależy nie tylko od stosowania właściwego przeskoku, ale również od wypracowania właściwego dolotu — tzn. dobrania takich parametrów lotu w zależności od warunków meteorologicznych, aby dolot był zrobiony w najkrótszym czasie. Najlepiej w takim przypadku posługiwać się metodą średnich prędkości.

Przypuśćmy, że znajdując się w odległości 20 km od lotniska dolotowego krążymy we wznoszeniu 1,5 m/sek (na szybowcu „Foka"). Za pomocą wykresu z rysunku 10—11 stwierdzamy, że najlepsza prędkość przeskoku wynosi 115 km/h. Ponieważ przyjęliśmy, że średnie duszenie wynosi 0,2 w_w, nasze opadanie więc przy prędkości 115 km/h będzie wynosić $w_d + w_{ow} = 0{,}2 \cdot 1{,}5 + 1{,}34 = 1{,}64$ m/sek (1,34 m/sek = opadanie własne szybowca „Foka" przy prędkości 115 km/h odczytane z wykresu biegunowej prędkości). A jak wiemy $\frac{v}{w} = \frac{S}{h}$, zatem podstawiając obliczone uprzednio wartości otrzymamy:

$$\frac{115}{3{,}6 \cdot 1{,}64} = \frac{20}{h}; \qquad h = \frac{S \cdot w}{v} = \frac{20 \cdot 1{,}64}{118/3{,}6} = 1000 \text{ m}.$$

Powyższe rozważanie oczywiście nie jest zbyt dokładne. Obarczone jest ono błędem metody średnich prędkości, ale w praktyce zupełnie wystarcza. Natomiast główną jego wadą są długie obliczenia, trudne do wykonania w powietrzu. Aby zatem uprościć sobie pracę w powietrzu, należy na tabelce z prędkościami przeskokowymi umieścić również biegunową prędkości, tak aby wiedzieć jakie opadania odpowiadają poszczególnym prędkościom przeskoku. Do obliczania dolotu można również przyjąć prędkość krążkową dla ostatniego wznoszenia i duszeń spodziewanych na dolocie.

W przypadku wiatru należy w zasadzie obliczyć, jak wpłynie prędkość wiatru na prędkość przeskoku (rozwiązać trójkąt prędkości lub obliczyć na suwaku nawigacyjnym), a następnie liczyć dolot dla poprawionej prędkości przeskoku. Można również w przybliżeniu nałożyć składową prędkości wiatru na kierunek lotu i dodać lub odjąć od prędkości dolotu w zależności od tego czy lecimy z wiatrem, czy pod wiatr.

Ostatnio do szybkiego obliczania dolotów skonstruowano szereg urządzeń pomocniczych w rodzaju krążków lub suwaków.

Przy obliczaniu dolotu tymi metodami nie można zapomnieć o jednym — że obliczenia są przybliżone oraz że po drodze możemy spotkać nieprzewidziane obszary duszeń. Dlatego też do obliczonej wysokości dolotu należy zawsze dodać 100÷200 m.

e. Dobór rodzaju przelotu

Na wybór rodzaju przelotu w danym dniu ma wpływ wiele czynników, a przede wszystkim warunki meteorologiczne, pora roku oraz własności szybowca, na którym ma być wykonany zamierzony przelot. Warunki meteorologiczne, które interesują szybownika to: spodziewany rodzaj termiki oraz przewidywana prędkość wznoszeń, czas budzenia się i gaśnięcia termiki, prędkość i kierunek wiatru na różnych wysokościach, rodzaj i wielkość zachmurzenia.

Znajomość dokładnej prognozy pogody umożliwi pilotowi w pewnym stopniu dokonanie prawidłowego wyboru zadania oraz właściwe wykorzystanie warunków meteorologicznych. W przypadku termiki naniesionej, charakteryzującej się silnym wiatrem i porwanymi poniżej 300÷500 m wznoszeniami, dużą turbulencją oraz w godzinach rannych niewielką podstawą chmur, należy planować głównie dalekie przeloty otwarte i docelowe z wiatrem lub z niewielkim odchyleniem od kierunku wiatru. Czasami w taką pogodę, jeżeli prognoza przewiduje osłabnięcie wiatru w godzinach popołudniowych oraz liczymy się z możliwością powstawania szlaków, można wykonać długie przeloty docelowo-powrotne. Jednak przeloty kombinowane, a więc docelowo-powrotne, trójkąty lub przeloty z dużym załamaniem trasy należy planować przy termice wypracowanej lub mieszanej występującej zazwyczaj w dwa lub trzy dni po przejściu frontu chłodnego.

Planując przelot należy zwrócić baczną uwagę na przewidywany czas występowania termiki, który jest zależny od pory roku. I tak np. trudno liczyć na możliwość wykonania długiego przelotu docelowo-powrotnego w drugiej połowie września, ponieważ o tej porze roku dysponujemy nie więcej niż pięcioma godzinami termiki. Możemy natomiast z powodzeniem wykonać przelot docelowy lub otwarty, nawet rzędu 500 km, korzystając z termiki pofrontowej. Długie przeloty docelowo-powrotne najlepiej wykonywać w okresie od drugiej połowy maja do około 15 sierpnia, wtedy bowiem mamy do dyspozycji nawet dziesięć godzin termiki. Przeloty po trasie trójkąta 100, 200, a nawet 300 km można praktycznie wykonywać od kwietnia aż do końca września.

W celu zorientowania się w możliwościach przelotowych w danym dniu najlepiej zrobić założenie na podstawie komunikatu i własnej praktyki średnich wznoszeń oraz obliczenie za pomocą metody średnich prędkości przewidywanej prędkości przelotowej dla danego szybowca. Następnie mnożąc otrzymany wynik przez liczbę godzin termiki, którymi prawdopodobnie można w tym okresie rozporządzać, otrzymujemy liczbę kilometrów możliwą do przelecenia. Na zakończenie pozostaje tylko uwzględnić prędkość wiatru.

Oczywiście przytoczona powyżej kalkulacja jest bardzo przybliżona, ale pozwala na mniej więcej realne założenie zadania w danym dniu.

f. Przygotowanie przelotu

Znając warunki meteorologiczne oraz własności dysponowanego sprzętu można już podjąć decyzję dotyczącą rodzaju przelotu i określić jego trasę. Następnym etapem jest przygotowanie do przelotu, które można podzielić na przygotowanie nawigacyjne oraz przygotowanie załogi i sprzętu.

Przygotowanie nawigacyjne rozpoczynamy przede wszystkim od wykreślenia trasy przelotu, którą następnie dzielimy na 50-kilometrowe odcinki. Wybierając się na przykład na przelot prędkościowy musimy dodatkowo odpowiednio przygotować odcinek trasy, na którym będziemy wykonywać dolot — ostatnie 50 km dobrze jest podzielić na odcinki 10 km, aby ułatwić sobie kalkulacje dolotowe. Po wykreśleniu trasy zapoznajemy się z charakterystycznymi punktami na trasie przelotu, a jeszcze lepiej z punktami położonymi w pasie o szerokości 30 do 40 km wzdłuż trasy. Zdaża się bowiem często, że szybowiec wykręcający się na małej wysokości zostaje zniesiony przez wiatr w bok od trasy, a korzystanie z mapy podczas takiego lotu jest dosyć trudne. W takim przypadku znajomość charakterystycznych punktów terenowych bardzo ułatwia orientację.

Mając już wykreśloną i rozpoznaną trasę obliczamy kurs geograficzny, a następnie — jeżeli przelot ma się odbywać z bocznym wiatrem — obliczamy kurs busoli za pomocą suwaka nawigacyjnego lub po prostu rozwiązując nawigacyjny trójkąt prędkości. Jako prędkość lotu w tych obliczeniach przyjmujemy średnią prędkość przelotową w warunkach bezwietrznych, wyliczoną za pomocą wzoru na v_p podanego w poprzednich punktach niniejszego rozdziału. Obliczony w ten sposób kurs busoli wypisujemy ołówkiem po prawej stronie wykreślonej na mapie trasy lub w specjalnym notatniku, który najlepiej umieścić za pomocą gumek na nodze. Notatnik taki jest bardzo przydatny w czasie lotu.

Do przygotowania nawigacyjnego należy również umieszczenie w łatwo dostępnym w czasie lotu miejscu: linijki, ołówka, suwaka nawigacyjnego, kątomierza oraz wykresu lub tabelki z naniesionymi prędkościami — przelotową i przeskoku — oraz biegunową prędkości.

Przygotowanie sprzętu obejmuje sprawdzenie szybowca oraz przyrządów pokładowych, a zwłaszcza wskazań wariometru, prędkościomierza i wysokościomierza. Jeżeli przewidujemy, że w danym dniu będą występowały wybudowane Cumulusy, koniecznie trzeba również sprawdzić działanie zakrętomierza elektrycznego. Przygotowując się do dłuższego przelotu należy ponadto sprawdzić kanalizację szybowca.

Przed startem do przelotu na pokładzie szybowca powinny się znajdować dokumenty szybowca oraz wyposażenie do kotwiczenia w przygodnym terenie.

g. Długie przeloty otwarte i docelowe

Przeloty takie najlepiej — jak już wiemy — jest wykonywać wykorzystując termikę naniesioną. Do długiego przelotu przy tym wskazane jest przygotować się już poprzedniego dnia, aby przed samym startem nie tracić czasu na przygotowanie nie związane bezpośrednio z lotem.

Start do długiego przelotu powinien nastąpić jak najprędzej. W ten sposób bowiem przedłużamy sobie dzień termiczny. Należy jednak uważać, aby nie odejść od lotniska zbyt wcześnie i nie lądować zaraz w terenie przed właściwym rozbudzeniem się termiki. W związku z tym dobrze jest pozwolić odholować się o kilka lub kilkanaście kilometrów w stronę przeciwną do przelotu na wysokość gwarantującą powrót, a następnie w locie do lotniska zorientować się czy możliwe jest nawiązanie kontaktu z termiką. Jeżeli wznoszenia pozwalają już na utrzymanie się w powietrzu, warto zaryzykować odejście nawet przy słabych wznoszeniach, ponieważ lecąc tylko z wiatrem do czasu silniejszego rozwoju termiki przelatujemy cenne kilometry, których może nam potem brakować do osiągnięcia celu.

Pogoda pofrontowa sprzyja powstawaniu szlaków Cumulusów. Wtedy mamy zadanie ułatwione starając się lecieć jak najwięcej po prostej — zmniejszając prędkość szybowca we wznoszeniach, zwiększając natomiast w opadaniach. W takich warunkach nie zaleca się wchodzić w chmury, ponieważ traci się ocenę aktualnych warunków meteorologicznych na trasie. Jeżeli zauważymy, że zbliżamy się do końca szlaku, należy starać się uzyskać maksymalną wysokość nawet kosztem wejścia do chmury — zwłaszcza gdy w bliskiej odległości nie spodziewamy się większych wznoszeń.

Podobnie zresztą należy postępować w przypadku napotkania w czasie przelotu frontu burzowego. Należy wówczas lecieć lotem prostym w strefie wznoszącej frontu.

Nie zawsze jednak napotykamy tak sprzyjające warunki atmosferyczne jak wyżej opisane. W przypadku normalnej termiki kominy lub skupiska kominów występują w odległości od kilku do kilkunastu kilometrów od siebie. Należy je wówczas wykorzystywać starannie centrując, aby w ten sposób tracić możliwie najmniej czasu na wykręcanie wysokości. Potem stosując jedną z opisanych wyżej metod doboru prędkości przeskoku należy lecieć na poszukiwanie dalszych wznoszeń. Wiadomo również, że kominy termiczne nie są rozłożone idealnie na trasie i często trzeba nieco zboczyć z zamierzonego kierunku, aby odzyskać wysokość utraconą w przeskoku. Należy oczywiście przy tym zwracać uwagę, aby odchylenia od trasy nie były zbyt duże, ponieważ może się to zupełnie nie opłacać. Na przykład, początkujący wyczynowcy nie wierząc często w zasięg szybowca wybierają chmury znajdujące się z boku trasy, ale blisko, a nie chmury leżące nieco dalej na trasie przelotu. Pogarszają oni w ten sposób prędkość przelotową.

Napotykając po drodze obszary wznoszeń, nawet niewielkich, opłaca się zmniejszyć prędkość przeskoku i wykorzystać te wznoszenia w locie prostym. Trzeba bowiem pamiętać, że najwięcej czasu na przelocie traci się właśnie na wykręcanie wysokości w kominach. Dlatego każda okazja uzyskania wysokości w locie prostym po trasie skraca czas przelotu. Oczywiście, jeśli na trasie przelotu napotyka się cały czas wznoszenia np. pięciometrowe, to wykorzystywanie niewielkiego obszaru wznoszeń 0,5 m/sek będzie zupełnie niecelowe.

Końcówkę długiego przelotu z wiatrem staramy się rozwiązać w ten sposób, aby do maksimum wykorzystać ostatnie napotkane wznoszenie (chyba że cel przelotu został osiągnięty już wcześniej nim zaczęła się kończyć termika), a następnie na prędkości maksymalnego zasięgu kontynuować lot aż do miejsca, które obieramy na lądowisko. Przy dolocie wieczorem należy pamiętać o obszarach zmniejszonego opadania w rejonach krawędzi lasów i mokradeł.

Przeloty prędkościowe, których czas lotu liczy się od momentu zameldowania się nad taśmą startu do momentu zameldowania się nad metą (zwykle prędkościówki od 100 do 500 km), staramy się wykonywać w okresie najsilniejszej termiki. Dlatego właśnie rezygnujemy na ogół z wczesnego startu, a przelot zaczynamy dopiero wówczas, gdy warunki termiczne zapewnią nam rozwinięcie odpowiedniej prędkości przelotowej. Końcówkę przelotu prędkościowego należy przy tym obliczać bardzo starannie w zależności od warunków meteorologicznych występujących na trasie.

Bardzo duże znaczenie w czasie wykonywania przelotu ma znajomość sytuacji meteorologicznej oraz umiejętność oceny warunków napotkanych na trasie. Dlatego też przed wyruszeniem na przelot szybownik powinien dokładnie przeanalizować komunikat meteorologiczny. Pozwoli mu to niejednokrotnie uniknąć przykrych niespodzianek. Trzeba przyznać, że prawidłową ocenę warunków meteorologicznych na trasie przelotu pilot wyrabia sobie dopiero po pewnym czasie, gdy sam zetknie się z różnymi przeciwnościami w czasie lotu. Aby więc jak najprędzej opanować umiejętność właściwego oceniania sytuacji meteorologicznej, trzeba w czasie przelotów stale obserwować zmiany warunków meteorologicznych oraz wynikające z tego zmiany warunków przelotowych.

h. Przeloty kombinowane

Wykonywanie przelotów otwartych i docelowych z wiatrem jest stosunkowo łatwe, a poza tym pociąga za sobą duże koszty związane z transportem powrotnym szybowca na lotnisko macierzyste. Bardziej

opłacalne zarówno pod względem treningu, jak i ze względów ekonomicznych są przeloty kombinowane, a mianowicie przeloty po trasach trójkątów 100, 200 i 300 km, przeloty docelowo-powrotne oraz przeloty docelowe o dużych załamaniach trasy — które ze względów treningowych nie różnią się w zasadzie od poprzednich, a stosunek ich długości do drogi transportu powrotnego jest bardzo korzystny.

Najodpowiedniejszą pogodą do wykonywania tego rodzaju przelotów jest bezwietrzna lub ze słabym wiatrem termika wypracowana, ewentualnie termika naniesiona, w której występują szlaki Cumulusów pozwalające na przebywanie dużych odcinków trasy lotem prostym. Powodzenie przelotu po trasie zamkniętej przy pogodzie wietrznej jest uzależnione w dużej mierze od osiągów szybowca, na którym zamierzamy lecieć oraz od prędkości pionowej wznoszeń. Jeżeli występują silne wznoszenia i szybowiec jest szybki (ma płaską biegunową przy dużych prędkościach), to może wykonywać przelot kombinowany nawet w przypadku dosyć silnego wiatru. Oczywiście wyniki uzyskane będą gorsze niż przy pogodzie bezwietrznej, ale przelot jest możliwy do wykonania.

Często w przypadku występowania szlaków Cumulusowych możliwe jest wykonanie długich przelotów docelowo-powrotnych. Przeloty te można również przy sprzyjających warunkach wykonywać częściowo lub całkowicie na prądach zboczowych.

Wykonując przelot docelowo-powrotny przebywamy na ogół jedną część trasy z wiatrem, a drugą pod wiatr (lub odwrotnie), ewentualnie obie części z wiatrem bocznym, natomiast podczas lotów po trasach trójkąta spotykamy różne kierunki wiatru w porównaniu do kierunków lotu. Wpływ wiatru na prędkość przelotową względem ziemi jest bardzo duży, dlatego też wybierając bok, od którego mamy zacząć wykonywanie trójkąta, należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

— procent długości odcinków przebywanych pod wiatr powinien być jak najmniejszy w porównaniu do całej długości trasy;
— etapy trudniejsze (terenowo lub termicznie) należy wykonywać w locie z wiatrem;
— odcinki trasy pod wiatr powinny być wykonywane w okresie najsilniejszej termiki i jeśli to możliwe — w locie prostym; zbliżając się do odcinka, który będzie wykonywany pod wiatr, należy jeszcze w locie z wiatrem wykręcić jak największą wysokość; wysokość ta pozwoli na przebycie pewnego odcinka drogi pod wiatr bez krążenia;
— odcinki końcowe (ostatni bok trójkąta) najlepiej wykonywać pod wiatr, ponieważ wysokość, jaką mamy na początku ostatniego boku (uzyskaną z wiatrem), wykorzystujemy prawie do zera (na mecie potrzebujemy tylko wysokość do zameldowania i wylądowania), zasada ta nie zawsze daje się zrealizować, ponieważ różne może być rozłożenie boków trójkąta w stosunku do kierunku wiatru na lotnisku.

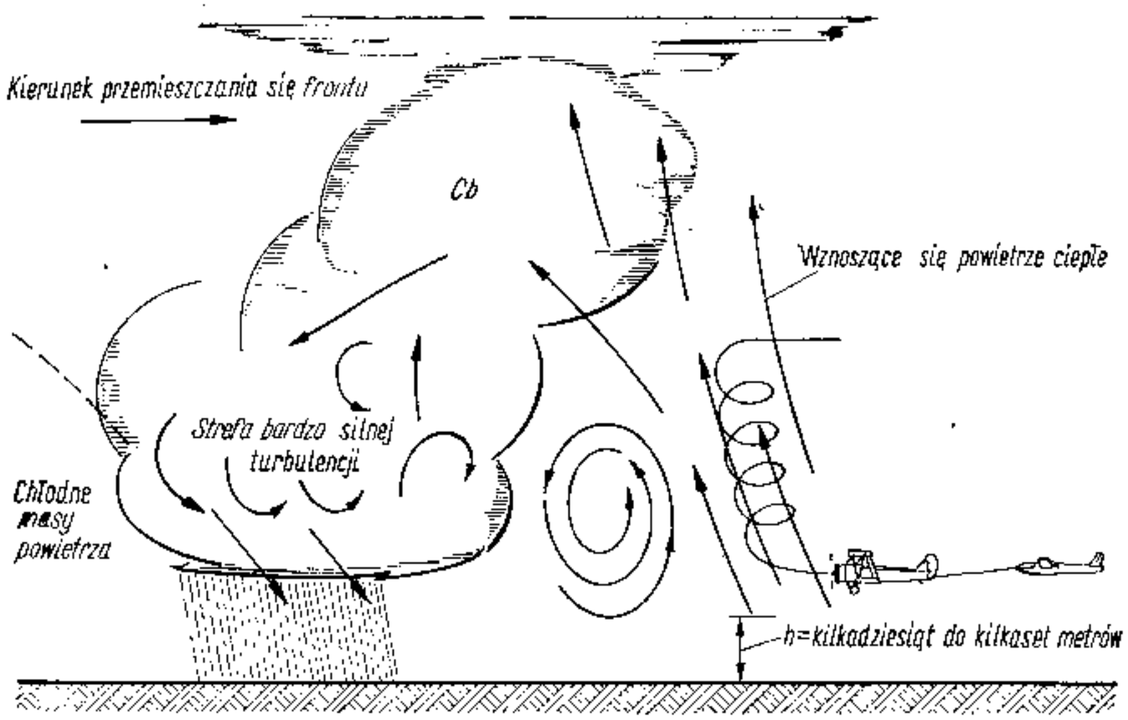
Poważne znaczenie w uzyskiwaniu dobrych prędkości przelotowych ma właściwy sposób zameldowania się na taśmie startu oraz wypracowanie właściwego dolotu. Należy dążyć do tego, aby po zameldowaniu się przy rozpoczynaniu trójkąta (które ze względów regulaminowych musi się odbyć na wysokości 1000 m) polecieć do z góry upatrzonego silnego komina, a nie tracić czasu na wyszukiwanie wznoszeń. W związku z tym dobrze jest przed zameldowaniem się wyszukać silne wznoszenie za taśmą w kierunku zamierzonego lotu, wykręcić w nim potrzebną wysokość, a następnie zameldować się i wrócić do tego samego komina. Nie zawsze jednak udaje się trafić w to samo wznoszenie. Dlatego przed opuszczeniem wyszukanego komina można naznaczyć go, np. plikiem ulotek ze starych gazet itp., które widoczne z daleka ułatwią nam powrót do niego.

i. Przeloty na czole burzy

Rzadko wykonywanym rodzajem przelotów są przeloty na czole burzy frontowej. Teoretycznie rzecz biorąc, przy szczęśliwym układzie frontu można w ten sposób wykonać bardzo długie przeloty. W praktyce jednak ze względu na nieregularność frontów, występowanie okluzji itp., trafienie na silne i regularne burze frontowe, które się ciągną na dużych odległościach, należy do rzadkości.

Dodatkową trudność stanowi dokładne uchwycenie najodpowiedniejszego momentu startu. Przed nadejściem frontowych chmur Cb prędkość wiatru maleje czasami prawie do zera. Z kolei w przodzie w odległości 1—2 km od zbliżającej się chmury szybko przemieszcza się wał burzowy, a przed tym wałem wznoszą się do góry masy ciepłego powietrza (rys. 10—14). Start do uchwycenia kontaktu z czołem burzy należy wykonać w momencie ciszy poprzedzającej burzę (lub nieco wcześniej), najlepiej w locie holowanym za samolotem, ponieważ mamy wtedy dużą swobodę w wyborze miejsca zetknięcia się ze wznoszeniem.

Regularne i silne wznoszenia przed wałem burzowym mają nieraz początek na bardzo małych wysokościach (rzędu kilkudziesięciu metrów). Zadanie szybownika polega więc na tym, aby dostać się w strefę wznoszeń przed wałem, a następnie po uzyskaniu wysokości co najmniej górnej strefy wału trawersować front w ten sposób, aby nie dać się wciągnąć w tylną duszącą i turbulencyjną część czoła burzy. Ze względu na dużą zwykle prędkość przemieszczania się chłodnego frontu (kilkadziesiąt km/h) istnieją duże możliwości wykonania na czole burzy odległego przelotu otwartego.



Rys. 10—14. Schematyczny przekrój burzowej chmury frontowej Cb

Sposób przeprowadzania lotu na czole burzy jest zbliżony do wykorzystywania szlaków Cumulusów (lot prosty we wznoszeniach). Pomimo to pilot decydujący się na przelot burzowy powinien być wszechstronnie przygotowany, zwłaszcza w lotach bez widoczności ziemi, ponieważ może się zdarzyć, że zostanie wciągnięty w chmurę burzową. Trzeba przy tym pamiętać, że frontowe chmury burzowe charakteryzują się bardzo silną turbulencją, a ponadto wyjście z nich jest utrudnione ze względu na dużą rozbudowę zachmurzenia wzdłuż frontu.

Końcówkę przelotu na czole burzy należy przeprowadzić w ten sposób, aby w przypadku zauważenia zanikania lub okluzji frontu uzyskać największą wysokość, którą następnie będzie można „zamienić" na kilometry lecąc z prędkością maksymalnego zasięgu. W miarę możliwości należy przy tym unikać lądowania w pobliżu frontu, zwłaszcza jeżeli jesteśmy zmuszeni przerwać przelot przed rozpadnięciem się burz frontowych. Wylądowanie bowiem w pobliżu aktywnego jeszcze frontu łączy się z niebezpieczeństwem uszkodzenia, a nawet zniszczenia sprzętu przez doganiające nas burze.

Jak już wspomniano na wstępie, z tego rodzaju przelotami piloci spotykają się bardzo rzadko, dlatego też dotychczasowe doświadczenia w tym zakresie są niewielkie.

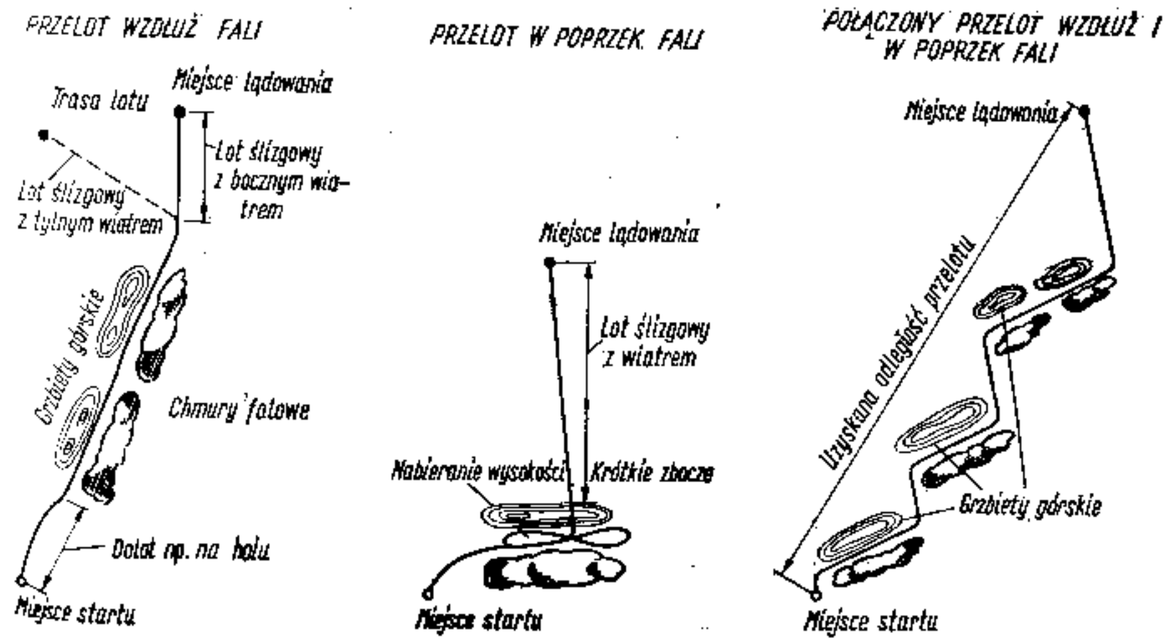
k. Przeloty falowe

Odrębne zagadnienie, ze względu na swoją specyfikę, stanowią przeloty falowe i dlatego omawiamy je oddzielnie, jakkolwiek z uwagi na rodzaj osiąganych tą drogą wyczynów można by je również zaliczyć do przelotów otwartych oraz docelowych.

Dotychczas w naszym kraju przeloty falowe należą jeszcze do rzadkości. Spowodowane jest to przede wszystkim nastawieniem całego potencjału naszego szybownictwa na latanie letnie (kiedy zjawiska falowe, umożliwiające wykonywanie lotów wyczynowych, występują u nas stosunkowo rzadko) oraz na traktowanie fali jako źródła uzyskiwania wysokości. Natomiast w niektórych krajach wykonano już wiele przelotów wykorzystując zjawiska falowe. W dużej większości były to przede wszystkim przeloty otwarte.

Zasadniczą różnicą w porównaniu do przelotów termicznych jest fakt, że przeloty falowe odbywają się z reguły na dużych wysokościach oraz że obszary wznoszeń wykorzystywanych w czasie przelotu są związane z terenem, a nie przemieszczają się z wiatrem. Obszar występowania fal jest bowiem ściśle związany z rzeźbą terenu i tylko przy bardzo szczęśliwym ukształtowaniu terenu (występujące co pewien czas równoległe pasma górskie lub jedno bardzo długie pasmo) istnieje możliwość występowania wznoszeń falowych na dużym obszarze.

Uzyskiwanie wysokości na fali, potrzebnej w tym przypadku do wykonania przelotu, zostało już omówione w punkcie 4 niniejszego



Rys. 10—15. Trzy zasadnicze rodzaje wykonywania przelotów falowych

rozdziału, powstała jeszcze do rozpatrzenia sprawa samego przelotu w warunkach falowych. Rozróżniamy przy tym trzy rodzaje przelotów falowych: wzdłuż fali, w poprzek fali oraz przeloty będące połączeniem tych dwóch rodzajów (rys. 10—15):

— przelot wzdłuż fali (wzdłuż przeszkody powodującej zafalowanie) polega na wykonywaniu lotu w kierunku poprzecznym do kierunku wiatru, cały czas w obszarze wznoszeń; wykonanie takiego przelotu jest możliwe tylko w przypadku długich grzbietów górskich;

— przelot w poprzek fali jest to lot ślizgowy (po uzyskaniu maksymalnej wysokości) z wiatrem przy ewentualnym wykorzystaniu fal wtórnych; należy zwrócić uwagę, że ze względu na duże prędkości wiatru bardzo wyraźnie wzrasta tu zasięg szybowca;

— przeloty będące połączeniem dwóch poprzednich rodzajów są możliwe tylko przy odpowiednim ułożeniu rzeźby terenu (równoległe pasma górskie); polegają one na wykorzystywaniu — w miarę możliwości — pierwszych (najsilniejszych) fal w celu uzyskania odpowiedniej wysokości na przeskok do następnego pasma; w takim przypadku nie wykorzystuje się wznoszeń falowych do końca, chyba że są one po uzyskaniu potrzebnej do przeskoku wysokości nadal silne; wykonując przeskok należy starać się osiągnąć pierwszą falę pochodzącą od pasma docelowego, a po jej osiągnięciu ponownie uzyskiwać wysokość lecąc wzdłuż fali do czasu, kiedy wysokość będzie wystarczająca do następnego przeskoku.

Należy zwrócić uwagę, że w przypadku przelotów falowych, tzn. wykonywanych przy wykorzystywaniu wznoszeń umiejscowionych związanych z terenem, prędkość przelotowa będzie nieco inna niż w przypadku przelotu termicznego. Z poprzednich naszych rozważań (metoda średnich prędkości przeskoku) wiemy, że:

$$v_p = \frac{S}{t_1 + t_2},$$

gdzie:

t_1 — czas potrzebny na uzyskanie wysokości w danym wznoszeniu $t_1 = \frac{h}{w_w}$;

t_2 — czas straty wysokości wskutek opadania własnego i dużeń podczas przebywania drogi S $t_2 = \frac{h}{w_{ow} + w_d}$.

W poprzednich rozważaniach nie rozpatrywaliśmy wpływu wiatr na czas przebycia drogi S, ponieważ cały układ przesuwał się wzgl dem ziemi z prędkością wiatru. Obecnie jednak ze względu umiejscowienie wznoszeń (związane ze źródłem zafalowanie) musi rozpatrywać oddzielnie wpływ wiatru na czas przelotu do następne

obszaru wznoszeń. W takim przypadku $S = (v_s + u) \cdot t_2$, czyli prędkość przelotowa w locie z umiejscowionymi wznoszeniami będzie wyrażała się następująco:

$$v_p = \frac{t_2 \cdot (v_s + u)}{t_1 + t_2}.$$

A podstawiając za t_1 i t_2 jak na str. 385 otrzymamy:

$$v_p = \frac{(v_s + u) \cdot w_w}{w_{ow} + w_d + w_w}.$$

Wzór powyższy może być stosowany również w przypadku przelotu przy wykorzystywaniu wznoszeń zboczowych, które są również wznoszeniem umiejscowionym. Trzeba jednak pamiętać, że ze względu na dużo trudniejsze w porównaniu do wznoszeń termicznych przewidywanie wielkości wznoszeń, jakie mogą być napotkane w locie falowym, powyższe rozważanie ma charakter poglądowy.

Przeloty falowe nie są obecnie tak popularne i częste jak przeloty termiczne, ale zjawiska falowe kryją w sobie jeszcze wiele niespodzianek i nierozpoznanych możliwości, zwłaszcza jeżeli chodzi o przeloty. Układy pasm górskich w wielu krajach oraz kierunki panujących tam wiatrów wskazują na występowanie dużych obszarów zafalowań powietrza i pozwalają przypuszczać, że odległości uzyskiwane obecnie w przelotach falowych wkrótce będą przekroczone.

1. Przeloty zespołowe

Szybkie wyszukiwanie i centrowanie prądów wznoszących (zwłaszcza termicznych) stanowi zasadniczy problem zarówno przelotów prędkościowych, jak i odległościowych. Wyniki prac nad różnego rodzaju kominoszukami (patrz rozdział 4, pkt 8) wskazują, że w przyszłości i ten problem zostanie rozwiązany. Ale ze względu na znaczny koszt takiego urządzenia należy przypuszczać, że kominoszuki nie będą jednak stosowane powszechnie i dlatego warto zapoznać się z innymi metodami ułatwiającymi szybkie wyszukiwanie oraz centrowanie wznoszeń. Dużą pomocą w tym względzie są przeloty zespołowe wykonywane w dwa do czterech szybowców. Większa liczba szybowców raczej utrudnia niż ułatwia zadanie. Wtedy bowiem przelot sprowadza się do tego, że kilku pilotów pracuje za całą grupę.

Podstawową zasadą przelotów zespołowych powinna być wspólna praca nad wyszukiwaniem wznoszeń. Nie można nazwać lotem zespołowym przelotu, w którym jeden lub kilku pilotów ponosi cały ciężar wyszukiwania kominów i naraża się na lądowanie w przygodnym terenie, gdy tymczasem reszta współtowarzyszy wyczekuje bezpiecznie z tyłu we wznoszeniach, aby przeskoczyć w znaleziony

i wycentrowany przez czołówkę komin. Tylko dobrze pojęta współpraca, koleżeństwo i wzajemne zaufanie mogą zapewnić powodzenie przelotu zespołowego. Należy przy tym pamiętać, że lecąc razem i penetrując wspólnie duże obszary można wykonywać przelot ze stosunkowo małym ryzykiem lądowania na trasie, a ponadto wynajdywać najsilniejsze kominy.

Najwięcej korzyści z przelotów zespołowych odnosi się w czasie przelotów na termice bezchmurnej, kiedy wznoszenia nie oznaczone Cumulusami są trudne do odszukania. Doświadczenia wskazują również, że w każdej pogodzie termicznej przy widzialności ziemi (bez wchodzenia w chmury) loty zespołowe dają bardzo dobre wyniki. Do przeprowadzania przelotów zespołowych z wykorzystywaniem wznoszeń chmurowych konieczne jest już wyposażenie szybowców w łączność radiową.

Wybierając się na przelot zespołem należy przestrzegać zasady, aby kwalifikacje pilotów były mniej więcej równe. Tylko bowiem wtedy będzie można wykonywać przelot bez opóźnień spowodowanych brakiem umiejętności poszczególnych partnerów, chyba że przelot jest traktowany jako nauka młodych przelotowców. Ponadto również bardzo ważne jest, aby własności szybowców były podobne.

Uczestnicy przelotu zespołowego powinni przed startem umówić się co do zasad porozumiewania oraz szyku w czasie przelotu. Jest to szczególnie ważne, jeżeli szybowce nie są wyposażone w radiostacje nadawczo-odbiorcze.

Zazwyczaj przelot zespołowy wykonuje się w następujący sposób. Po uzyskaniu wysokości w kominie szybowce lecą luźną ławą w zasięgu wzroku i penetrują teren, oczywiście na przestrzeni dużo większej niż by to mógł zrobić jeden szybowiec. Ten pilot, który natrafi na wznoszenie, rozpoczyna je centrować przy pomocy najbliższych kolegów. Jeżeli inni piloci w tym czasie nie znaleźli silniejszych wznoszeń, przylatują do wycentrowanego już komina, a następnie po wykorzystaniu wznoszenia cały zespół znów wyrusza ławą na dalsze poszukiwania.

W czasie przelotu zespołowego obowiązują takie zasady stosowania prawideł taktyki i techniki przelotowej, jak w przelocie indywidualnym — zależnie od wykonywanego zadania, warunków meteorologicznych oraz własności szybowców. Odległości między szybowcami w czasie poszukiwania kominów są zależne od częstotliwości występowania wznoszeń w danym dniu, widzialności oraz doskonałości szybowców — zwłaszcza na prędkościach przeskokowych.

Dysponując szybowcami o dużej doskonałości w zakresie dużych prędkości można sobie pozwolić na penetrację przelatywanego obszaru w większych odległościach jeden od drugiego, ponieważ zawsze mamy możność dolecieć szybko do kolegi, który znalazł wznoszenie — zwłaszcza jeżeli dodatkowo mamy do dyspozycji łączność radiową. Posiadając łączność radiową nie musimy stale obserwować innych szybowców, gdyż w każdej chwili możemy mieć informacje o aktualnej pozycji kolegów oraz o znalezionych przez nich wznoszeniach. Na szybowcach o mniejszej doskonałości zazwyczaj wykonuje się przeloty zespołowe lecąc w odległości kilku rozpiętości jeden od drugiego.

Dużą pomocą w lotach zespołowych jest oznaczanie odnalezionych wznoszeń pewną ilością kartek papieru, gazetami itp., które są widoczne z daleka i ułatwiają centrowanie temu kto je wyrzucił, jak również pokazują kolegom z zespołu miejsce, w którym znajduje się komin. Krążąc w kominie w liczbie kilku szybowców należy szczególną uwagę zwracać na bezpieczeństwo lotu oraz na nieprzeszkadzanie innym pilotom. Przede wszystkim trzeba więc stale obserwować dwa najbliższe szybowce (nad i pod sobą), co jest właśnie wadą zespołowego wykorzystywania kominów powodując rozproszenie uwagi przy centrowaniu wznoszenia.

Pomimo że przelot wykonuje się zespołowo, to jednak obowiązuje zasada indywidualnej nawigacji. Jest to uzasadnione tym, że może się przecież zdarzyć taki przypadek, kiedy pilot zapędzi się gdzieś w bok od trasy na małej wysokości, a koledzy nie mogą go ani zobaczyć, ani mu pomóc w ciężkiej sytuacji. Wtedy poza kłopotami związanymi ze znalezieniem wznoszenia dołączają się trudności nawigacyjne. A każdy pilot doskonale wie, że nie jest łatwo „wykręcać" na małej wysokości i jednocześnie odszukiwać się w nieznanym terenie.

Często przydaje się również współpraca zespołu przy meldowaniu się nad punktami zwrotnymi w czasie przelotów po trasach łamanych, po trasach trójkątów itp. Na przykład, jeżeli szybowiec dolatuje do punktu kontrolnego, za którym na trasie może się znajdować obszar pozbawiony wznoszeń, to w ostatnim kominie przed punktem należy uzyskać taką wysokość, aby można było zameldować się nad punktem, a następnie przelecieć nad nietermicznym odcinkiem trasy. W czasie zawodów jednak wysokość meldowania jest zwykle ograniczona do 1000 m (w celu ułatwienia pracy komisarzy sportowych na punkcie) i może się okazać, że po zameldowaniu nie wystarczy wysokości na przelecenie do następnej chmury. W takim przypadku opłaca się meldowanie przy współpracy zespołu.

Postępuje się wówczas w ten sposób, że wyszukuje się komin w pobliżu punktu. Następnie pierwszy rozpoczyna meldowanie pilot, który znajduje się najwyżej w kominie (oczywiście uzyskawszy uprzednio potrzebną do tego wysokość), a koledzy krążą nadal w kominie wyznaczając jego położenie. Po powrocie pierwszego pilota meldują się następni mając zawsze oznaczone wznoszenie, w którym mogą odzyskać wysokość potrzebną do kontynuowania dalszego lotu.

Można także przeprowadzać wspólny dolot do miejsca lądowania, np. w czasie konkurencji prędkościowej na zawodach, trzeba jednak zwracać baczną uwagę na inne szybowce, ponieważ istnieje duża możliwość zderzenia się przy nalocie na taśmę. Nieraz warto poczekać kilka sekund i przepuścić zbyt rozgorączkowanego kolegę, niż narazić się na niebezpieczeństwo wypadku. Kilka sekund w porównaniu do kilku godzin całego przelotu nie wpływa praktycznie na pogorszenie prędkości przelotowej.

Szczególną formą przelotu zespołowego jest przelot szybowca w towarzystwie jadącego za nim samochodu (zwykle wraz z wozem transportowym), oczywiście przy obustronnej łączności radiowej na szybowcu i w samochodzie. Tego rodzaju przeloty bywają stosowane w czasie zawodów, kiedy powrót szybowców z przelotu odbywa się przeważnie na wozach transportowych, a nie na holu.

Wbrew ogólnemu przeświadczeniu nie zawsze samochód podąża tylko za szybowcem kierowany wskazówkami pilota (przez radio) do miejscowości, do której zmierza szybowiec. Czasem przy słabych warunkach termicznych, gdy prędkość przelotowa jest niewielka i przelot odbywa się wzdłuż drogi, doświadczony pomocnik pilota znajdujący się w samochodzie może udzielić pilotowi cennych rad i wskazówek.

Lot bowiem przy słabych warunkach termicznych angażuje większość uwagi i wysiłków pilota na wykorzystywanie aktualnie znalezionych wznoszeń, a ograniczona widzialność — np. w przypadku zamglenia lub niskiej podstawy chmur — nie zawsze pozwala na właściwą ocenę z kabiny pilota warunków znajdujących się dalej na trasie. Tymczasem jadący samochodem koledzy mają dużo większy promień widzenia w górę na chmury i mogą pomóc pilotowi, podając np. charakter zachmurzenia wzdłuż trasy lub informacje o innych szybowcach znajdujących się w pobliżu. Taka współpraca wymaga dużego doświadczenia i odpowiedzialności ze strony podającego informacje z ziemi.

Oczywiście opisany wyżej rodzaj współpracy ziemia—szybowiec daje się zastosować tylko w niewielu przypadkach. Zwykle współdziałanie samochodu z szybowcem polega na tym, że szybowiec podaje ekipie w samochodzie swoją aktualną pozycję oraz spodziewany kierunek lotu. W tym celu samochód powinien wyjechać z lotniska jeszcze przed odejściem szybowca na trasę lub w trakcie odchodzenia, jeżeli chce być rzeczywiście pomocą w czasie przelotu oraz prędko dotrzeć do szybowca po wylądowaniu.

Przeloty zespołowe dają duże możliwości ułatwienia przelotu, a przy odpowiednim „zgraniu" zespołu pozwalają na osiągnięcie doskonałych wyników. Należy więc przypuszczać, że przyszłość długich przelotów szybowcowych należy właśnie do przelotów zespołowych.

m. Lądowanie w przygodnym terenie

Często się zdarza, że jesteśmy zmuszeni przez warunki meteorologiczne lub własny błąd do lądowania w terenie przygodnym. Dlatego też lecąc na przelot nie możemy zapomnieć, że sprzęt na którym lecimy jest drogi i dużo lepiej w przypadku trudnej sytuacji zdecydować się na lądowanie w polu, niż krążąc do ostatnich metrów uszkodzić lub nawet rozbić szybowiec.

Pole do lądowania należy w zasadzie wyszukiwać już będąc na wysokości 500—300 m. Powinno się ono znajdować z przodu i na trasie lotu w takiej odległości, aby wysokość po doleceniu do niego nie była mniejsza niż 200 m. Na tej wysokości możemy jeszcze spróbować poszukać wznoszeń w rejonie wybranego pola, a jeżeli nam szczęście nie dopisze, lądujemy. Wysokość 200 m nad wybranym polem jest konieczna w tym celu, aby w przypadku stwierdzenia z bliska, że teren ten jest nieodpowiedni, można było przelecieć na inne pole.

Przy tym wszystkim należy pamiętać, że poziom terenu lądowiska może być różny od poziomu lotniska. Nie można więc opierać się tylko na wskazaniach wysokościomierza, ale również na ocenie wzrokowej oraz na odczytach wysokości z mapy. Na lądowisko należy wybierać możliwie duże pasy pól, suchych łąk lub nieużytków, położone w łożu wiatru i pozbawione przeszkód terenowych na podejściu. Wielkość lądowiska powinna być dobierana zależnie od tego czy powrót z przelotu ma nastąpić na holu, czy też na wozie transportowym (patrz wymiary w rozdziale 12, pkt 5).

Wybierając pole do lądowania możemy je ocenić tylko na podstawie wyglądu z góry. W większości przypadków możemy odróżnić pole suche od podmokłego na podstawie barwy roślinności, której ciemna zieleń zazwyczaj świadczy o dużej wilgotności gruntu. Taka ocena czasami jednak zawodzi, tym niemniej pozwala mieć duży procent pewności, że po wylądowaniu nie będziemy mieli kłopotu z ugrzęźniętym w bagnie szybowcem. Podczas lądowania na łąkach i nieużytkach należy pamiętać, że z góry pole wydaje się dużo bardziej równe niż jest w rzeczywistości, jak również, że trudno jest dostrzec różne drobne przeszkody w postaci kołków, kamieni czy zarosłych trawą rowów. Dlatego też najlepiej jest lądować na rżyskach po zbożu lub na polach roślin motylkowych (koniczyna) niedawno skoszonych. Pola takie są z reguły dosyć duże, równe i bez niewidocznych przeszkód.

Nie tylko jednak wielkość i rodzaj pola mają znaczenie przy dobieraniu lądowiska. Ważne jest również to, aby było ono położone w pobliżu telefonu lub przynajmniej drogi, żeby było można prędko zawiadomić lotnisko o miejscu naszego lądowania. Czasami zdarza się także, że nie możemy wyszukać z powietrza pola, które nadawałoby

się do startu za samolotem. Wówczas wybieramy przede wszystkim lądowisko gwarantujące bezpieczne lądowanie, a pole do startu znajdujemy dopiero po wylądowaniu, na które z kolei przeciągamy szybowiec z pomocą okolicznej ludności.

Czasem zdarza się również, że nie mamy innego wyjścia i jesteśmy zmuszeni do lądowania na polach porosłych wysokim zbożem lub trawą. Lądowanie takie może grozić dużym niebezpieczeństwem uszkodzenia szybowca i dlatego — jeżeli tylko możemy — wybieramy każde inne pole, np. kartoflisko. W przypadku, gdy to nie jest możliwe i musimy lądować na zbożu, trzeba przestrzegać następujących zasad:

— lądowanie musi być wykonane pod wiatr, bez jakichkolwiek zwisów i ślizgów, ponieważ niesymetryczne zetknięcie się ze zbożem powoduje obrót szybowca i najczęściej kończy się złamaniem kadłuba;
— prędkość lądowania powinna być jak najmniejsza;
— lądować należy tak, jak gdyby powierzchnia wyznaczona przez kłosy zboża była powierzchnią lądowiska; wtedy szybowiec zagłębiając się w zboże będzie miał bardzo małą prędkość postępową, której wyhamowanie nie pociągnie za sobą przykrych skutków dla konstrukcji szybowca.

Po wylądowaniu należy możliwie przed nadbiegnięciem pierwszych widzów wysiąść z szybowca zabierając potrzebne rzeczy, a następnie zamknąć szczelnie kabinę. Praktyka wykazuje, że ludzie nie wiedząc jak się dostać do wnętrza nie ruszają nic, nawet jeżeli w pobliżu nie ma załogi. W przypadku, gdy lądowanie nastąpiło na polu uprawnym, należy przeciągnąć szybowiec na najbliższą łąkę lub nieużytek, aby uniknąć wydeptania pola przez przygodnych widzów. Po tych wstępnych czynnościach należy zakotwiczyć szybowiec za pomocą przyborów zabranych z lotniska, lub gdy takich nie ma — za pomocą kołków i lin pożyczonych u okolicznej ludności.

Dalszy tok postępowania pilota szybowcowego określają już specjalne przepisy, o których jest mowa w rozdziale 12, pkt 5 — *Wytyczne postępowania w terenie przygodnym.*

7. Loty na zawodach

Właściwie trudno jest podać jakąś receptę wykonywania lotów na zawodach. Każdy rodzaj regulaminu wymaga bowiem odmiennych koncepcji, a każda konkurencja indywidualnego podejścia zależnie od warunków meteorologicznych i terenowych oraz miejsca zajmowanego przez danego zawodnika. Istnieje jednak kilka ogólnych zasad, o których trzeba w czasie zawodów pamiętać:

— należy znać bardzo dobrze regulamin zawodów i przestrzegać go;
— nie stosować nowych metod techniki i taktyki przelotowej, których nie sprawdziło się w czasie treningu przed zawodami;
— starać się kończyć każdą konkurencję.

Dokładna znajomość regulaminu zawodów jest bardzo ważna, ponieważ zabezpiecza przed popełnieniem przekroczeń, czasem nawet bardzo drobnych, w stosunku do ograniczeń regulaminowych, co może spowodować w następstwie unieważnienie osiągniętego wyniku. Należy przy tym pamiętać, że ograniczenia regulaminowe na zawodach są z reguły ostrzejsze niż określone regulaminem sportowym FAI.

Ograniczenia te są wprowadzane przede wszystkim w celu łatwiejszego i jednoznacznego oceniania wyników oraz uproszczenia pracy komisji sportowej zawodów. Mogą przy tym one być różne zależnie od rodzaju regulaminu oraz intencji organizatorów zawodów. Tak na przykład określa się maksymalną wysokość meldowania na punktach zwrotnych (np. trójkątów), aby można było odczytać bez omyłek znaki rozpoznawcze szybowca itp.

Stosowanie w czasie zawodów uprzednio niewypróbowanych metod taktycznych i technicznych może się przykro odbić na wynikach, zwłaszcza u początkujących zawodników. Często bowiem zdarza się, że młody pilot startujący pierwszy raz na zawodach dowiaduje się o rzekomo „rewelacyjnych" metodach stosowanych przez starszych kolegów, dzięki którym podobno uzyskuje się świetne prędkości przelotowe. Słysząc o tych metodach zaczyna bezkrytycznie je stosować sam wg usłyszanej recepty, co w efekcie kończy się zwykle przygodnym lądowaniem i spadnięciem na dalsze miejsce w tabeli. Tymczasem taktykę zawodniczą zdobywa się i udoskonala przez obserwowanie innych pilotów na trasie oraz analizowanie uzyskanych przez nich wyników.

Przeglądając zestawienia wyników z różnych zawodów szybowcowych, rozgrywanych na podstawie różnych regulaminów, można się łatwo przekonać, że zawody wygrywają zawodnicy latający równo, a nie ci którzy zabłysnęli w jednej czy dwóch konkurencjach, a następnie nie ukończyli kilku innych. Aby latać równo, trzeba umieć latać w każdych warunkach. Nie jest bowiem sztuką uzyskiwanie doskonałych prędkości mając do dyspozycji silne warunki termiczne, ale dużą sztuką jest zakończyć konkurencję przy bardzo słabych wznoszeniach, czołowym wietrze oraz niskim pułapie wznoszeń itp.

Podstawowym założeniem pilota w czasie zawodów powinno być dążenie do skończenia każdej konkurencji. Należy przy tym oczywiście starać się, aby uzyskiwane wyniki nie były gorsze niż średnie. W ten sposób latający pilot będzie zawsze miał zapewnione miejsce w czołówce zawodów. Dlatego też przygotowując się do zawodów trzeba położyć nacisk głównie na treningi w słabych warunkach ter-

micznych. Miernikiem bowiem przygotowania zawodnika nie są wyśrubowane wyniki uzyskane na treningu przy silnych wznoszeniach, ale długie wymęczone godziny lotu w ciężkich warunkach. Zawody przecież są rozgrywane przy pogodzie bardzo różnej. Jak poza tym wskazuje doświadczenie, przy dobrej pogodzie wyniki większości zawodników są mniej więcej równe, natomiast zróżnicowanie wyników następuje głównie w konkurencjach odbywających się w pogodzie gorszej od przeciętnej.

Poza ogólnymi zasadami, do których powinien stosować się zawodnik, trzeba starać się jak najlepiej rozwiązywać taktycznie poszczególne konkurencje. Tak na przykład bardzo ważny jest czas odejścia na trasę (rozpoczęcie konkurencji), który będzie różny dla krótkiego przelotu szybkościowego oraz długiego przelotu otwartego lub docelowego.

W przypadku przelotów krótkich, w których punktowana jest prędkość przelotu, tak należy rozpocząć przelot, aby odbywał się on w czasie występowania najsilniejszych wznoszeń (zwykle koło południa). Latając więc w rejonie lotniska pilot zapoznaje się najpierw z rodzajami i zasięgiem wznoszeń oraz z częstotliwością ich występowania, a następnie oczekuje na odpowiedni moment do zameldowania się na taśmie. Odchodzi na przelot w momencie kiedy oceni, że zaczyna występować okres najsilniejszych warunków. Dobrze jest w takich przypadkach mieć z góry upatrzony komin w pewnej odległości za taśmą, aby na samym wstępie nie tracić cennych minut czasu.

Jeżeli dla odmiany zadaniem dnia jest długi przelot otwarty, należy odejść od lotniska możliwie wcześnie, aby mieć do dyspozycji jak najwięcej godzin lotu. Nie można jednak o tym decydować zbyt pochopnie, ponieważ przymusowe lądowanie tuż obok lotniska i ponowny start do konkurencji przysporzy większą stratę czasu, niż poczekanie na powstanie pewniejszych warunków do lotu.

Taktyki lotów na zawodach nie można jednak nauczyć się nawet z najlepszej książki, jaką można napisać na ten temat. Dlatego też niektóre wskazówki podane w niniejszym rozdziale poruszają tylko problemy lotów zawodniczych, o których trzeba pamiętać. Reszta należy już wyłącznie do pilota, jego umiejętności, treningu, spostrzegawczości oraz „zacięcia" zawodniczego.

Inż. *Andrzej Abłamowicz*

Rozdział jedenasty

Przepisy sportowe

Szybownictwo jest sportem i w związku z tym zostało ujęte w ramy organizacyjne nakreślające zasady ustanawiania rekordów, rozgrywania zawodów i klasyfikowania wyczynów. Na terenie międzynarodowym jedyną władzą sportową, której podlega szybownictwo, jest Międzynarodowa Federacja Lotnicza (Fédération Aéronautique Internationale, zwana w skrócie FAI), a w jej łonie Komisja Szybowcowa. Na terenie poszczególnych krajów władzę sprawują w zakresie sportu lotniczego Aerokluby, związki lub stowarzyszenia narodowe będące członkiem Międzynarodowej Federacji Lotniczej. W Polsce funkcje te pełni Aeroklub Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej.

Postanowienia pozwalające na sprawiedliwe i bezstronne sprawowanie władzy w zakresie sportu lotniczego zostały ujęte w całości i wydane jako Kodeks Sportowy. Aerokluby narodowe — członkowie FAI — obowiązane są do przestrzegania postanowień tego Kodeksu.

Kodeks Sportowy składa się z pięciu działów: ogólnego (1), dotyczącego balonów, sterowców, samolotów i wiropłatów (2), szybowców (3), modeli latających (4) i spadochronów (5). Komplet postanowień dotyczący którejkolwiek z dziedzin sportu lotniczego stanowią więc dział ogólny oraz dział dotyczący wyłącznie wspomnianej dziedziny. W przypadku szybownictwa komplet przepisów sportowych zawierają działy: pierwszy i trzeci.

Celem niniejszego rozdziału jest zapoznanie Czytelnika z zasadniczymi wymaganiami, które muszą być spełnione, aby wyczyn szybowcowy mógł być oficjalnie uznany. Zanim jednak przejdziemy do szczegółowych wymagań, warto zdać sobie sprawę, na czym polega wyczyn szybowcowy. Otóż do wyczynów szybowcowych zalicza się:
— rekordy — a więc:

1) odległość lotu w linii prostej — bez określenia miejsca lądowania (przelot otwarty);

2) odległość lotu w linii prostej z uprzednim określeniem miejsca lądowania (przelot docelowy);

3) odległość lotu w linii prostej do punktu docelowego i powrót do miejsca startu — bez lądowania (przelot docelowo-powrotny);
4) uzyskanie przewyższenia;
5) wysokość absolutna z przewyższeniem co najmniej 5000 m;
6) prędkość lotu na trasie trójkątnej o długości 100 km;
7) prędkość lotu na trasie trójkątnej o długości 300 km;
8) prędkość lotu na trasie trójkątnej o długości 500 km;

— wyczyny kontrolowane (homologowane — a więc:
1) prędkość lotu (docelowego) na trasie 100 km;
2) prędkość lotu (docelowego) na trasie 200 km;
3) prędkość lotu (docelowego) na trasie 300 km;
4) prędkość lotu (docelowego) na trasie 400 km;
5) prędkość lotu (docelowego) na trasie 500 km;

— loty warunkowe dla uzyskania odznak szybowcowych:
1) Srebrnej Odznaki Szybowcowej — lot długotrwały co najmniej 5 godzin, odległość przelotu co najmniej 50 km, przewyższenie co najmniej 1000 m;
2) Złotej Odznaki Szybowcowej — lot długotrwały co najmniej 5 godzin, odległość przelotu co najmniej 300 km, przewyższenie co najmniej 3000 m;
3) Złotej Odznaki Szybowcowej z Trzema Diamentami — odległość przelotu co najmniej 500 km, odległość przelotu docelowego co najmniej 300 km, przewyższenie co najmniej 5000 m.

Każdy z rekordów lub wyczynów kontrolowanych może być zatwierdzony w podkategorii szybowców jednomiejscowych *(D1)* albo wielomiejscowych *(D2)*. Dla podkategorii szybowców jednomiejscowych *(D1)* pilot musi znajdować się sam w szybowcu podczas lotu. Dla podkategorii szybowców wielomiejscowych *(D2)* w szybowcu muszą znajdować się co najmniej dwie osoby, przy czym ciężar pasażera (pasażerów) nie może być mniejszy niż 75 kG (na każdą z osób, wliczając w to spadochron i ekwipunek). W razie niewystarczającego ciężaru należy go uzupełnić balastem. Ponadto w szybowcu wielomiejscowym może znajdować się podwójny układ sterowania.

Każdy z rekordów lub wyczynów kontrolowanych może zostać zatwierdzony jako ogólny lub kobiecy, przy czym w przypadku rekordu lub wyczynu kobiecego całość załogi muszą stanowić kobiety.

Inaczej przedstawia się sprawa w przypadku lotów warunkowych dla uzyskania odznak szybowcowych. Wszystkie te loty muszą się przede wszystkim odbywać z jednoosobową załogą. Dotyczy to również przypadku, gdy pilot leci na szybowcu wielomiejscowym. W lotach warunkowych można natomiast w czasie jednego tylko lotu uzyskać dwa spośród wymaganych warunków (np. długotrwałość i przewyższenie). Wyjątek stanowi jedynie Złota Odznaka Szybowcowa z Trzema Diamentami, dla uzyskania której można wykonać wszystkie trzy wymagane wyczyny w jednym locie.

Aby wyczyn szybowcowy mógł być uznany, musi istnieć gwarancja, że został on wykonany ponad wszelką wątpliwość. Gwarancję taką można uzyskać jedynie wtedy, gdy zostanie jednoznacznie sprecyzowana definicja wyczynu oraz gdy jego wykonanie da się udowodnić. Omówmy teraz dokładniej obydwa te warunki.

Na wyczyn szybowcowy mogą się składać następujące wyniki: długotrwałość, odległość, wysokość lub przewyższenie i prędkość.

Długotrwałość — jest to czas lotu swobodnego, tj. czas mierzony od chwili, gdy szybowiec nie korzysta już ze środka, który umożliwił mu start, do chwili lądowania.

Odległość — jest to długość łuku koła zakreślonego na wysokości poziomu morza, łączącego pionowy rzut punktu startu i miejsca lądowania, przy czym środek tego koła znajduje się w środku kuli ziemskiej (łuk wielkiego koła albo ortodroma). W przypadku lotów po trasach składających się z dwóch lub więcej odcinków jest to suma łuków dotyczących poszczególnych odcinków. Dla określenia prędkości lotu odległością (którą dzieli się przez czas) jest długość łuku pomiędzy linią startu lotnego — będącą początkiem trasy oraz linią mety — będącą końcem trasy.

Wysokość — jest to największa wysokość ponad poziomem morza, na której znajdował się szybowiec, a którą zarejestrował barograf. Dotyczy to oczywiście jedynie wysokości uzyskiwanych w locie swobodnym. Jako rekordy wysokości absolutnej mogą być zatwierdzane jedynie takie wysokości, które poprzedziło przewyższenie wynoszące co najmniej 5000 m. Przy czym przewyższenie jest to różnica pomiędzy największą wysokością lotu a poprzedzającą ją najmniejszą wysokością, na której znajdował się szybowiec w locie swobodnym.

Prędkość — jest to iloraz odległości i czasu lotu, przy czym pomiar czasu rozpoczyna się, gdy przód szybowca przekracza linię startu lotnego i kończy się, gdy przód szybowca przekracza linię mety.

Wszystkie podane wyżej parametry wyczynu muszą być zmierzone dokładnie. Dlatego też do pomiaru czasu wymagany jest albo wykres barografu (w przypadku lotów długotrwałych), albo pomiar za pomocą zegarka ze wskazówką sekundnika (dla określenia prędkości). W tym ostatnim przypadku jednak taki zegarek powinien być sprawdzony z czasem urzędowym nie później niż na 3 godziny przed startem lub po wylądowaniu szybowca. Jeśli czas zmierzony ma być podstawą do określenia prędkości, to dokładność pomiaru musi gwarantować określenie prędkości z błędem nie przekraczającym 0,5%.

Jedynie w lotach długotrwałych, stanowiących warunek uzyskania odznaki szybowcowej, na pokładzie szybowca może nie być barografu. W takim jednak przypadku komisarz sportowy kontrolujący

wyczyn musi być obecny przy starcie szybowca oraz przy jego lądowaniu, gwarantując tym ciągłość lotu.

Wysokość lotu mierzy się tylko na podstawie wykresu barografu, przy czym do odczytania wysokości z zapisanego przez barograf ciśnienia służą tablice atmosfery wzorcowej. Całkowity błąd pomiaru wysokości nie może przekraczać 1%.

Pomiary odległości powinny być dokonywane z dokładnością nie mniejszą niż 0,5 km.

Spośród wszystkich przyrządów służących do pomiarów wyczynu szybowcowego na specjalną uwagę zasługuje barograf. Dlatego też Kodeks Sportowy poświęca mu wiele uwagi. Barograf powinien mieć aktualny wykres skalowania (do lotów warunkowych — nie dawniej niż 12 miesięcy, dla rekordów — skalowanie zaraz po próbie rekordu), a zabudowany na szybowiec powinien być podłączony do obwodu ciśnienia statycznego instalacji przyrządów pokładowych. Jeżeli z jakichkolwiek powodów podłączenie barografu do instalacji obwodu statycznego nie jest możliwe, to przynajmniej powinno być zagwarantowane, aby barograf z tego powodu nie wskazywał większych wysokości lotu niż są one w rzeczywistości. Ponadto barograf powinien być tak umieszczony w szybowcu, aby pilot nie miał możności zmieniać jego wskazań.

Przed startem do lotu warunkowego lub rekordowego barograf musi zostać zaplombowany przez komisarza sportowego i tylko komisarz sportowy może go po wylądowaniu rozplombować. Po wyjęciu barogramki powinna ona zostać opisana przez komisarza i utrwalona. W opisie muszą być podane wszystkie dane charakterystyczne dotyczące przyrządu, pilota, szybowca oraz zarejestrowanego lotu. Oprócz tego wszelkich poświadczeń stwierdzających okoliczności wykonanego wyczynu szybowcowego mogą udzielać jedynie komisarze sportowi lub w ich zastępstwie komendanci lotnisk wojskowych, zawiadowcy lotnisk cywilnych oraz personel kontroli ruchu lotniczego.

Zależnie od rodzaju wyczynu mogą być potrzebne rozmaite poświadczenia i tak na przykład:

— m i e j s c a s t a r t u — tj. miejsca, z którego rozpoczął się lot za pomocą dowolnego środka startu;
— p u n k t u s t a r t u — tj. pionowego rzutu punktu, w którym szybowiec oddzielił się od urządzenia startowego (w przypadku startu lotnego — miejsca wyłożenia linii startu);
— w y s o k o ś c i s t a r t u — tj. wysokości oddzielenia się szybowca od urządzenia startowego (poświadczenie nie jest potrzebne, gdy można je jednoznacznie określić z zapisu barografu);
— g o d z i n y s t a r t u — tj. godziny, w której szybowiec przestał korzystać ze środka startu, a w przypadku startu lotnego — gdy jego przód (szybowca) przekroczył linię startu lotnego;

— p u n k t u l ą d o w a n i a — tj. miejsca, w którym szybowiec zatrzymał się po wylądowaniu;
— p r z e l o t u — tj. stwierdzenia, że szybowiec minął linię wyznaczającą koniec trasy;
— w y s o k o ś c i l ą d o w a n i a — tj. wysokości punktu lądowania mierzonej ponad wysokość poziomu morza;
— g o d z i n y l ą d o w a n i a — tj. godziny, w której szybowiec zatrzymał się na ziemi;
— g o d z i n y p r z y l o t u — tj. godziny, w której szybowiec przeleciał linię wyznaczającą koniec trasy;
— o s i ą g n i ę c i a p u n k t u d o c e l o w e g o — tj. stwierdzenia, że szybowiec wylądował w promieniu nie większym niż 1000 m od określonego uprzednio punktu docelowego lub miejsca startu w przypadku przelotu docelowo-powrotnego;
— o s i ą g n i ę c i a p u n k t u z w r o t n e g o — tj. stwierdzenia, że szybowiec przeleciał nad punktem zwrotnym;
— z g ł o s z e n i a p u n k t u d o c e l o w e g o — tj. pisemnego stwierdzenia o obraniu wymienionego punktu docelowego przed startem, przy czym zaświadczenie takie musi zawierać podpis pilota i komisarza sportowego.

Dodatkowego wyjaśnienia wymaga jeszcze sprawa określenia wysokości startu i wysokości lądowania. Dane te są potrzebne do stwierdzenia, czy wysokość startu nie przewyższa nadmiernie wysokości lądowania. Kodeks sportowy bowiem przewiduje, że w y s o k o ś ć s t a r t u (odczepienia) nie może przekroczyć wysokości lądowania więcej niż o 1000 m. W przypadku, gdy różnica wysokości przekracza wartość 1000 m, zalicza się przelecianą odległość jednak pomniejszając ją o nadwyżkę wysokości (ponad 1000 m) pomnożoną przez 80. Ma to na celu wyeliminowanie ewentualnych korzyści wynikających z wykorzystania niskiego położenia miejsca lądowania w stosunku do miejsca startu na dokonanie lotu ślizgowego *).

Oprócz poświadczeń opisanych powyżej, bez względu na to jakiego rodzaju wyczynu dokonano, każdy p r o t o k ó ł w y c z y n u powinien zawierać: nazwisko i imię pilota, datę lotu, typ i znaki rejestracyjne szybowca, typ i numer barografu, podpis pilota. Jeżeli uzyskany wynik pretenduje do uznania go jako rekordu powinien być zgłoszony do Zarządu Głównego Aeroklubu PRL w terminie 1 dnia, a jego cała dokumentacja nadesłana w ciągu 8 dni od daty ustanowienia.

---

*) W chwili opracowywania tekstu niniejszego rozdziału rozpatrywany jest projekt dalszego ograniczenia dopuszczalnej różnicy pomiędzy wysokością startu i wysokością lądowania przy przelotach do Srebrnych Odznak Szybowcowych.

Przy tak krótkich odległościach przelotów (50 km) nawet 1000 m daje znaczny udział lotu ślizgowego w całym przelocie.

Warto jeszcze wspomnieć o kilku szczegółach dotyczących zagadnień związanych ze zdobywaniem odznak szybowcowych, zwłaszcza że są to sprawy, które dawniej przedstawiały się inaczej niż obecnie. Lot długotrwały według poprzednich wymagań powinien się zawsze zakończyć w miejscu startu. Obecnie nie jest to wymagane, pod warunkiem jednak, aby ciągłość lotu była zagwarantowana. Podobnie zresztą dawne wymagania dotyczące przelotów warunkowych określały, aby odległość tych przelotów była mierzona w linii prostej od miejsca startu. Obecnie przeloty warunkowe do Złotej Odznaki Szybowcowej oraz do Złotej Odznaki Szybowcowej z Diamentami można również odbywać po tracie łamanej lub po trasie trójkąta, z tym jednak zastrzeżeniem, że żaden z boków nie może być krótszy niż 28% długości całej trasy.

Rejestr Srebrnych i Złotych Odznak Szybowcowych oraz Złotych Odznaki z Diamentami prowadzą aerokluby narodowe (u nas Aeroklub PRL). Niezależnie od tego FAI prowadzi rejestr wszystkich Złotych Odznak z Trzema Diamentami przyjmując kolejną numerację według daty uzyskania przez pilota ostatniego z trzech diamentów.

Według założeń — co dwa lata rozgrywane są Szybowcowe Mistrzostwa Świata, przy czym ich organizację FAI powierza wybranemu aeroklubowi narodowemu. Mistrzostwa rozgrywane są „w klasie otwartej", w której szybowcom biorącym w jej ramach udział nie stawia się żadnych ograniczeń oraz w klasie „standard", w której szybowce nie mogą mieć rozpiętości większej niż 15 m, a ponadto nie mogą mieć mechanizacji skrzydła (poza hamulcami aerodynamicznymi), ani chowanego podwozia, jak również nie mogą być wyposażone w radio (patrz również rozdział 3, pkt 1e).

Tytuły Mistrza Świata w szybownictwie przyznawane są równolegle w obydwu klasach. Warunkiem odbycia się mistrzostw jest zgłoszenie do nich przynajmniej dziesięciu aeroklubów narodowych, przy czym co najmniej sześć z nich musi wziąć udział w zawodach. Piloci zgłoszeni do udziału w mistrzostwach muszą posiadać co najmniej Srebrną Odznakę Szybowcową. Same mistrzostwa trwają w zasadzie 14 dni, przy czym co najmniej cztery z nich, lecz nie więcej niż osiem dni, jest przeznaczone na rozgrywanie konkurencji. W każdym z wymienionych dni może być wyznaczona tylko jedna konkurencja, która z kolei może być zaliczana do ogólnej klasyfikacji tylko wtedy, gdy każdy z zawodników miał możność wykonania przynajmniej jednego startu.

Program mistrzostw obejmuje konkurencje obowiązkowe i dodatkowe. Do konkurencji obowiązkowych należą przelot otwarty i przelot prędkościowy docelowy lub docelowo-powrotny. Konkurencje dodatkowe natomiast mogą stanowić: lot na odległość po trasie ustalonej przez organizatora oraz przeloty prędkościowe na trasach trójkątów ustalonych przez organizatora. Jeżeli liczba zaliczonych konkurencji w którejś z klas jest mniejsza od trzech różnych konkurencji (dwie obowiązkowe i jedna dodatkowa), to tytuł Mistrza Świata w tej klasie nie zostaje przyznany.

Punktacja mistrzostw musi opierać się na podanych niżej zasadach:

— liczony jest tylko najlepszy lot zawodnika w konkurencji dnia;
— maksymalna liczba punktów otrzymanych w konkurencji dnia za najlepszy wyczyn jest równa stałej „C" i może wynosić np. 1000;
— w konkurencjach złożonych, np. przelot docelowy prędkościowy, wartość stałej „C" zostanie podzielona pomiędzy obydwie części konkurencji złożonej (odległości i prędkości);
— do obliczenia liczby punktów dla zawodników, którzy nie zdobyli maksimum, ustala się funkcję liniową pomiędzy zerem a najlepszym wyczynem, z tym że zero odpowiada najmniejszemu wyczynowi, za jaki mogą być przyznane punkty;
— w przypadku, gdy żaden zawodnik nie wykona w pełni konkurencji, liczba punktów odpowiadających stałej „C" zostanie przyznana za wyczyn najbardziej zbliżony do założonego zadania;
— zwycięzcą zostaje pilot, który otrzyma największą łączną liczbę punktów w klasyfikacji swojej klasy.

Wiadomości zawarte w tym rozdziale są oparte na Kodeksie Sportowym FAI, jednak zostały przedstawione w dużym skrócie. Dlatego też nie zawierają wszelkiego rodzaju szczegółów: jak np. sposobu zaliczania przelecianej odległości — jeśli lot odbywał się nie ściśle według wyznaczonej trasy, dokładnego wykazu punktów poszczególnych poświadczeń wyczynu szybowcowego oraz wielu ogólnych sformułowań i przepisów, które pilotowi nie są lub są bardzo rzadko potrzebne. Zrobiono w tym przypadku założenie, że przy ustanawianiu wyczynu, tzn. rekordu lub lotu warunkowego, i tak musi być obecny komisarz sportowy, który zna niezbędne formalności związane z zarejestrowaniem wyczynu.

Natomiast wszystkich Czytelników, którzy chcieliby dokładnie zapoznać się z obowiązującym tekstem przepisów sportowych, odsyłamy do wydanego przez Aeroklub PRL Kodeksu Sportowego FAI, dział I — *Ogólne postanowienia regulaminowe*, dotyczące wszystkich dyscyplin sportu lotniczego oraz dział III — Szybownictwo, klasa D — *Regulaminy ustanawiania rekordów i przyznawania odznak szybowcowych.*

Mgr inż. *Irena Kaniewska*

Rozdział dwunasty

Organizacja i bezpieczeństwo lotów

Lotnictwo jest i będzie sportem całkowicie bezpiecznym, jeśli tylko będą zachowane podstawowe warunki odpowiedniej organizacji i dyscypliny w czasie wykonywania lotów. Zapewnienie więc bezpieczeństwa jest kluczowym zagadnieniem związanym ze sportem lotniczym.

Istniejące obecnie przepisy wykonywania lotów powstały w oparciu o długoletnie doświadczenia, często przykre, a nieraz nawet tragiczne. Dlatego też w obecnej chwili należy do maksimum wyciągnąć wnioski z poprzednich zdarzeń, tak aby nie dopuścić do niepotrzebnego narażania życia ludzkiego oraz zbędnego marnowania sprzętu.

Dobra znajomość przepisów dotyczących bezpieczeństwa lotów zapewni w wielu przypadkach automatyczną prawidłowość odruchów, tak cenną w momentach, gdy ułamki sekundy decydują o całości szybowca lub nawet życiu pilota. W takich momentach nie ma czasu na przeprowadzanie całego toku rozumowania i zastanawianie się nad wyborem sposobu postępowania.

Przytłaczająca większość wypadków lotniczych spowodowana została bądź to uchybieniem w organizacji, bądź to nieposzanowaniem obowiązujących przepisów wykonywania lotów. W lotnictwie nie ma bowiem rzeczy „mało ważnych". Czasami nawet drobne niedopatrzenie staje się przyczyną poważnego wypadku. Dlatego właśnie tępi się w lotnictwie z całą surowością również i wypadki niezaistniałe, czyli tak zwane „przesłanki" do wypadków. To znaczy, że pociąga się do odpowiedzialności również osoby winne powstawania okoliczności, które nawet nie spowodowały, lecz tylko mogłyby spowodować wypadek.

Niestety, jak dotychczas, przekraczanie obowiązujących przepisów odbywa się najczęściej świadomie. Bywa na przykład tak, że zbyt ufny w swoje siły pilot chcąc popisać się odwagą celowo naraża całość sprzętu, swoje życie, a często nawet i życie osób trzecich — dla wątpliwej przyjemności pokazania swoich umiejętności. Takie popisy z reguły kończą się mniej lub więcej poważnym wypadkiem.

1. Obsługa startu

Właściwe kierownictwo lotów sportowych na terenie lotniska sportowego leży w rękach kierownika lotów, którym jest szef wyszkolenia lotniczego lub wyznaczony przez niego najbardziej doświadczony instruktor. Kierownikowi lotów podlegają wszystkie osoby znajdujące się na polu startowym, a do jego dyspozycji pozostaje personel służby startowej, do którego należą: dyżurny startu, startowy, finiszer, chronometrażysta oraz w przypadku braku łączności radiowej lub przewodowej — łącznik.

Do obowiązków dyżurnego startu należy organizacja ruchu na starcie oraz dopilnowanie prawidłowego funkcjonowania służby startowej. Startowy przebywa w miejscu skąd startują statki powietrzne i daje im odpowiednie sygnały za pomocą chorągiewek lub świateł. Finiszer spełnia odpowiednie funkcje sygnalizacyjne przy znaku lądowania, tzn. w miejscu gdzie lądują statki powietrzne. Chronometrażysta zapisuje czasy startów i lądowań na liście wzlotów, zaś łącznik pozostaje do dyspozycji kierownictwa startu i przekazuje odpowiednie wiadomości.

Kierownik lotów oraz wszystkie osoby służby startowej powinny w czasie pełnienia obowiązków mieć na rękawach opaski: kierownik lotów — czerwoną, dyżurny startu — niebieską, startowy i finiszer — białe, zaś chronometrażysta i łącznik — żółte.

W przypadku, gdy na jednym starcie są wykonywane loty przez małą liczbę szybowców (jeden lub dwa) służba startowa może się składać wyłącznie z dyżurnego startu, który będzie wówczas spełniał równocześnie funkcję startowego, finiszera oraz chronometrażysty.

W czasie wykonywania lotów muszą się znajdować na starcie lub w pobliżu urządzenia przeciwpożarowe oraz samochód sanitarny, jak również osoba, która może udzielić pierwszej pomocy w razie wypadku.

Oprócz kierownictwa lotów władzami sprawującymi nadzór nad ruchem w powietrzu oraz bezpieczeństwem lotów są: zawiadowca lotniska lub portu lotniczego oraz służba kontroli ruchu lotniczego. W przypadku szybownictwa działalność ich nabiera znaczenia, zwłaszcza przy organizacji przelotów w skali krajowej oraz lotów za granicę państwa. Służba kontroli ruchu lotniczego koordynuje bowiem cały ruch lotniczy nad obszarem PRL i z nią należy uzgadniać wszelkie zaplanowane przeloty.

Pilot zgłasza się do zawiadowcy portu lotniczego bezpośrednio przed odlotem na przelot i zaraz po wylądowaniu oraz dokonuje odpowiednich formalności.

2. Organizacja startu i lotów w rejonie lotniska

Znajomość rozplanowania startów na lotnisku oraz organizacji lotów w jego rejonie jest rzeczą zasadniczą dla zachowania warunków bezpieczeństwa. Piloci szybowcowi muszą, na równi z pilotami samolotowymi, doskonale orientować się w podziale lotniska, umiejscowieniu stref pilotażu, przeszkód na podejściu do lądowania, miejsc nadających się do przymusowego lądowania w pobliżu lotniska itp.

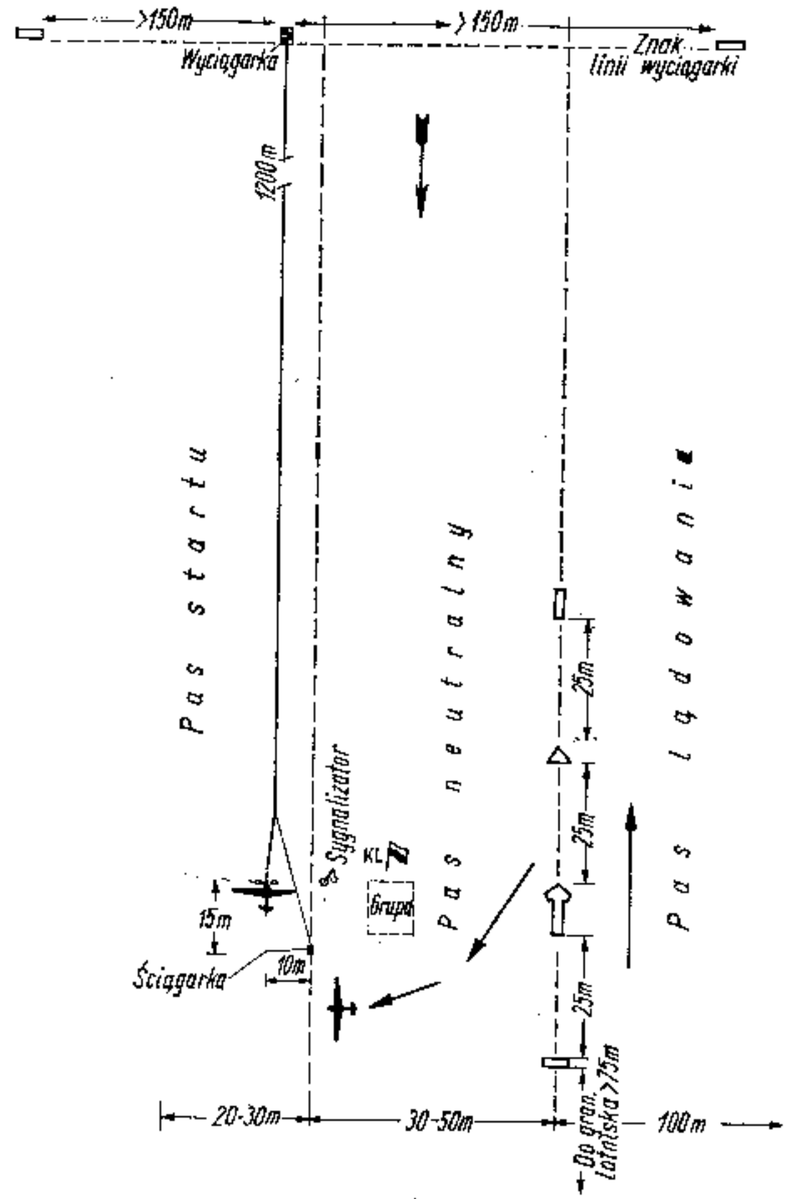
Najczęściej lotniska sportowe są użytkowane równocześnie przez grupę szybowcową i grupę samolotową. W związku z tym musi istnieć dokładny podział lotniska na rejon lotów szybowcowych i rejon lotów samolotowych, przeprowadzony w sposób możliwie bezkolizyjny.

Część lotniska użytkowana przez sprzęt latający nazywa się polem wzlotów. Pole wzlotów, ograniczone białymi znakami, gwarantuje, że jego powierzchnia jest wyrównana i że na tym obszarze usunięte są wszystkie nierówności stanowiące przeszkodę przy starcie oraz przy lądowaniu samolotu czy szybowca. Niektóre lotniska sportowe i szybowiska mają przy tym na środku swojej powierzchni oznaczone duże białe koło z wpisaną nazwą miejscowości.

Kierunek startu i lądowania wyznacza się na ogół pod wiatr, przy czym start samolotowy jest przeważnie tak usytuowany, aby samoloty mogły latać z lewym kręgiem. W związku z tym do dyspozycji szybowników pozostawiona jest przeważnie prawa część lotniska i szybowce — w takim przypadku — muszą wykonywać prawy krąg. Oczywiście jeżeli całe lotnisko stoi do dyspozycji szybowników, kierunek kręgu może być wyznaczony przez kierownictwo lotów dowolnie zależnie od warunków terenowych i meteorologicznych.

Przede wszystkim należy zdać sobie sprawę z tego, co oznacza pojęcie „start". A więc start składa się z pasa startowego, na którym startują samoloty lub szybowce, pasa lądowania — gdzie one lądują oraz z pasa neutralnego, który służy do transportu sprzętu. Na pasie neutralnym znajduje się również tak zwana stojanka, tj. miejsce gdzie sprzęt latający czeka na dyspozycje, oraz wydzielony kwadrat ograniczony czerwonymi chorągiewkami, w którym przebywają piloci, obsługa startu i ewentualnie zaproszeni goście. Przed kwadratem stoi zwykle wbita w ziemię chorągiew o barwach państwowych, która m. in. ma za zadanie określać kierunek wiatru. Pod chorągwią tą mieści się stanowisko kierownika lotów, któremu po przybyciu na start należy się bezzwłocznie zameldować.

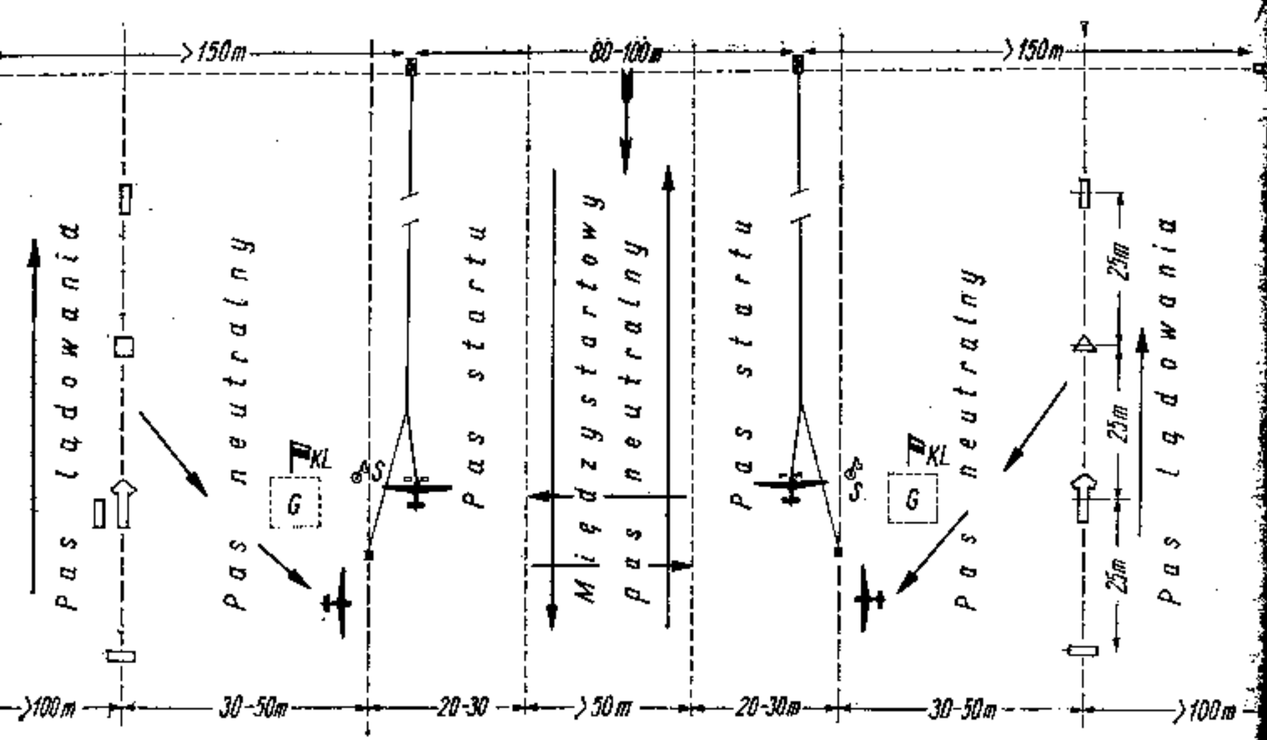
Poruszanie się po lotnisku nie jest dowolne. Zasadniczo należy obchodzić pas startowy od tyłu, a pas lądowania od przodu. Jednakże w przypadku, gdy żaden szybowiec nie podchodzi w tym czasie do lądowania, można najkrótszą drogą i szybkim krokiem prze-



Rys. 12—1. Schemat rozłożenia startu szybowcowego za wyciągarką

ciąć pas lądowania bacznie zwracając uwagę na to, czy obsługa startu nie daje znaków czerwoną chorągiewką lub wystrzałem rakiety. W razie takiego sygnału należy jak najszybciej wycofać się z pasa lądowania.

Na podobnych zasadach dopuszczalne jest również szybkie przejście przez pas startowy na starcie samolotowym lub szybowcowym na holu. Niedopuszczalne natomiast jest przechodzenie przez pas startowy przy lotach za wyciągarką, ponieważ rozciągnięta linka wyciągarkowa po uruchomieniu wyciągarki lub ściągarki może pokaleczyć każdego, kto znajduje się na pasie startowym.



Rys. 12—2. Schemat rozłożenia dwóch startów szybowcowych za wyciągarkami

Ogólna zasada poruszania się na polu wzlotów polega na grupowym przechodzeniu zastrzeżonych pasów pod przewodnictwem pilota lub innej upoważnionej osoby.

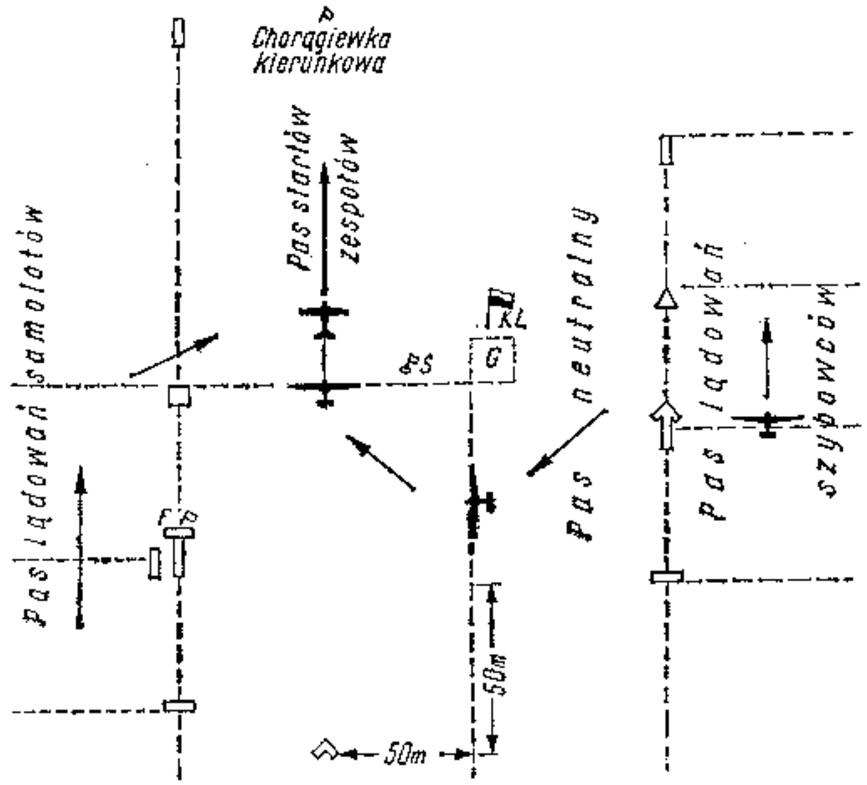
Po tych uwagach ogólnych przypatrzmy się bliżej rozłożeniu startu szybowcowego za wyciągarką, którego schemat podaje rysunek 12—1.

Jak widać z tego rysunku, jako znak startowy i miejsce lądowania szybowców wykłada się strzałę z białego płótna, której wymiary podane zostały dalej na rysunku 12—9. Start szybowców odbywa się tu po lewej stronie strzały, zaś lądowanie po jej prawej stronie.

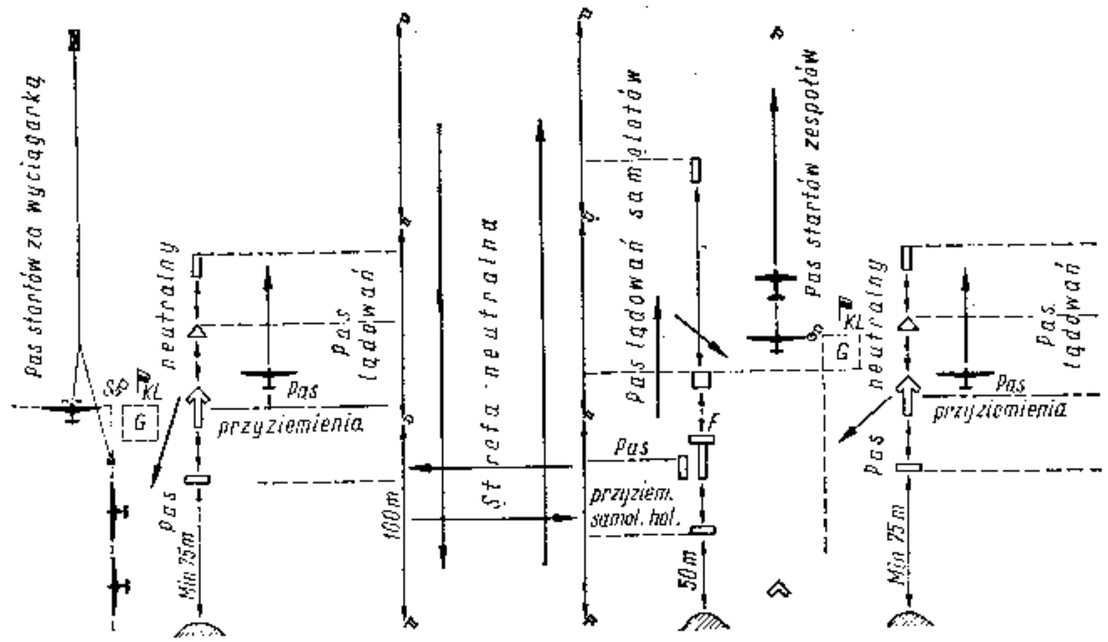
Usytuowanie znaku strzały podane zostało i omówione w następnym ustępie dotyczącym znaków i sygnałów stosowanych na lotnisku.

W przypadku, gdy na lotnisku lata większa liczba szybowców, a jego rozmiary na to pozwalają, można rozłożyć dwa równoległe starty za wyciągarkami (patrz rys. 12—2). W przypadku „klasycznym" szybowce latają wówczas po dwóch kręgach nadlotniskowych: z lewego startu — lewy krąg, z prawego — prawy krąg. Jeżeli jednak przeszkody wokół lotniska na to nie pozwalają, kierownik lotów może zarządzić jeden wspólny krąg: w lewo lub w prawo. Wówczas szybowce po wykonaniu lotu po kręgu lądują już na swoich pasach lądowania.

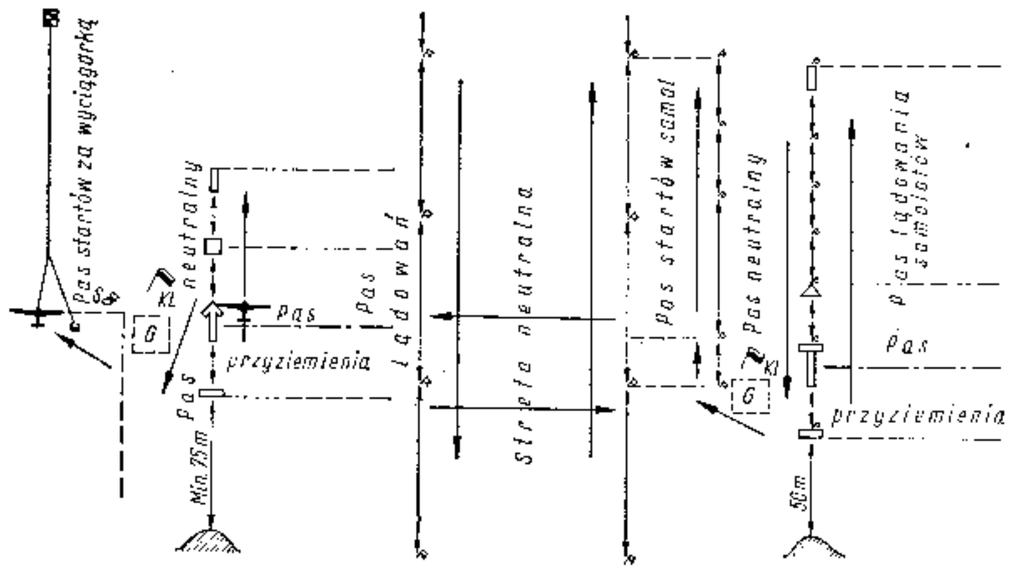
Schemat startu szybowcowego za samolotem przed-



Rys. 12—3. Schemat rozłożenia startu szybowcowego za samolotem



Rys. 12—4. Schemat rozłożenia dwóch startów szybowcowych — za wyciągarką i za samolotem



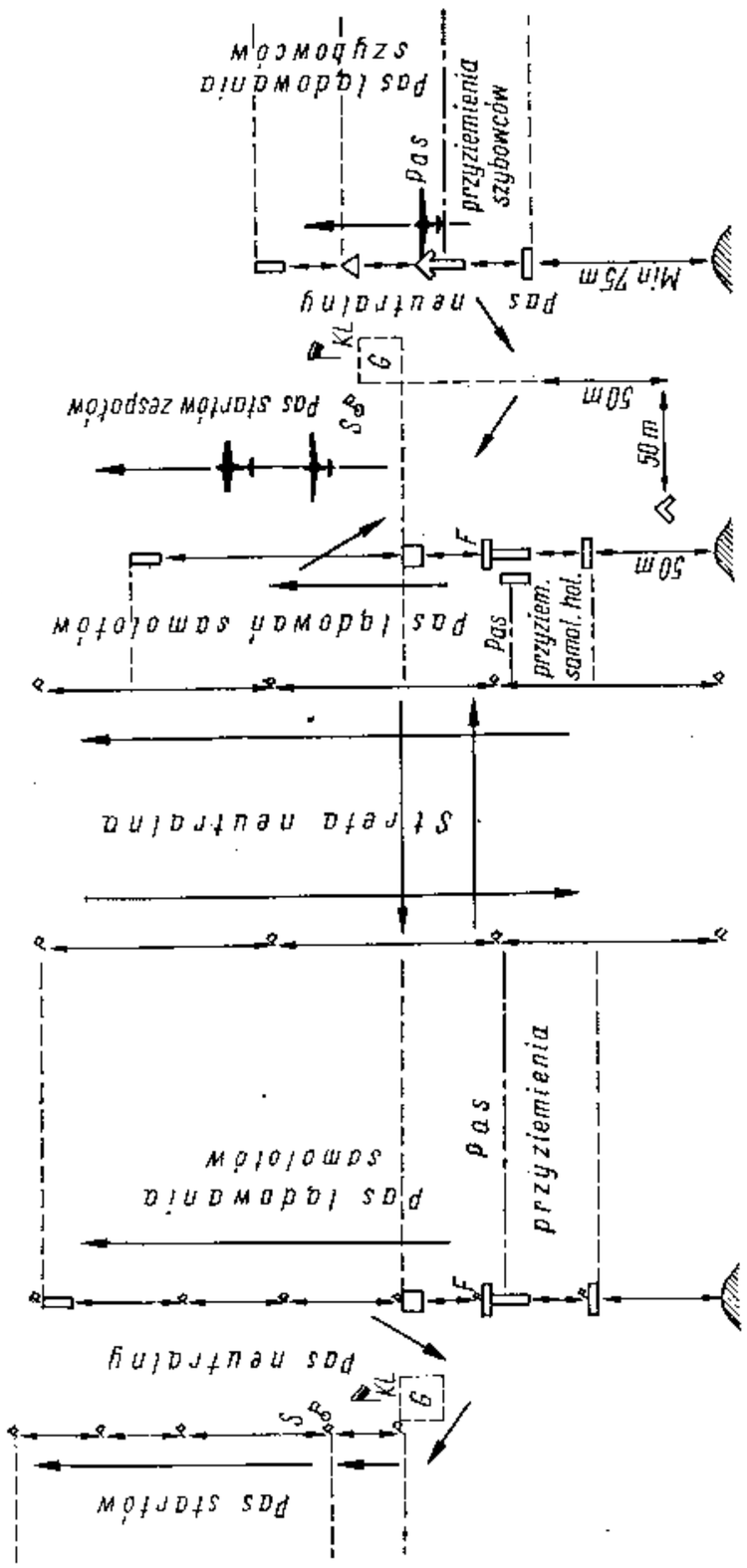
Rys. 12—5. Schemat rozłożenia dwóch startów — samolotowego oraz szybowcowego za wyciągarką

stawiony został na rysunku 12—3. W tym przypadku wyłożona jest strzała służąca jako znak i miejsce lądowania dla szybowców oraz znak „T" służący jako znak i miejsce lądowania dla samolotów. Zespół samolot-szybowiec startuje po lewej stronie strzały i pasa neutralnego. Lądowanie szybowca odbywa się przeważnie po prawej stronie strzały, zaś lądowanie samolotu po lewej stronie znaku T.

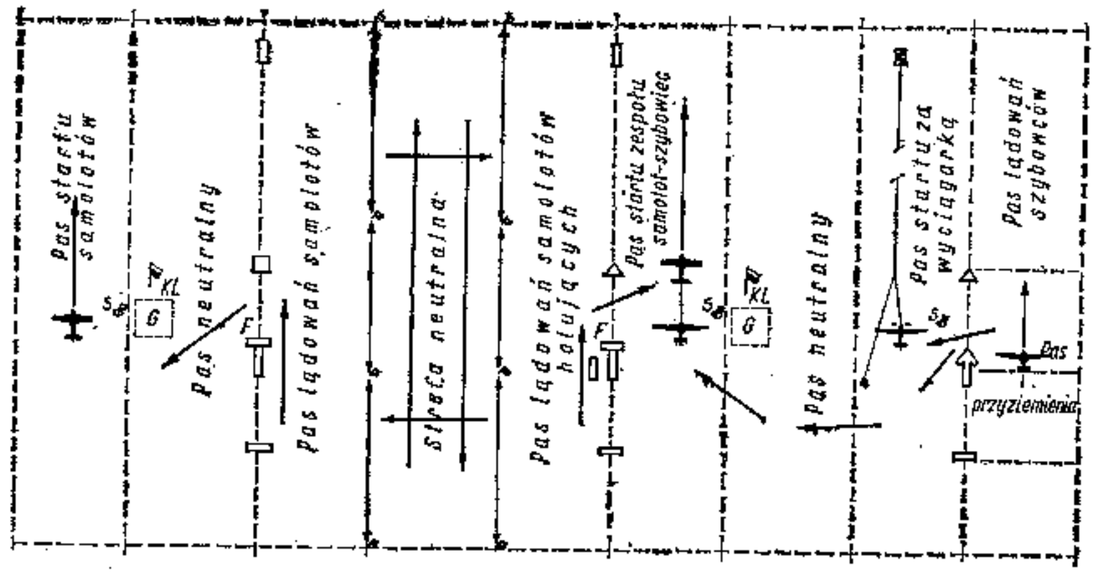
Jeżeli, co najczęściej się zdarza na lotniskach aeroklubowych, odbywają się równocześnie loty szybowcowe za wyciągarką i za samolotem, wówczas schemat rozłożenia odpowiednich startów przedstawia się w sposób pokazany na rysunku 12—4. Na lotniskach małych istnieje również możliwość rozłożenia startów inaczej, a mianowicie w sposób częściowo zilustrowany na rysunku 12—7 (bez startu samolotowego). W takim przypadku szybowce latają w tym samym kręgu, bez względu na to czy startują z jednego czy drugiego startu. Samolot holujący natomiast po wyczepieniu się szybowca wraca nad lotnisko trzymając się na zewnątrz kręgu wykonywanego przez szybowce i ląduje na pomocniczym starcie wyłożonym dla samolotów holujących.

Pojęcie kręgu nadlotniskowego, jako zasadnicze z punktu widzenia ruchu statków powietrznych w rejonie lotniska, musimy tutaj omówić nieco dokładniej (patrz również rozdział 7, pkt 3d).

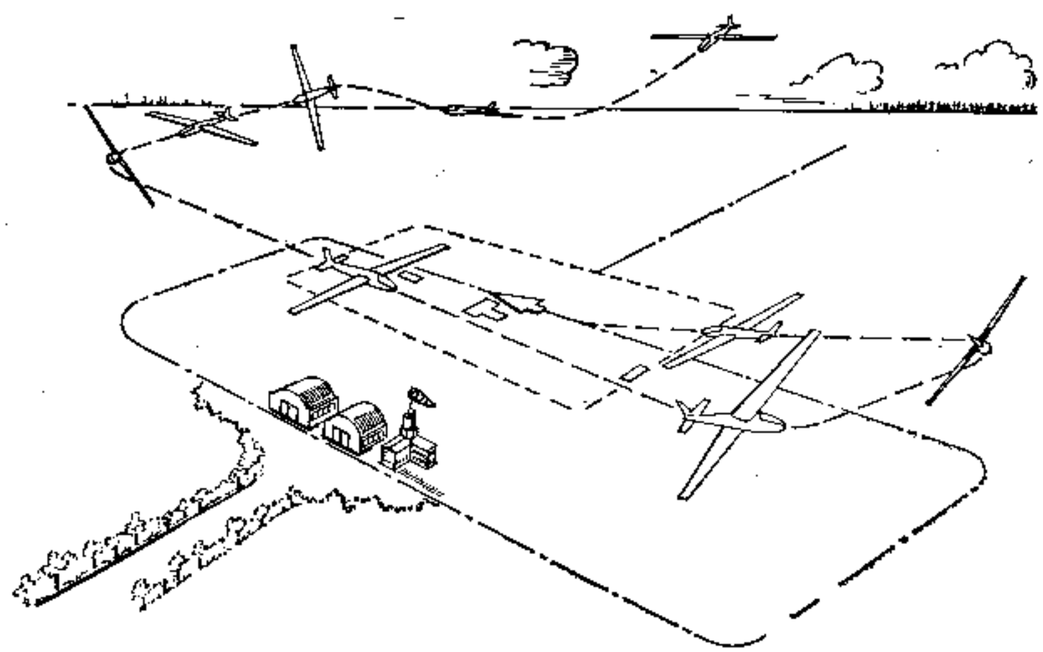
Ze względu na konieczność zachowania odpowiedniego porządku nad lotniskiem, zarówno samoloty, jak i szybowce zobowiązane są do wykonywania kręgu nadlotniskowego, czyli lotu po trasie prostokątnej na odpowiedniej wysokości ustalonej przez kierownika lotów. Wysokość kręgu nadlotniskowego wynosi dla szybowców przeważnie



Rys. 12—6. Schemat rozłożenia dwóch startów — samolotowego oraz szybowcowego za samolotem



Rys. 12—7. Schemat rozłożenia trzech startów — samolotowego oraz dwóch startów szybowcowych za wyciągarką i samolotem



Rys. 12—8. Wejście szybowca do kręgu nadlotniskowego (patrz również rys. 7—25)

200 do 300 m. Na tej wysokości szybowiec musi także wejść do kręgu po powrocie ze strefy pilotażu lub z przelotu.

Wejście do kręgu nadlotniskowego nie może odbywać się dowolnie. Szybowiec do kręgu nie może wchodzić w zakrętach, lecz na dłuższym boku kręgu i pod ostrym kątem do kierunku lotu, jak to zostało

pokazane na rysunku 12—8. Naturalnie, pierwszym i najważniejszym obowiązkiem pilota jest dobrze się rozejrzeć i skontrolować, jakie szybowce znajdują się w kręgu lub na podejściu do lądowania, tak aby nie przeszkodzić innemu pilotowi i nie wytworzyć niebezpiecznej sytuacji. Należy przy tym zaznaczyć, że w kręgu nadlotniskowym i przy podejściu do lądowania piloci szybowcowi są w gorszym położeniu niż piloci samolotowi, gdyż nie mają oni możności „dodać gazu" i odejść na drugi krąg. Dlatego też bardzo istotną sprawą jest odpowiednie rozplanowanie przez pilota szybowcowego lotu po kręgu.

W kręgu nadlotniskowym nie wolno krążyć ani nawet „rozciągać" kręgu, to znaczy przesadnie wydłużać jego boków. Po wejściu do kręgu pilot szybowcowy, nawet gdyby napotkał najbardziej nęcące kominy termiczne, musi z nich zrezygnować, aby swoim zachowaniem nie powodować niebezpiecznego zamieszania nad lotniskiem.

W czasie lotu po kręgu nie wolno wyprzedzać innych szybowców znajdujących się w tymże okręgu, ani „ścinać" boków czy też rogów. Krąg powinien być wykonany z takim obliczeniem, aby podchodząc na normalnej prędkości oraz bezpiecznej wysokości lotu pilot mógł przy użyciu hamulców aerodynamicznych wylądować przy znaku strzały oznaczającej miejsce lądowania. Należy przy tym podchodzić zawsze z pewnym nadmiarem wysokości, aby ewentualne „duszenie" czy też porywy wiatru nie zmusiły pilota do przyziemienia się przed tylnym ogranicznikiem, co z kolei łatwo może doprowadzić do rozbicia szybowca ze względu na nieodpowiedni teren do lądowania.

W locie po kręgu oraz przy podchodzeniu do lądowania pierwszeństwo mają zawsze szybowce niższej klasy oraz piloci mniej wykwalifikowani. Jednakże ze względów wiadomych pierwszeństwo do lądowania muszą mieć, siłą rzeczy, szybowce znajdujące się najniżej. Pilot szybowcowy lecący po kręgu lub do niego dołączający musi zwrócić baczną uwagę na to czy nad znakami nie melduje się inny szybowiec, np. powracający z trasy na stosunkowo małej wysokości (co zresztą nie jest dozwolone jako normalna praktyka).

Jak z tego wszystkiego widać, nad lotniskiem może panować duży ruch i pilot szybowcowy powinien bardzo uważać, aby uniknąć niebezpiecznej sytuacji. Jeżeli na przykład będąc już w kręgu stwierdzi, że inny szybowiec znajdujący się niewiele wyżej od niego wchodzi do kręgu, wówczas powinien zwiększyć opadanie swojego szybowca przez częściowe wysunięcie hamulców aerodynamicznych i zdecydowanie podejść do lądowania.

Należy również zwrócić szczególną uwagę na szybowce startujące za wyciągarką, gdyż na ogół wyczepiają się one na niezbyt dużych wysokościach, a następnie muszą bezzwłocznie wejść w krąg nadlotniskowy i podejść do lądowania. Trzeba tu jeszcze dodać, że za wyciągarką startują przeważnie uczniowie lub mało zaawansowani pi-

loci, tak że inni piloci powinni im ustępować oraz zachować maksimum ostrożności.

Przy podchodzeniu do lądowania niedopuszczalne są manewry w postaci „esowania" czy zakrętów (za wyjątkiem przypadków awaryjnych). Podchodzący do lądowania po prostej pilot powinien regulować wysokość odpowiednim wysunięciem hamulców lub też przy mało skutecznych hamulcach, zwiększyć opadanie wykonując ślizgi kierunkowe (patrz również rozdział 7).

Lot po kręgu musi być tak rozplanowany, aby ostatni zakręt (czwarty zakręt kręgu) leżał na wysokości około 100 m. W każdym razie niedopuszczalne jest, aby wysokość ta była mniejsza niż 75 metrów. W czasie wchodzenia do kręgu, lotu po kręgu, a już zwłaszcza w czasie wykonywania zakrętów, pilot musi maksymalnie zwracać uwagę na inne szybowce znajdujące się w pobliżu, licząc się również z możliwością nagłego pojawienia się jakiegoś obcego szybowca, który nie znając dyspozycji wydanych tego dnia na danym lotnisku może podchodzić do lądowania nieprawidłowo.

W czasie wykonywania zakrętów w locie po kręgu należy zwracać baczną uwagę na technikę pilotażu. Mało bowiem zaawansowany pilot, koncentrując całą uwagę na zewnątrz szybowca, ma tendencję do wykonywania zakrętów z wyślizgiem (zakręt samą nogą) i do tego na małej prędkości, co bardzo łatwo może doprowadzić do wpadnięcia szybowca w korkociąg, z którego z reguły pilot nie potrafi wyprowadzić ze względu na małą wysokość. Dlatego też zaleca się wykonywać lot po kręgu na nieco zwiększonej prędkości — o jakieś 10 do 15 km/godz w stosunku do prędkości optymalnej szybowca.

Przyziemiać należy szybowiec blisko znaku strzały, jednak jeżeli nie usunięto jeszcze szybowca, który poprzednio wylądował, należy przyziemiać swój szybowiec obok niego i na zewnątrz od strzały w bezpiecznej odległości. Gdyby i to miejsce było zajęte, należy wybrać inne miejsce na lotnisku nadające się do lądowania.

Piloci szybowcowi, użytkując lotnisko wykorzystywane również do lotów samolotowych, muszą zwracać baczną uwagę, aby nie wejść w kolizję z latającymi równocześnie samolotami. W celu zorientowania się w podziale lotniska podano na rysunku 12—6 schemat rozłożenia dwóch równoległych startów: samolotowego oraz szybowcowego za samolotem.

Samolot holujący startuje wraz z szybowcem ze startu szybowcowego, a następnie wykonuje w zespole lot na zewnątrz kręgu szybowcowego w prawo. Po odczepieniu się szybowca samolot holujący podchodzi do miejsca zrzutu linki, zrzuca z wysokości nie mniejszej niż 100 m, a następnie dołącza do kręgu samolotów w lewo, ale ląduje przy znaku wyłożonym specjalnie dla niego. Po wylądowaniu samolot zakręca o 90° w prawo i kołuje na start zespołu samolot — szybowiec. Szybowiec w tym czasie podchodząc do lądowania wykonuje poprzednio opisany krąg prawy i ląduje po prawej stronie strzały.

Na rysunku 12—5 podany mamy schemat rozłożenia równoczesnych startów: samolotowego i szybowcowego za wyciągarką. Samoloty wykonywują tu krąg prawy, zaś szybowce krąg lewy.

Schemat rozłożenia trzech równoległych startów: samolotowego, szybowcowego za wyciągarką i szybowcowego za samolotem przedstawiony został na rysunku 12—7. Według tego schematu samoloty latają po lewym kręgu, szybowce natomiast po prawym kręgu — bez względu na to czy wystartowały za wyciągarką, czy za samolotem. Zespoły holujące samolot-szybowiec wykonując prawy krąg utrzymują się na jego zewnętrznym obwodzie, natomiast samolot holujący po odczepieniu szybowca wykonuje krąg przeznaczony dla samolotów, tj. lewy, ale ląduje przy znaku wyłożonym specjalnie dla samolotów holujących.

Naturalnie, jeżeli względy terenowe lub też pewne specyficzne warunki na lotnisku będą tego wymagały, to kierownictwo lotów może zarządzić inne rodzaje ułożenia startów nie opisane wyżej, ewentualnie wprowadzić jeszcze dodatkowe zmiany w ruchu nad lotniskiem. W każdym jednak przypadku powinny one mieć na względzie bezpieczeństwo lotów i być zgodne z ogólnymi zasadami wykonywania lotów szybowcowych i samolotowych.

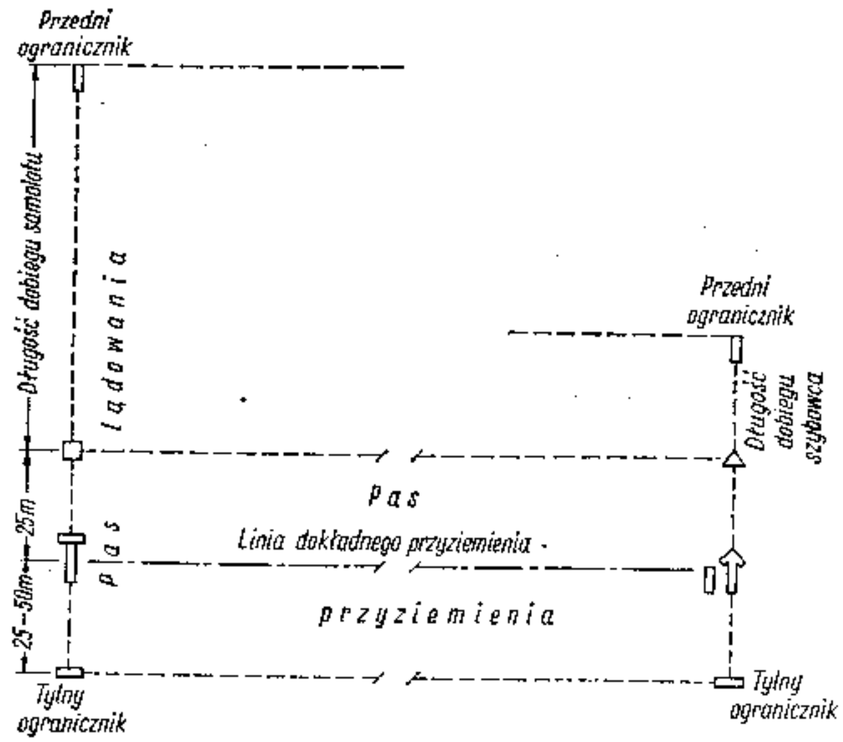
3. Znaki i sygnały stosowane w lotnictwie sportowym

W celu zapewnienia maksimum bezpieczeństwa oraz prawidłowej organizacji ruchu powietrznego nad lotniskiem została ustalona umownie symbolika pewnych znaków i sygnałów stosowanych na lotniskach sportowych. Ponieważ loty szybowcowe odbywają się na ogół na lotniskach wspólnie z lotami samolotów, zachodzi potrzeba, aby piloci szybowcowi znali także znaki i sygnały dotyczące lotów samolotowych. Tym bardziej jest to konieczne, że przecież w dalszym etapie szkolenia lotniczego pilot szybowcowy ma w perspektywie również przeszkolenie samolotowe.

Na rysunku 12—9 podano zasadnicze znaki i sygnały startowe stosowane na lotniskach sportowych oraz przedstawiono zasadę ich rozkładania.

Płótna służące do wykładania znaków i sygnałów na lotniskach i lądowiskach sportowych powinny być: w lecie — koloru białego, w zimie — koloru czarnego.

Płótna dla oznaczenia znaku lądowania samolotów — literą T (1 płótno 9 × 2 m i 1 płótno 6 × 2 m) lub szybowców — strzałą



Rys. 12—9. Schemat rozłożenia zasadniczych znaków startowych dla samolotów i szybowców

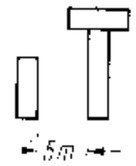
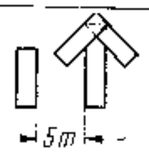
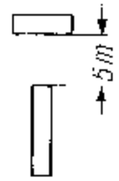
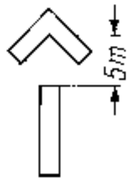
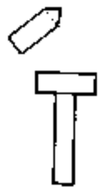
(1 płótno 9 × 2 m i 2 płótna 6 × 2 m) wykłada się na linii przyziemienia samolotów lub szybowców. W odległości 25—50 m z tyłu znaku T lub strzały wykłada się prostopadle do kierunku lotu płótno o wymiarach 6 × 2 m stanowiące tylną granicę przyziemienia, tzw. ogranicznik tylny. Ogranicznik ten wykłada się na skraju lotniska w odległości nie mniejszej niż 50 m dla samolotów i 75 m dla szybowców (ostatnie zarządzenia ustalają tę odległość dla samolotów i szybowców jako minimum 100 m) od najbliższej przeszkody płaskiej. W przypadku przeszkód pionowych tylny ogranicznik powinien być przesunięty o dalsze 20 m na każdy metr wysokości przeszkody.

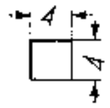
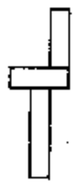
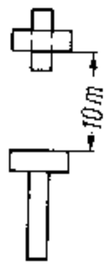
W odległości 25 m do przodu od znaku T lub strzały wykłada się płótno informujące o kierunku lotów po kręgu nadlotniskowym: kwadrat o wymiarach 4 × 4 m — krąg lewy, trójkąt (kwadrat złożony po przekątnej) — krąg prawy. Dopuszczalne jest niewykładanie kwadratu. Brak płótna w przewidzianym dla niego miejscu wskazuje, że loty samolotowe lub szybowcowe odbywają się z lewym kręgiem.

W odległości równej długości najdłuższego dobiegu samolotów lądujących na danym starcie do przodu od znaku T wykłada się równolegle do jego dłuższego ramienia płótno o wymiarach 6 × 2 m, tzw. ogranicznik przedni.

Znaki startowe wykładane z płócien na lotniskach sportowych dla samolotów i szybowców

Lp.	Znaczenie znaku	Opis znaku	Rysunek znaku
1	Znak lądowania dla samolotów wskazujący kierunek oraz miejsce lądowania (po prawej stronie)	litera T wyłożona z dwóch płócien: 9 × 2 oraz 6 × 2 m	
1a	Znak lądowania dla szybowców wskazujący kierunek oraz miejsce lądowania (po prawej stronie)	strzała wyłożona z trzech płócien: jednego 9 × 2 i dwóch 6 × 2 m	
2	Zezwolenie na lądowanie samolotu	litera T oraz biała chorągiewka uniesiona przez finiszera pionowo do góry	
2a	Zezwolenie na lądowanie szybowca	litera T oraz biała chorągiewka uniesiona przez finiszera pionowo do góry	
3	Zakaz lądowania	krzyż wyłożony z płócien litery T oraz ruchy wahadłowe czerwoną chorągiewką wykonywane przez finiszera; równocześnie lub zamiast tych sygnałów — wystrzelenie czerwonej rakiety z ziemi	
4	Żądanie ogólnego lądowania samolotów	w odległości 5 m do przodu i równolegle do krótszego ramienia litery T wykłada się dodatkowe płótno 6 × 2 m; równocześnie można zapalić na starcie świecę dymną	
4a	Żądanie ogólnego lądowania szybowców	w odległości 5 m do przodu i prostopadle do długiego ramienia strzały wykłada się dodatkowe płótno 6 × × 2 m; równocześnie można zapalić na starcie świecę dymną	

Lp.	Znaczenie znaku	Opis znaku	Rysunek znaku
5	Lądowanie samolotów po lewej stronie litery T	w odległości 5 m po lewej stronie długiego ramienia litery T wykłada się dodatkowe płótno 6 × 2 m	
5a	Lądowanie szybowców po lewej stronie strzały	w odległości 5 m po lewej stronie długiego ramienia strzały wykłada się dodatkowe płótno 6 × 2 m	
6	Podwozie samolotu nie wypuszczone	płótna tworzące literę T rozciągnięte na odległość 5 m od siebie	
6a	Podwozie szybowca wypuścić (wyczynowe)	płótna tworzące strzałę rozciągnąć w ten sposób, aby grot strzały znajdował się w odległości 5 m od długiego ramienia	
7	Lądowanie samolotów na lotnisku zapasowym	z przodu litery T wykłada się strzałę wskazującą kierunek zapasowego lotniska lub lądowiska (płótno 6 × × 2 m z zawiniętymi rogami)	
7a	Lądowanie szybowców na lądowisku zapasowym; jeżeli szybowiec z powodu braku wysokości nie jest w stanie dolecieć (lub „gość"), ląduje na skraju lotniska z zachowaniem szczególnej ostrożności	z przodu strzały wykłada się drugą strzałę wskazującą kierunek uzgodnionego przed lotami zapasowego lądowiska (płótno 6 × 2 m z zawiniętymi rogami)	
8	Miejsce zrzutu linki holowniczej — zarówno dla samolotów, jak i dla szybowców; wysokość zrzutu linki nie mniejsza niż 100 m; również miejsce zrzutu skoczka spadochronowego	wyłożenie dwóch płócien 6 × × 2 m w kształcie litery V; ostry koniec litery V wskazuje kierunek nalotu samolotu lub szybowca przy zrzucie	

Lp.	Znaczenie znaku	Opis znaku	Rysunek znaku
9	Znak nakazujący kierunek lotu samolotów lub szybowców w kręgu nadlotniskowym w lewo nad tym startem, na którym jest wyłożony; brak kwadratu w ogóle jest równoznaczny z tym znakiem	płótno 4 × 4 m wyłożone w odległości 25 m do przodu od litery T lub strzały w łożu wiatru	
10	Znak nakazujący kierunek lotu samolotów lub szybowców w kręgu nadlotniskowym w prawo nad tym startem, na którym jest wyłożony	płótno 4 × 4 m złożone po przekątnej tworzące trójkąt równoramienny, wyłożone w odległości 25 m do przodu od litery T lub strzały wierzchołkiem w kierunku wiatru	
11	Nakaz lądowania na koła — dla samolotów; pilot szybowcowy widząc taki znak na starcie samolotowym orientuje się, że przy ziemi wieje bardzo silny wiatr — stąd wniosek dla niego: podejście do lądowania z zapasem wysokości	dodatkowo płótno 6 × 2 m wyłożone u końca prawego ramienia litery T równolegle do jej długiego ramienia i do przodu	
12	Na lotnisku odbywają się skoki spadochronowe: szybowce zmierzające do lądowania (np. „goście") muszą to wykonać z największą ostrożnością, krąg nadlotniskowy należy wykonać poza skrajem lotniska, przyziemienie natomiast tuż na samym skraju lotniska	z przodu litery T w odległości 10 m wyłożony krzyż z dwóch płócien 6 × 2 m	

c. d. tablicy 5

Lp.	Znaczenie znaku	Opis znaku	Rysunek znaku
13	Na lotnisku odbywają się skoki spadochronowe (zakaz wyrzucania skoczków); szybowce zmierzające do lądowania (np. „goście") muszą to wykonać z największą ostrożnością; krąg nadlotniskowy należy wykonać poza skrajem lotniska, przyziemienie na samym skraju lotniska	dwa krzyże wyłożone w odległości 10 m od siebie — jeden z płócien 6×2 m, drugi zamiast litery T z tych samych płócien (tj. 9×2 i 6×2 m)	10m
14	Przedni ogranicznik pasa lądowań samolotów i szybowców	płótno 6×2 m wyłożone w łożu wiatru z przodu litery T lub strzały w odległości najdłuższego dobiegu samolotu na starcie samolotowym i 25 m na starcie szybowcowym	
15	Tylny ogranicznik pasa lądowań samolotów i szybowców	płótno 6×2 m wyłożone w poprzek kierunku lądowania (łoża wiatru) w odległości 50 m od litery T (dla samolotów) i 25—50 m od strzały (dla szybowców) oraz co najmniej 100 m od najbliższej przeszkody płaskiej na podejściu do lądowania (dawniej — 50 m dla samolotów i 75 m dla szybowców); przy przeszkodach pionowych — musi być przesunięty o dalsze 20 m, na każdy metr wysokości przeszkody	

Z przodu znaku T, aż do przedniego ogranicznika, ustawia się co 50 m chorągiewki: w lecie białe, w zimie czarne w celu oznaczenia pasa neutralnego podczas zakołowywania z pasa lądowań oraz ułatwienia pilotowi prawidłowego podejścia do lądowania i utrzymania kierunku podczas dobiegu. Na starcie szybowcowym chorągiewek tych nie wystawia się, aby nie powodować uszkodzeń powierzchni skrzydeł lub usterzeń szybowca znajdujących się nisko nad ziemią.

pasie neutralnym w lewo lub w prawo od znaku T lub strzały nie od miejsca lądowania) wyznacza się czerwonymi chorągiewkwadrat o boku 10 do 20 m, który stanowi miejsce przebywania nelu latającego i pomocniczego w czasie lotów.

tablicy 5 zestawiono główne znaki startowe wykładane z płóna lotniskach sportowych oraz wyjaśniono ich znaczenie w odeniu do samolotów i szybowców.

prócz znaków wykładanych na starcie z płócien stosuje się rów- sygnalizację za pomocą ruchów ręki, strzelania et, palenia świec dymnych, a przede wszystkim za pomocą dwóch rągiewek — białej i czerwonej — o wymiarach płótna 0,3 × 0,4 m. horągiewki takie jest wyposażony zarówno startowy, jak finiszer. ymają oni zawsze chorągiewkę czerwoną w lewej ręce, białą omiast w prawej.

Przy starcie szybowca na holu za samolotem — na przykład — starwy daje białą chorągiewką poziome znaki pilotowi samolotowemu, y podkołował do przodu w celu naciągnięcia linki. Następnie na ósbę pilotów (samolotowego i szybowcowego), wyrażającą się podesieniem przez nich lewych rąk, startowy podnosi białą chorągiewę pionowo do góry i przechylając ją płynnym ruchem w kierunku ozbiegu zezwala na start. Sygnały te zostały przedstawione w tabcy 6.

Finiszer posiada dwie identyczne jak startowy chorągiewki i zajmue stanowisko przed literą T lub strzałą. Przez podniesienie białej horągiewki do góry daje on znak lądującemu samolotowi lub szyowcowi, że pas lądowania jest wolny i że pilot może bezpiecznie ylądować.

Jeżeli jednak z jakichkolwiek powodów pas lądowania nie jest zdatny w danej chwili do użytku, finiszer podnosi czerwoną chorągiewkę zmuszając w ten sposób samolot do odejścia na drugi krąg. Szybowiec oczywiście odejść na drugie okrążenie nie jest w stanie. Jednakże widząc znak ostrzegawczy w postaci podniesionej czerwonej chorągiewki pilot zwiększy uwagę i wyląduje w innym miejscu lotniska. W przypadku, gdy jest na to czas, kierownik lotów powinien przesunąć znak strzały w aktualne miejsce lądowania szybowców.

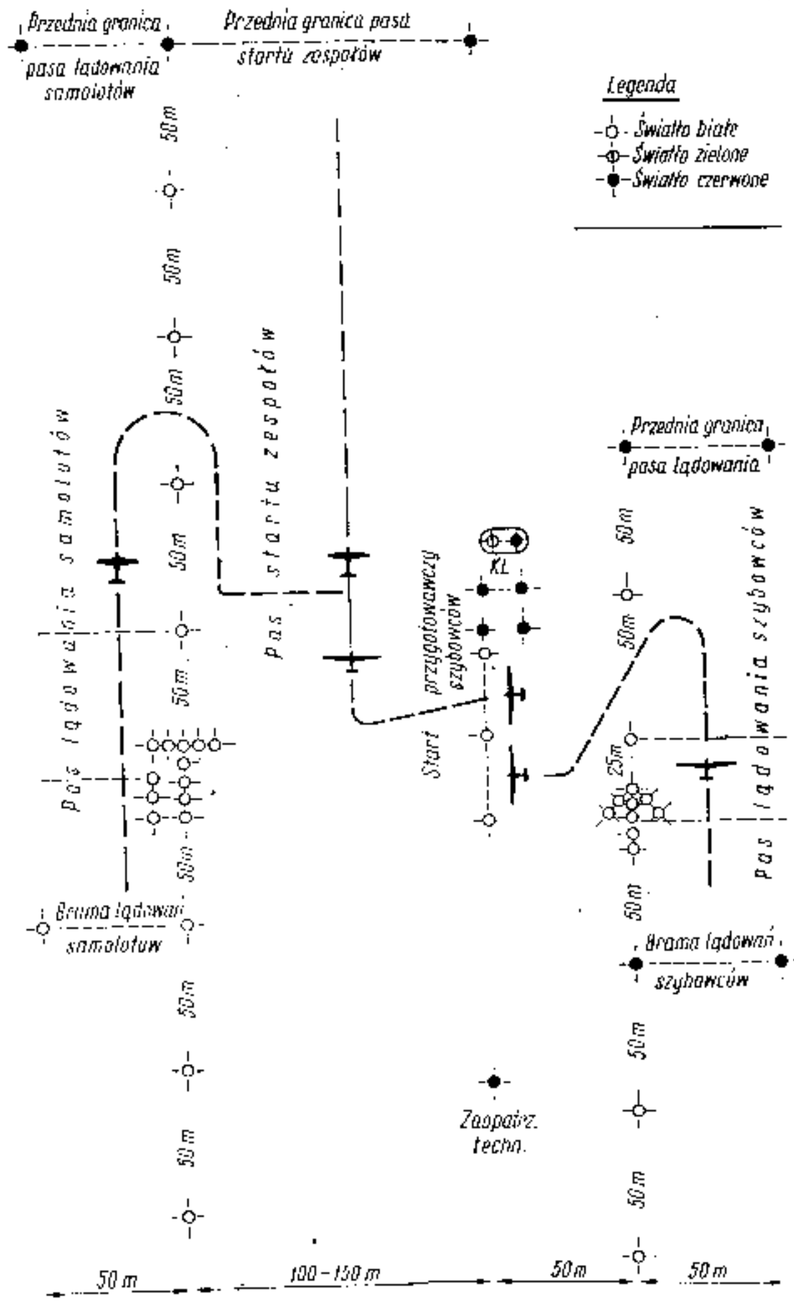
Znaki i sygnalizacja w czasie szybowcowych i samolotowych lotów nocnych są analogiczne jak odpowiednie znaki i sygnały w dzień, z tym że zamiast chorągiewek używa się świateł (latarni): zamiast chorągiewki białej światło zielone, zamiast chorągiewki czerwonej — światło czerwone. Schemat typowego startu nocnego do lotów szybowcowych za samolotem przedstawiono na rysunku 12—10, dla którego założono, że krąg nadlotniskowy dla zespołów jest lewy, dla samolotów również lewy, a dla szybowców prawy.

Do lotów nocnych zarówno samolot jak i szybowiec powinny być

Tablica 6

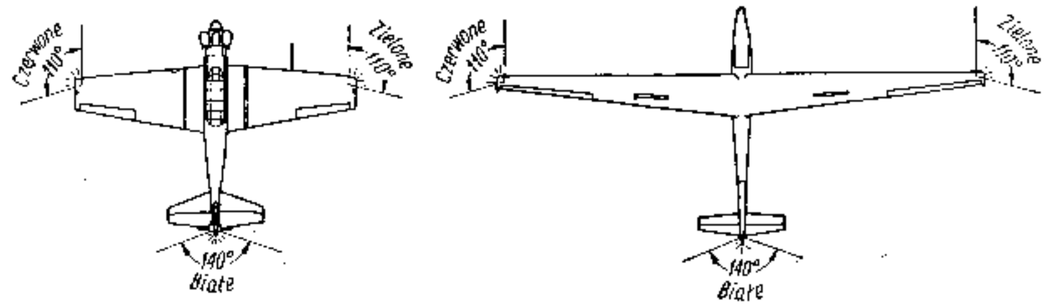
Sygnały startowe stosowane na lotniskach sportowych dla samolotów i szybowców

Lp.	Znaczenie sygnału	Opis sygnału
1	Zapytanie o zezwolenie na kołowanie lub start — dla samolotów	ręka pilota (oraz pomocnika przy skrzydle — jeśli jest) podniesiona pionowo do góry
1a	Zapytanie o zezwolenie na start — dla szybowców	ręka pilota oraz ręka pomocnika podtrzymującego skrzydło szybowca podniesiona pionowo do góry
2	Zezwolenie na kołowanie lub podkołowanie samolotu w celu naciągnięcia linki holowniczej oraz zezwolenie na transport szybowca przez pas startu lub lądowania	czerwona chorągiewka nad głową startowego lub finiszera podniesiona pionowo w górę, białą natomiast wykonuje ruchy w poziomie w kierunku kołowania — tym energiczniejsze, im szybsze ma być kołowanie samolotu lub pośpiech przy transporcie szybowca
3	Zezwolenie na wykonanie startu — dla samolotów i szybowców	biała chorągiewka startowego podniesiona pionowo w górę, a następnie pochylona do poziomu w kierunku startu
4	Zezwolenie na lądowanie — dla samolotów i szybowców	biała chorągiewka finiszera podniesiona pionowo w górę (niezależnie od znaku litery T i strzały, wyłożonych z płócien — tabl. 3)
5	Zakaz wykonania startu — dla samolotów i szybowców	czerwona chorągiewka startowego podniesiona pionowo w górę
6	Zakaz kołowania samolotu lub transportu szybowca przez pas startu lub lądowania	czerwona chorągiewka startowego lub finiszera podniesiona pionowo w górę
7	Zakaz lądowania (chwilowy) — dla samolotów oraz zakaz lądowania przy strzale dla szybowców; szybowce lądują na samym skraju lotniska z zachowaniem szczególnej ostrożności	czerwona chorągiewka finiszera podniesiona pionowo w górę lub jej ruchy wahadłowe nad głową; równocześnie lub zamiast czerwonej chorągiewki — wystrzelenie czerwonej rakiety
8	Żądanie ogólnego lądowania — dla samolotów lub szybowców	świeca dymna zapalona na starcie samolotowym lub szybowcowym (niezależnie od znaku wyłożonego z płócien, jak w tabl. 3)



Rys. 12—10. Schemat rozłożenia typowego startu nocnego do lotów szybowcowych za samolotem

krąg nadlotniskowy: dla zespołów — lewy, dla samolotów — lewy, dla szybowców — prawy



Rys. 12—11. Sposób rozmieszczenia świateł pozycyjnych na samolotach i szybowcach przeznaczonych do lotów nocnych — widok z góry

wyposażone w światła pozycyjne oraz oświetlenie przyrządów pokładowych. Rysunek 12—11 przedstawia sposób rozmieszczenia świateł pozycyjnych obowiązujący zarówno szybowce jak i samoloty.

Załogi szybowców do wykonywania lotów nocnych muszą być wyposażone w rakietnice i rakiety dla oświetlenia terenu przy ewentualnym przymusowym lądowaniu. Poza tym zasady sygnalizacji przy starcie oraz przy lądowaniu samolotów i szybowców w nocy są takie same jak w czasie wykonywania lotów dziennych, a różnica polega tylko na tym, że zarówno samolot jak i szybowiec podchodząc do lądowania „proszą" o zezwolenie lądowania mrugając światłami pozycyjnymi. Finiszer obowiązany jest na tę „prośbę" odpowiedzieć światłem zielonym zezwalając na lądowanie lub czerwonym — odsyłając samolot na drugie okrążenie.

Ponadto w celu zapewnienia maksimum bezpieczeństwa w czasie wykonywania lotów nocnych każda osoba poruszająca się po lotnisku musi być zaopatrzona w latarnię o białym świetle, samoloty natomiast mogą kołować wyłącznie z obsługą przy skrzydle oraz w obecności jeszcze innej osoby obsługi wskazującej światłem latarni kierunek kołowania.

Oprócz znaków i sygnałów, które zostały omówione wyżej, istnieje szereg znaków i sygnałów umownych umożliwiających porozumienie się pomiędzy pilotem szybowcowym i pilotem samolotu holującego, jak również pomiędzy pilotem szybowcowym a obsługą wyciągarki (patrz tablica 7). Zostały one już zresztą omówione w rozdziale siódmym, traktującym o nauce pilotażu. Trzeba jednak przyznać, że nie przewidują oczywiście wszystkich możliwych sytuacji, jakie w życiu lotniczym mogą zaistnieć. Idealnym rozwiązaniem jest zastosowanie radia, które pozwala na obustronne porozumiewanie się bez ograniczeń zarówno pilotowi samolotu i szybowca, jak również szybowca z obsługą naziemną. Obecnie coraz więcej szybowców jest zaopatrywanych w aparaturę radiową, co bardzo podwyższa stopień bezpieczeństwa lotów.

Tablica 7

Znaki i sygnały stosowane przy starcie szybowców za wyciągarką

Na starcie			Na wyciągarce		
Dniem Tablicą	Nocą i dniem Światłami	Znaczenie znaku	Dniem Tablicą	Nocą i dniem Światłami	Znaczenie znaku
		Przygotować się do ciągnięcia — ściągarka przygotowana do rozwijania linki			Przygotowałem wyciągarkę
		Można ciągnąć			Jestem gotowy — zaczynam ciągnąć
		Linka naprężona			Znak po wykonaniu ciągnięcia: — nie ściągać linki
		Szybowiec ruszył			Nie mogę ciągnąć
		Przerwać ciągnięcie. W czasie wymiany znaków — unieważniam sygnalizację			Znak po wykonaniu ciągnięcia: — nie ściągać linki
	Rakieta bez wzgledu na kolor	Przerwać ciągnięcie			Znak w czasie ściągania linki na start: — przerwać ściąganie
Trzy sklony		Ciągnąć szybciej			Rozumiem znak
Trzy sklony		Ciągnąć wolniej			Nie rozumiem znaku
Parę razy		Start odbędzie się z przedniego zaczepu			Odcięliśmy linkę (na śniegu używać tarczę czerwoną)
		Linka nie wyczepiona. Linka ściągarki odcięta (na śniegu używać tarczę czerwoną)	Parę razy		Można ściągać szybciej — (po obrotach tarczą, ustawić ją jak - zaczynam ciągnąć)
		Nie mogę ściągnąć linki — odhamować bęben wyciągarki	Uwaga: stosować można wyłącznie znaki przekazywane za pomocą tarcz lub sygnały świetlne — zależnie od wyposażenia startu i wyciągarki		

Objaśnienie znaków:

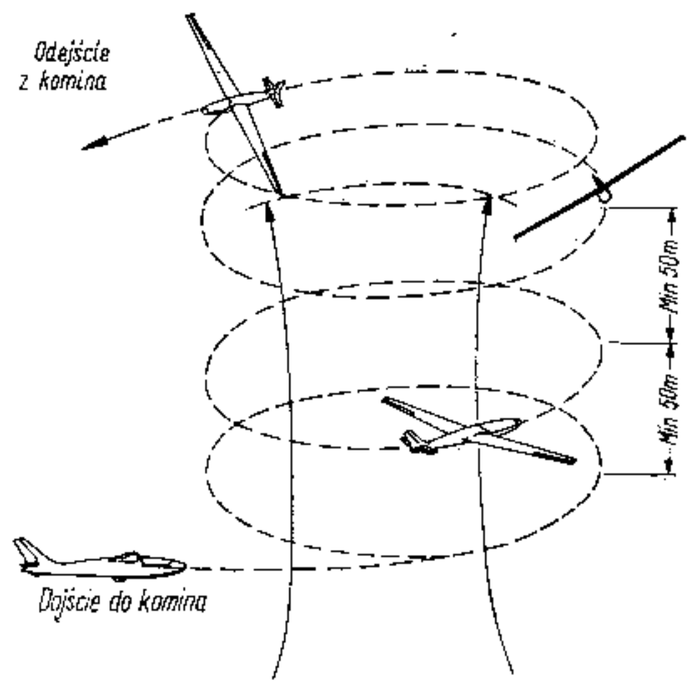
- Białe tablice sygnalizacyjne
- Czerwone tablice sygnalizac.
- Światła zielone poniżej 1 sek
- Światła czerwone poniżej 1 sek
- Światła zielone powyżej 5 sek
- Światła czerwone powyżej 5 sek
- Znaki z przerwą < 1 sek
- Kierunek i wielkość ruchu

4. Przepisy ruchu w powietrzu

Lot po kręgu nie jest jednak celem szybownictwa! Z reguły szybowiec zostaje wyholowany przez samolot, czy też za pośrednictwem wyciągarki, na pewną minimalną wysokość niezbędną do wyszukania odpowiednich prądów wznoszących i „wykręcenia" się na wysokość umożliwiającą mu wykonanie zadania. Wysokość tę instrukcje określają na 300 m. Ponieważ piloci szybowcowi znakomitą większość czasu spędzają na krążeniu w kominach, należy zwrócić szczególną uwagę na to, aby w gromadzie — często nawet kilkunastu szybowców — nie zaistniała możliwość zderzenia.

Kierunek krążenia w kominie wyznacza szybowiec, który pierwszy zaczął w nim krążyć. Wszystkie inne szybowce dołączające później zobowiązane są krążyć w tym samym kierunku, niezależnie od tego czy znajdują się wyżej, czy też niżej od „odkrywcy" komina. Różnice wysokości pomiędzy krążącymi szybowcami nie mogą być mniejsze niż 50 m, zaś centrowanie komina musi się tak odbywać, aby nie zachodziło zazębienie się kół zataczanych przez szybowce (rysunek 12—12).

Zmiana przyjętego kierunku krążenia w kominie jest niedopuszczalna, dopóki znajduje się w nim więcej niż jeden szybowiec. Wejście do zespołu krążących już szybowców powinno odbywać się po stycznej zacieśniającą się spiralą.



Rys. 12—12. Prawidłowe zachowanie się szybowców krążących w jednym kominie

Najwięcej tragicznych w skutkach wypadków zdarza się w czasie dochodzenia szybowca do komina. Piloci krążących szybowców, zbyt zaabsorbowani wskazaniami wariometru i centrowaniem wznoszenia, niestety za mało zwracają uwagi na to co się dzieje na zewnątrz szybowca.

Może to doprowadzić do tego, że inny pilot szybowcowy lecący na wprost, oślepiony światłem słonecznym lub też po prostu „zagapiony", wpadnie na krążące szybowce.

Szybowcom, które nie mają zamiaru wchodzić do chmury, zezwala się krążyć pod jej podstawą tylko do wysokości 100 m poniżej podstawy, a to w tym celu, aby szybowiec lub samolot wychodzący z chmury przez jej podstawę nie wpadł na krążące szybowce.

Szybowiec natomiast, który ma zamiar wykonać wznoszenie w chmurze, może rozpocząć wchodzenie dopiero wówczas, kiedy od czasu wejścia w chmurę innego szybowca lub samolotu minęło co najmniej 10 minut czasu.

Ważny jest również sposób mijania się szybowców latających na jednej wysokości oraz ich wzajemne wyprzedzanie. We wszystkich przypadkach zabronione jest zbliżanie się szybowców do siebie na odległość mniejszą niż 50 m mierzoną w każdym kierunku. Zasady postępowania przy tym są następujące:

— szybowce mogą przelatywać jeden nad drugim z przewyższeniem nie mniejszym niż 50 m, a za bezpieczeństwo przelotu odpowiadają: jeżeli lecą w kierunkach przeciwnych — pilot szybowca znajdującego się wyżej, we wszystkich innych przypadkach pilot szybowca wyprzedzającego;
— szybowce lecące naprzeciw siebie na tej samej wysokości powinny odchylić kierunki lotu w prawo (każdy) z takim wyliczeniem, aby odległość między nimi nie była mniejsza niż 50 m;
— w przypadku spotkania się szybowców na przecinających się wzajemnie kursach obniża lot ten pilot, który widzi drugi szybowiec ze swej lewej strony; ten pilot również odpowiada za bezpieczeństwo manewru; w tym samym czasie drugi szybowiec jest zobowiązany zachować dotychczasowe parametry lotu nie zmienione (nie wolno mu zwiększać szybkości i opadania).

Nieco inne wytyczne ruchu szybowców obowiązują przy wykonywaniu lotów żaglowych nad zboczem i są one następujące:

— lecieć wzdłuż zbocza i wykorzystywać największe noszenie ma prawo ten szybowiec, który ma zbocze po prawej swej stronie;
— szybowiec mający zbocze po swej lewej stronie obowiązany jest ustąpić miejsca przy zboczu szybowcowi lecącemu naprzeciwko;

— szybowce mogą przelatywać nad i pod sobą w kierunkach przeciwnych oraz w kierunkach zgodnych, jeżeli różnica wysokości między nimi nie jest mniejsza niż 50 m; we wszystkich tych przypadkach za bezpieczeństwo lotu odpowiada pilot szybowca lecącego wyżej;

— szybowce mogą się wymijać wzajemnie (lecąc naprzeciwko) na tej samej wysokości pod warunkiem, że odległość między nimi nie jest mniejsza niż 50 m; za wymijanie odpowiada pilot mający zbocze po swej lewej stronie;

— szybowce mogą się wyprzedzać wzajemnie na tej samej wysokości pod warunkiem, że odległość między nimi nie jest mniejsza niż 50 m; za wyprzedzanie odpowiada pilot szybowca wyprzedzającego, przy czym manewr ten wykonuje zawsze na zewnątrz zbocza;

— szybowce lecące naprzeciwko nie mogą zbliżyć się do siebie na odległość mniejszą niż 400 m, jeżeli różnica wysokości między nimi jest mniejsza niż 50 m; w takim przypadku stosuje się prawo pierwszeństwa na zboczu omówione wyżej;

— szybowce lecące jeden za drugim nie mogą zbliżać się do siebie na odległość mniejszą niż 100 m, jeżeli różnica wysokości między nimi jest mniejsza niż 50 m; w takim przypadku zachodzi konieczność wyprzedzania omówionego wyżej;

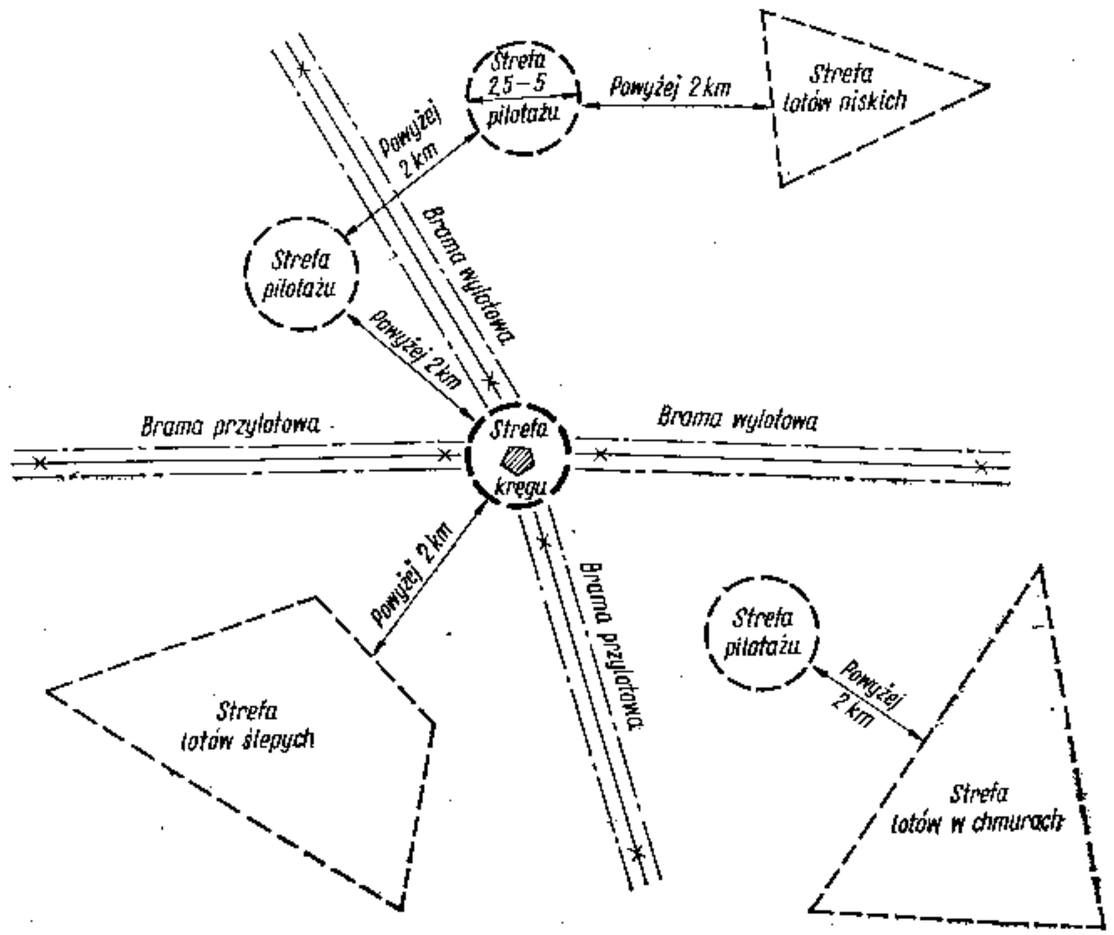
— szybowiec latający poniżej zbocza nie może zbliżać się do stoku na odległość poziomą mniejszą niż 50 m i pionową nie mniejszą niż 25 m;

— zakręty w celu zmiany kierunku lotu nad zboczem wolno wykonywać jedynie na zewnątrz zbocza;

— krążenie nad zboczem w celu wykorzystania prądów termicznych wolno wykonywać tylko w takim przypadku, jeżeli szybowiec znajduje się nad szczytem zbocza na wysokości większej niż 100 m, nie przeszkadza swoim manewrem innym szybowcom oraz nie zostanie zniesiony na stronę zawietrzną;

— odejście szybowca od zbocza w dolinę należy wykonywać pod kątem prostym od zbocza, zwracając przy tym uwagę na inne szybowce latające oraz przestrzegając omówione wyżej przepisy lotów nad zboczem.

L o t y p r z y l o t n i s k o w e odbywają się, jak sama nazwa wskazuje, w najbliższej okolicy lotniska. Jednakże i w odległości kilku kilometrów od jego granic istnieją pewne obszary — tak zwane strefy — zarezerwowane dla przeprowadzania pewnych ćwiczeń lotniczych, jak np. strefa lotów bez widoczności, strefy akrobacji lub strefy lotów chmurowych itp., jak również bramy wylotowe i przylotowe dla samolotów oddalających się z lotniska poza rejon stref



Rys. 12—13. Przykładowy schemat układu stref przy lotnisku sportowym

pilotażu lub powracających nad lotnisko. Pilot szybowcowy szukając więc prądów wznoszących w pobliżu lotniska musi zwracać baczną uwagę, aby nie wejść w obszar takiej bramy lub strefy, gdzie łatwo może spotkać się z samolotem lub szybowcem wykonującym tam swoje zadanie.

Strefy te i bramy są dla danego lotniska stałe i każdy pilot musi zapamiętać sobie dobrze ich położenie.

Gdy szybowiec osiągnie wysokość ponad 1000 m, może latać również i nad startem samolotowym, jednakże w obrębie stref powinien zawsze zachowywać ostrożność.

L o t y s z y b o w c o w e w c h m u r a c h mogą być wykonywane w pobliżu lotniska w strefie do tego przeznaczonej lub też na przelotach poza korytarzami lotniczymi. Do lotów chmurowych mogą być dopuszczone szybowce wyposażone w odpowiednie przyrządy i radio, a piloci muszą posiadać wystarczające kwalifikacje pilotażowe oraz każdorazową zgodę kierownika lotów. Do chmury wolno wchodzić tylko od jej podstawy, wszelkiego rodzaju wchodzenie z boku chmury lub jej przebijanie z boku jest zabronione.

Do jednej chmury może wejść tylko jeden szybowiec, następny szybowiec może wejść do niej dopiero po upływie 10 minut. Wchodzenie do chmur burzowych z wyładowaniami elektrycznymi jest w ogóle zabronione.

Zasadniczym wykładnikiem latania szybowcowego są przeloty. Przed wybraniem się na przelot pilot musi spełnić pewne formalności obowiązujące w naszym lotnictwie sportowym, a więc: zaopatrzyć się w zezwolenie na przelot wydane przez kierownictwo lotów oraz w aktualny komunikat meteorologiczny, nie mówiąc już o komplecie map obejmującym większy obszar niż zamierzona trasa (czasem bowiem zdarza się, że pilot zboczy z zamierzonej trasy zmuszony do tego aktualnymi warunkami meteorologicznymi).

Odejście szybowca znad lotniska na trasę przelotu powinno się odbywać z wysokości nie mniejszej niż 1000 m. W czasie przelotu należy omijać w odpowiedniej odległości strefy zakazane oraz obce lotniska w odległości nie mniejszej niż 5 km, unikać korytarzy lotniczych, w których odbywają się przeloty samolotów komunikacyjnych, oraz nie przelatywać zbyt nisko nad miastami i osiedlami. Naturalnie chyba zbędne jest powtarzanie, że nie należy „popisywać się" swoimi umiejętnościami akrobacyjnymi nad znajomymi zabudowaniami — zwłaszcza na małych wysokościach. Rejestry wypadków lotniczych wskazują na to, że popisy takie kończą się bardzo smutno.

Jeżeli chodzi o sposób zachowania się pilota szybowcowego na przelocie, zwłaszcza w odniesieniu do wysokości lotu, to obowiązujące przepisy określają to w następujący sposób. W zasadzie zabrania się kontynuowania przelotu szybowcowego na wysokości poniżej 500 m nad terenem. W chwili więc, kiedy szybowiec obniży swoją wysokość do 500 m, pilot powinien rozejrzeć się za odpowiednim polem do lądowania, wybrać go kierując się w jego stronę oraz przeanalizować sposób podejścia do lądowania i cały manewr lądowania.

W przypadku, gdy w czasie krążenia nad wybranym polem do lądowania na wysokości nie niższej niż 300 m pilot znajdzie jeszcze noszenie, powinien je wykorzystać wznosząc się do wysokości przynajmniej 1000 m, po czym może znowu kontynuować dalej przerwany przelot.

Jeżeli jednak, krążąc nad wybranym lądowiskiem szybowiec obniży wysokość lotu poniżej 300 m, pilot powinien bezwzględnie przystąpić do wykonania manewru lądowania.

W czasie podchodzenia do lądowania w terenie przygodnym najlepiej jest zachować profil szybowania z otwartymi do połowy hamulcami aerodynamicznymi, unikać wykonywania zakrętów na małej wysokości oraz zwracać szczególną uwagę na przeszkody terenowe znajdujące się na podejściu do lądowania.

5. Wytyczne postępowania w terenie przygodnym

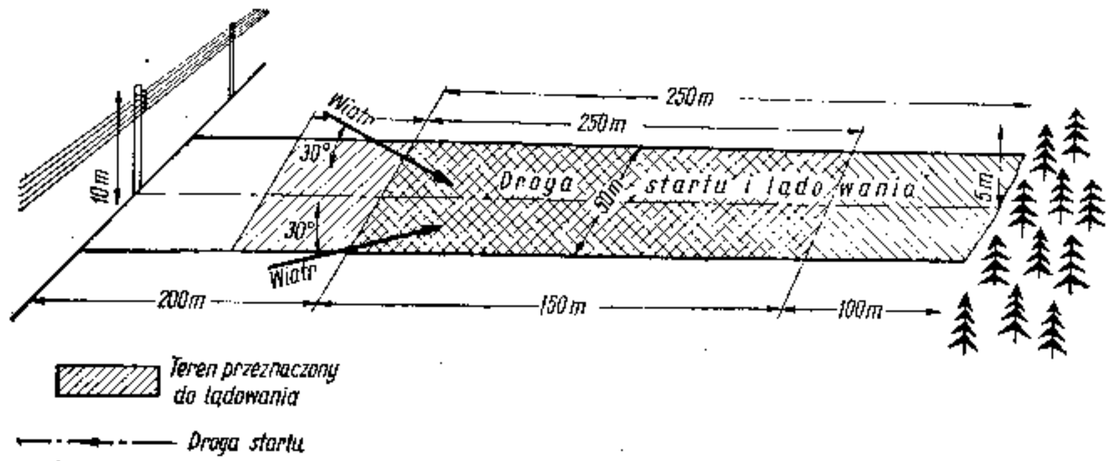
Wskazane jest, aby pole wybrane przez pilota do przygodnego lądowania znajdowało się w pobliżu osiedli lub gospodarstw rolnych, tak aby po wylądowaniu można było zorganizować opiekę nad szybowcem oraz aby możliwe było szybkie zawiadomienie macierzystego lotniska o wylądowaniu. Dużych miast należy raczej unikać, naturalnie jeżeli nie zachodzi możliwość lądowania na miejscowym lotnisku. Tereny podmiejskie bowiem są na ogół nieodpowiednie do lądowania, poprzecinane ogrodzeniami i pełne różnych pułapek. Również niebezpieczna jest duża liczba ludzi w okolicach podmiejskich, gdyż na widok krążącego nisko szybowca tworzy się zazwyczaj duże zbiegowisko, które może utrudnić lądowanie lub nawet spowodować wypadek.

Jeżeli pilot liczy się z powrotnym transportem kołowym, wybiera na ogół taki teren do lądowania, który według jego mniemania wystarczy tylko do bezpiecznego posadzenia szybowca. W przypadku jednak, kiedy chce być ściągnięty za pomocą samolotu, wybrane przez niego lądowisko musi spełniać minimum warunków bezpieczeństwa dla lądowania samolotu holującego oraz dla startu całego zespołu.

Minimalne rozmiary lądowiska, z którego może wystartować zespół z samolotem holującym typu stosowanego najczęściej w aeroklubach, zostały przedstawione na rysunku 12—14.

Lądowiska przygodne, na których dopuszcza się lądowanie i start samolotów holujących, powinny odpowiadać następującym warunkom:

— minimalne rozmiary pola 250 × 50 m, a dla samolotów o dużej mocy silnika („Gawron", „Wilga") 150 × 50 m;
— nawierzchnia twarda: rżysko, łąki suche, pastwiska, nieużytki, pola obsiane roślinnością o pędach nasiennych niższych niż 15 cm;
— amplituda nierówności przy bardzo łagodnych zmianach nie powinna przekraczać 25 cm; spadki nierówności terenowych nie powinny być większe niż 10%;
— przy spadku terenu, na którym znajduje się lądowisko, powyżej 3% lądowanie samolotu powinno się odbywać pod stok, a start do szybkości wiatru równej 5 m/sek ze stokiem;
— przedpola lądowiska (podejście do lądowania i startu) powinny być otwarte; w przypadku jakichkolwiek przeszkód pionowych na przedpolu rozmiar lądowiska musi być dłuższy od wymiarów podanych wyżej o 20 m na każdy 1 m wysokości przeszkody (patrz rys. 12—15);
— w przypadku gdy nawierzchnia jest lekko piaszczysta lub wilgotna, minimalne rozmiary lądowiska muszą wynosić 350 × 50 m;



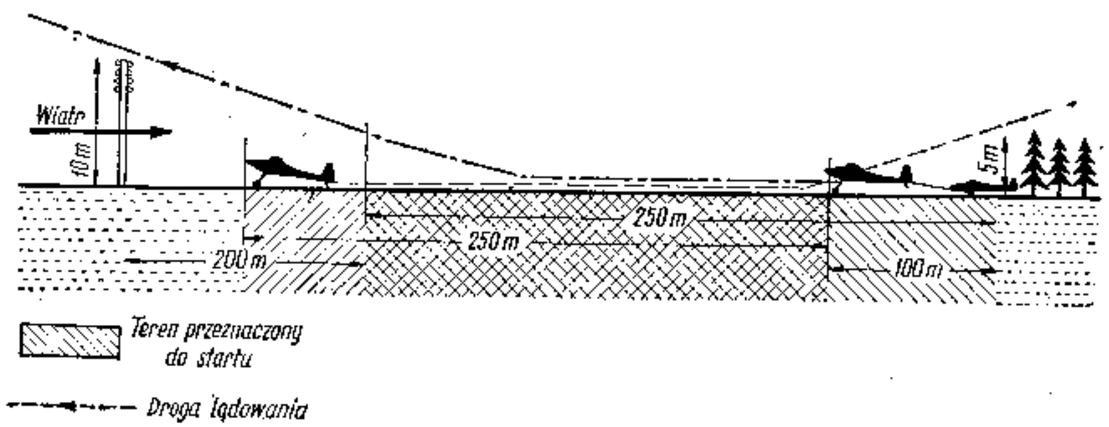
Rys. 12—14. Szkic przygodnego lądowiska do startu szybowcowego za samolotem

— odchylenie kierunku wiatru w odniesieniu do osi podłużnej lądowiska przy sile ponad 5 m/sek nie może przekraczać 30°.

W celu dokładnego zorientowania się o rozmiarach i przydatności lądowiska do przyjęcia samolotu, pilot szybowcowy, zanim zawiadomi własną jednostkę, powinien:

— określić rozmiary pola, mierząc je krokami (średni krok wynosi około 0,75 m);
— obejrzeć dokładnie nawierzchnię pola;
— obejrzeć dokładnie podejście do lądowania i przedpole startu;
— określić kierunek i siłę wiatru.

Po powzięciu decyzji o rodzaju transportu szybowca z miejsca lądowania pilot szybowcowy obowiązany jest niezwłocznie nadać do swej jednostki meldunek telefoniczny (bezpłatny na hasło LOT-ZAW), w którym powinien podać:



Rys. 12—15. Rzut boczny przygodnego lądowiska przygotowanego do lądowania samolotu holującego oraz startu zespołu

a) nazwisko i imię pilota;
b) typ i znaki rejestracyjne szybowca;
c) stan załogi i szybowca (jeżeli szybowiec jest choć trochę uszkodzony transport lotniczy jest wykluczony);
d) dokładne współrzędne geograficzne lądowiska lub jego położenie (kurs i odległość w stosunku do jakiegoś charakterystycznego obiektu znajdującego się w odległości nie większej niż 20 km na mapie 1 : 500 000);
e) rodzaj transportu — samolot czy samochód;
f) rozmiary lądowiska, rodzaj nawierzchni oraz charakterystykę podejścia do lądowania i startu (podając ewentualną wysokość przeszkód);
g) numer najbliższego telefonu w przypadku konieczności nawiązania łączności.

W czasie oczekiwania na samolot pilot szybowcowy powinien przygotować lądowisko do lądowania samolotu i startu zespołu, oraz poświadczyć lądowanie u miejscowych władz. Na przygotowanie lądowiska do przyjęcia samolotu holującego powinny się składać następujące czynności:

— oczyszczenie lądowiska z ewentualnych przeszkód, kamieni, kretowisk itp.;
— oznaczenie wiechami na kijach lub chorągiewkami przeszkód niemożliwych do usunięcia a łatwych do ominięcia przez samolot;
— wyłożenie w miejscu przyziemienia samolotu litery T wskazującej kierunek lądowania (z pożyczonych płócien, papieru, własnego kombinezonu itp.; literę T uważa się w tym przypadku jako tylny ogranicznik pasa lądowania; w przypadku gdy absolutnie nie ma możliwości lub czasu na zdobycie materiału do wyłożenia litery T, należy zamiast litery T ustawić odpowiednio szybowiec powiadamiając o tym we wspomnianym meldunku swoją jednostkę (opuszczone skrzydło w kierunku lądowania);
— zorganizować zabezpieczenie lądowiska przed ludźmi i zwierzętami przy pomocy milicji lub innych władz miejscowych;
— przygotować z boku litery T (z lewej lub prawej strony) w odległości około 50 m materiał na ognisko, które należy rozpalić w momencie pojawienia się w okolicy samolotu celem zwrócenia uwagi pilota i zorientowania go o kierunku wiatru;
— przygotować i poinstruować jedną z obecnych na lądowisku osób o sposobie podtrzymania skrzydła przy starcie zespołu z lądowiska;
— przygotować szybowiec do startu, zwracając jednak uwagę na to, aby nie przeszkadzał przy lądowaniu samolotu.

Jeżeli pilot samolotu holującego po przyleceniu nad pole przygotowane w terenie przygodnym przez szybownika uzna, że lądowisko nie nadaje się do startu zespołu, może wybrać do tego celu inny

teren w promieniu 2 km i wylądować na nim. Pilot szybowcowy jest zobowiązany w takim przypadku zorganizować transport szybowca na nowe lądowisko lub zawiadomić pilota samolotowego o tym, że nie jest to możliwe. Gdy jednak pilot samolotu nie decyduje się na lądowanie i transport szybowca za samolotem, zawiadamia o swej decyzji przelatując nisko nad literą T (nie niżej niż 20 m) oraz przechylając samolot trzykrotnie w obydwie strony. Oznacza to również, że pilot szybowcowy powinien przygotować szybowiec do transportu kołowego.

W czasie kołowania samolotu po polu pilot szybowcowy jest obowiązany prowadzić go za skrzydło. Przy ewentualnym zapuszczaniu silnika samolotu oraz w czasie jego grzania pilot szybowcowy jest głównym pomocnikiem pilota samolotowego, a ponadto organizatorem ochrony zabezpieczającej widzów przed wpadnięciem pod kręcące się śmigło samolotu. Pilotowi szybowcowemu wolno wsiąść do kabiny szybowca dopiero wtedy, gdy przygotuje cały zespół do startu, a widzów z pomocą ochrony ustawi z tyłu za szybowcem.

Pilot holujący startuje na wyraźny znak (lewa ręka podniesiona do góry) dany przez pilota szybowcowego. W czasie rozbiegu na lądowisku pilot szybowcowy ma obowiązek wyczepić się w przypadkach, gdy:

— przez nieporozumienie pilot holujący rozpoczął start, a szybowiec nie jest jeszcze gotowy do startu;
— pilot szybowcowy zauważył na przedpolu przeszkodę (człowieka, zwierzę) zagrażającą wykonaniu startu;
— szybowiec utracił kierunek lotu wskutek zaczepienia skrzydłem o ziemię lub o inną przeszkodę;
— samolot przekołował pas startu i nie może się oderwać od ziemi;
— samolot holujący uległ wypadkowi (kapotaż lub zderzenie z przeszkodą) albo z jakichkolwiek innych przyczyn przerwał wykonywanie startu.

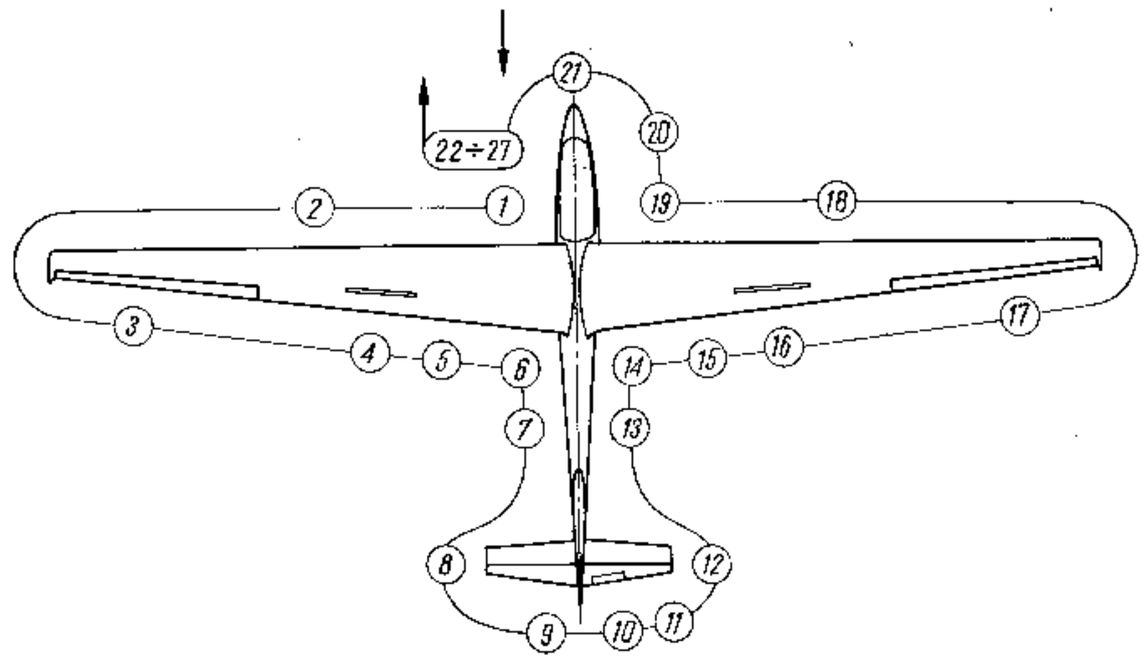
Z przygodnego terenu dopuszczalny jest również start na dwuholu, ale pod warunkiem, że samolot jest dopuszczony do holowania dwóch szybowców na raz oraz że lądowisko ma wymiary nie mniejsze niż: 500 m długości i 100 m szerokości, a ponadto równą nawierzchnię i przedpole startu bez przeszkód pionowych.

Jeżeli transport szybowca z terenu przygodnego nie jest możliwy w tym samym dniu lub gdy spodziewane jest pogorszenie się pogody (burza lub silne wiatry), pilot szybowcowy obowiązany jest odpowiednio zabezpieczyć szybowiec, tzn. zdemontować go i schować do nadającego się w tym celu pomieszczenia lub też zakotwiczyć odpowiednio niezmontowany szybowiec (najlepiej pod ścianą zabudowania, kadłub skierowany do ściany) oraz pozostawić przy nim na noc posterunek. Odpowiedzialność za całość sprzętu spoczywa na pilocie szybowcowym.

6. Przygotowanie szybowca do lotu

Przed wyprowadzeniem szybowca na start niezbędna jest jego szczegółowa kontrola przez pilota, która ma na celu wykrycie drobnych często i słabo widocznych usterek, mogących być jednak przyczyną poważnych wypadków. Kontrola ta powinna przebiegać metodycznie według schematu podanego na rysunku 12—16.

Korzystając z wszelkiego rodzaju wzierników i otworów kontrolnych należy sprawdzić przede wszystkim montaż okuć głównych —



Rys. 12—16. Schemat przeprowadzania kontroli stanu szybowca przed lotami; kontrolę przeprowadzać należy w kolejności wskazanej na rysunku strzałkami sprawdzając poszczególne elementy szybowca oznaczone kolejnymi liczbami:

1 — okucia główne lewego skrzydła, *2* — powierzchnia górna i dolna lewego skrzydła, *3* — lewa lotka i jej zawieszenie, *4* — lewy hamulec aerodynamiczny, *5* — lewa klapa i jej zawieszenie, *6* — tylne okucie lewego skrzydła, *7* — lewa strona kadłuba i podwozia głównego, *8* — lewa strona usterzenia wysokości (zawieszenie, zawiasy, montaż napędów itp.), *9* — usterzenie kierunku, *10* — płoza tylna (zamocowanie) i dolna część tyłu kadłuba, *11* — klapka wyważająca, *12* — prawa strona usterzenia wysokości, *13* — prawa strona kadłuba i podwozia głównego, *14* — tylne okucie prawego skrzydła, *15* — prawa klapa i jej zawieszenie, *16* — prawy hamulec aerodynamiczny, *17* — prawa lotka i jej zawieszenie, *18* — powierzchnia górna i dolna prawego skrzydła, *19* — okucie główne prawego skrzydła, *20* — przód kadłuba (prawa i lewa strona), *21* — limuzyna (zamykanie, otwieranie i urządzenie do awaryjnego zrzucenia), *22* — kabina pilota (stan ogólny — czy nie ma luźnych i nie zabezpieczonych przedmiotów), *23* — wręga główna (o ile dostępna), *24* — fotel pilota (oparcie i pasy), *25* — sterownica, pedały, dźwignie napędów (hamulce, klapka wyważająca, zaczep) — próba funkcjonowania, *26* — przyrządy pokładowe (odbezpieczenie dysz, sprawdzenie połączeń przewodów, sprawność baterii do napędu zakrętomierza itp.), *27* — sprawdzenie warunków użytkowania szybowca (ważność dopuszczenia szybowca do lotów, ograniczenia itp.) na podstawie książki pokładowej

Uwaga: **montaż skrzydeł i usterzeń sprawdzić przez rytmiczne poruszanie końcami skrzydeł lub usterzeń**

zwłaszcza jeżeli szybowiec był ostatnio demontowany — oraz skontrolować montaż okuć i zawieszeń usterzeń oraz lotek, całość napędów, wychylenia drążka sterowego i pedałów, a ponadto działanie hamulców aerodynamicznych i ewentualnie klap wyporowych — o ile szybowiec jest w nie wyposażony. Należy również obejrzeć pokrycie zewnętrzne szybowca — czy nie ma pęknięć albo wgnieceń, groźnych zwłaszcza na kesonach i kadłubie. Sprawdzić ponadto działanie zaczepu, podwozia oraz przyrządów.

Wszystkie ewentualne usterki wykryte w czasie kontroli muszą być przed startem usunięte. Ostatnim elementem kontroli jest zapoznanie się pilota z instrukcją użytkowania i książką pokładową szybowca, a przede wszystkim z zakresem użytkowania szybowca oraz ograniczeniami w locie danego egzemplarza.

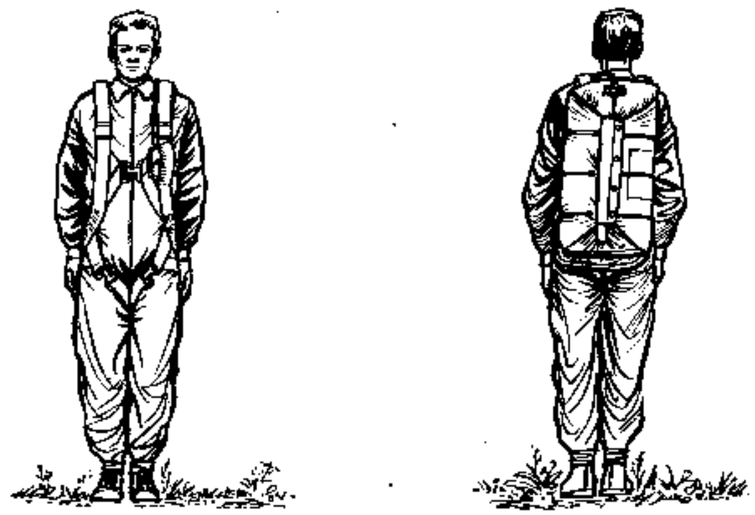
Ze względu na bezpieczeństwo niezbędne jest meldowanie obsłudze technicznej nie tylko o wszystkich zauważonych, nawet drobnych uszkodzeniach, ale również o twardych lądowaniach w terenie oraz o wszystkich innych przypadkach nieprawidłowego użytkowania.

7. Spadochrony

Wytrzymałość szybowca jest ograniczona i zapewnia pilotowi bezpieczeństwo pod warunkiem, że nie przekroczy on dopuszczalnego zakresu użytkowania. W praktyce jednak zdarzają się przypadki nadmiernego rozpędzania szybowca lub wykonywania zbyt brutalnych ewolucji, co powoduje obciążenia wyższe niż konstrukcja szybowca jest zdolna przenieść. Dlatego też wymaga się, przewidując z góry możliwość przekroczenia doraźnej wytrzymałości szybowca, aby załoga szybowca zaopatrzona była w spadochrony.

Ograniczona wytrzymałość szybowca nie jest jedynym powodem, dla którego w lotach szybowcowych wymagane jest posiadanie spadochronów. Niestety zdarzają się również wypadki zderzenia się szybowców w powietrzu i wówczas często jedynym sposobem ocalenia jest skok ze spadochronem z uszkodzonego szybowca. Niezbędne jest również posiadanie spadochronu w lotach holowanych, a to ze względu na możliwość powstania niebezpiecznych sytuacji w czasie lotu zespołu samolot-szybowiec, spowodowanych np. przez silną turbulencję atmosfery, błędy pilotażowe itp.

W szybownictwie używa się prawie wyłącznie spadochronów typu plecowego (rys. 12—17). Są to tak zwane spadochrony ratownicze, tzn. że nie są one używane do skoków treningowych, lecz zabezpieczają jedynie życie załogi (prędkość opadania rzędu 7 m/sek) umożliwiając jej ratowanie się w przypadku, gdy szybowiec lecąc w powietrzu stanie się nagle niezdatny do dalszego lotu. Istnieją przy



Rys. 12—17. Ogólny wygląd pilota z założonym spadochronem plecowym
a — widok z przodu, *b* — widok z tyłu

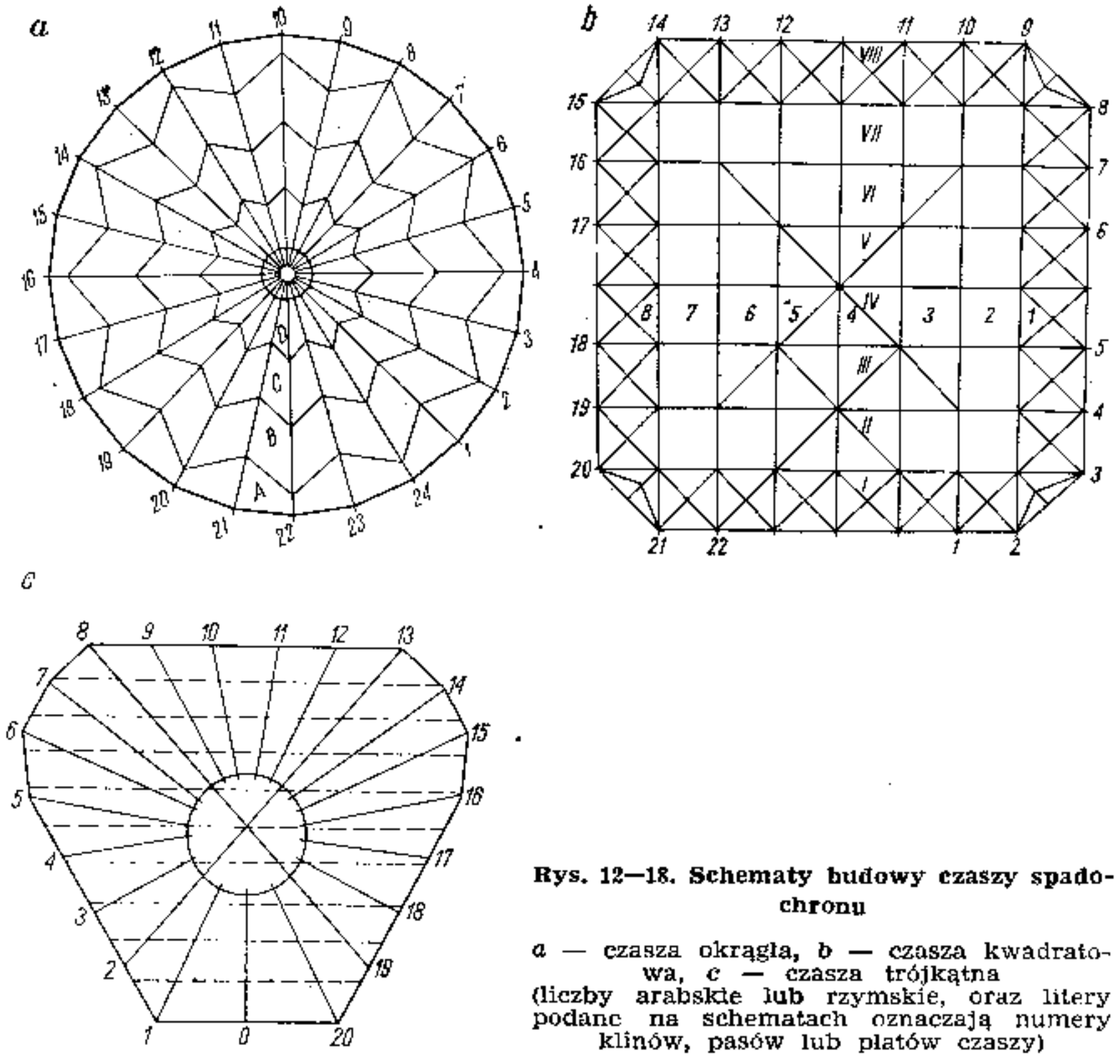
tym zależnie od konstrukcji spadochrony ratownicze o czaszy okrągłej, kwadratowej, a nawet trójkątnej (u nas nie spotykane). Schematy budowy czasz spadochronowych podano na rysunku 12—18.

Najczęściej spotykanymi spadochronami ratowniczymi są spadochrony o czaszy okrągłej (powierzchnia około 42 m², średnica około 7,5 m, ciężar kompletnego spadochronu około 10 kG).

Spadochron ratowniczy z czaszą okrągłą składa się z następujących zasadniczych części: spadochronika wyciągającego (zwanego również pilocikiem, który np. nie występuje przy czaszach kwadratowych), czaszy, linek nośnych, uprzęży, pokrowca oraz urządzenia zamykającego i otwierającego (rys. 12—19).

S p a d o c h r o n i k w y c i ą g a j ą c y jest to mały spadochron, który służy do szybkiego i prawidłowego wyciągania czaszy spadochronu z pokrowca w czasie otwierania. Zapobiega on przed owinięciem skoczka w czaszę lub linki nośne w czasie skoku. Istnieją różne rozwiązania spadochroników wyciągających, spośród których najbardziej znane są: spadochroniki miękkie okrągłe oraz usztywnione kwadratowe (usztywnione za pomocą sprężyny otwierającej spadochronik natychmiast po otwarciu pokrowca).

C z a s z a s p a d o c h r o n u po otwarciu spadochronu zmniejsza prędkość spadania skoczka z około 50 m/sek (opadanie z zamkniętym spadochronem) do bezpiecznego opadania rzędu 7 m/sek. Może ona być wykonana z tkaniny bawełnianej (w spadochronach ratowniczych na ogół nie stosowana), jedwabiu naturalnego lub tworzyw sztucznych (steelon, nylon, kapron itp.). Uszyta jest przy tym z pewnej liczby klinów (różna zależnie od typu — przeciętnie 24—28),



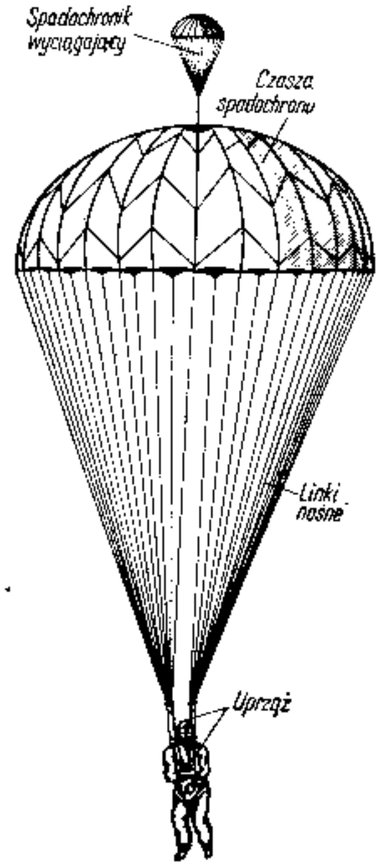
Rys. 12—18. Schematy budowy czaszy spadochronu

a — czasza okrągła, *b* — czasza kwadratowa, *c* — czasza trójkątna (liczby arabskie lub rzymskie, oraz litery podane na schematach oznaczają numery klinów, pasów lub płatów czaszy)

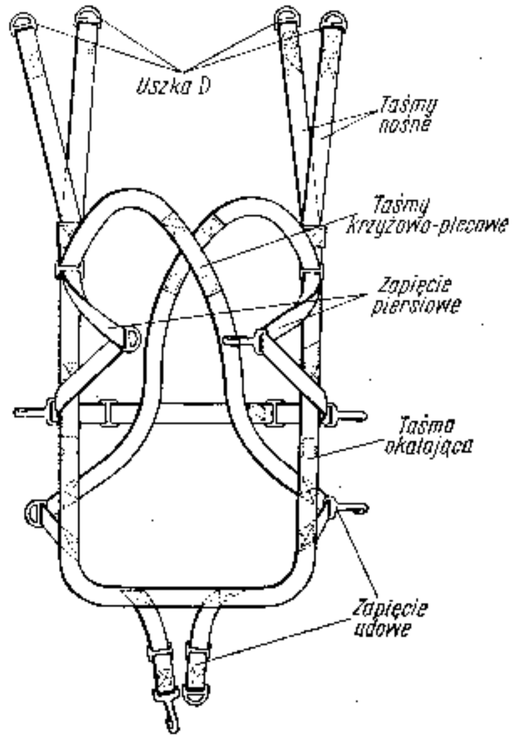
a każdy klin z czterech płatów (np. *A, B, C, D* — na rys. 12—18a). W środku czaszy (na jej szczycie w stanie otwartym) znajduje się okrągły otwór zwany kominkiem, przez który wypływa zagęszczane pod czaszą powietrze ustateczniając tym samym spadochron w czasie opadania (czasze kwadratowe i trójkątne nie mają kominków, ale tzw. kil — tj. szerszy odstęp między dwiema linkami — przez który uchodzi nadmiar powietrza, nie mają one również klinów, lecz pasy — w liczbie 4—12 — o jednakowej szerokości).

L i n k i n o ś n e, wykonane z plecionki jedwabnej lub bawełnianej, są wszyte w czaszę spadochronu w miejscu połączenia klinów (pasów w czaszach kwadratowych) i krzyżują się w kominku, a ich końce połączone są z uszkami *D* uprzęży spadochronu (z czterema taśmami nośnymi).

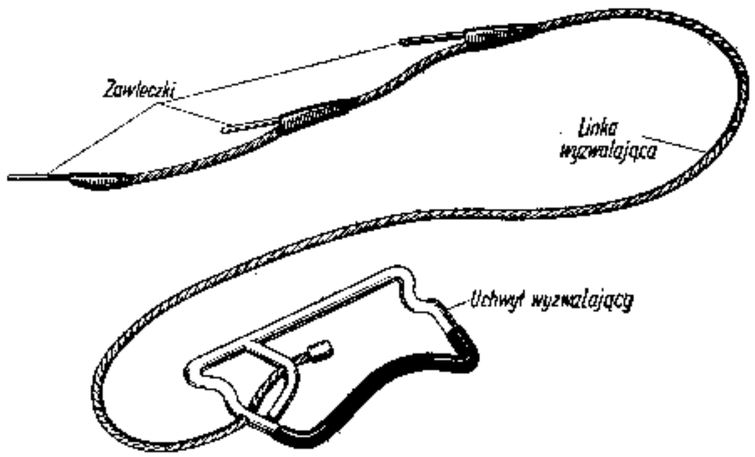
U p r z ą ż s p a d o c h r o n u, wykonana z taśmy bawełnianej, lnianej, bawełniano-lnianej, bawełniano-steelonowej lub steelonowej,



Rys. 12—19. Ogólny widok spadochronu ratowniczego z czaszą okrągłą



Rys. 12—20. Uprząż spadochronu plecowego



Rys. 12—21. Linka wyzwalająca spadochron z uchwytem i zawleczkami

składa się z zespołu taśm umożliwiających przymocowanie ciała skoczka do spadochronu, pozwalających na równomierne rozłożenie ciężaru spadającego człowieka w czasie otwarcia czaszy oraz zapewniających właściwe położenie skoczka w czasie opadania na spadochronie i podczas lądowania.

Uprząż spadochronu składa się z taśm nośnych, których przedłużeniem jest taśma okalająca. Taśmy nośne z kolei zakończone są uszkami *D*, do których umocowane są linki nośne spadochronu. Do taśmy okalającej zamocowane są taśmy krzyżowo-plecowe (do nich umocowany jest pokrowiec), kieszonka na uchwyt wyzwalający oraz taśmy tworzące zapięcie piersiowe. W dolnej części taśmy okalającej zamocowane są ponadto dwie taśmy, które tworzą zapięcie udowe (w niektórych typach spadochronów zapięcie piersiowe i zapięcia udowe zostały zastąpione przez zamek centralny zwany również szybkoodpinaczem).

Pokrowiec spadochronu, przymocowany do uprzęży, służy do pakowania w nim linek nośnych, czaszy i spadochronika wyciągającego w taki sposób, aby umożliwiał łatwe i bezbłędne otwarcie spadochronu. Kształt i budowa mogą być różne, zależnie od przeznaczenia (usztywniony metalową ramką lub miękki; na ogół ma cztery klapy oraz kieszonki na linki nośne).

Urządzenie zamykające i otwierające składa się z następujących części:

— metalowych stożków zapinających i oczek wszytych w klapy pokrowca, spełniających rolę zamka pokrowca;
— ściągaczy gumowych lub sprężynowych, służących do szybkiego odrzucenia klap pokrowca na boki;
— linki wyzwalającej zakończonej z jednej strony uchwytem, z drugiej natomiast zawleczkami ustalającymi oczka na stożkach, zapinających klapy pokrowca w stanie zamkniętym — przy spadochronie złożonym i przygotowanym do użytku (rys. 12—21);
— elastycznego ochraniacza linki wyzwalającej, zabezpieczającego ją przed przedwczesnym wyciągnięciem lub uszkodzeniem w czasie normalnego użytkowania spadochronu.

Przed założeniem spadochronu do lotów pilot powinien dokładnie dopasować jego uprząż do swojej osoby. Do tego celu służą klamry ruchome przy zapięciu piersiowym i zapięciach udowych. Spadochron powinien być dopasowany w takiej pozycji, w jakiej pilot odbywa lot. Zbyt luźna uprząż może zaczepić się o wystające części szybowca w czasie skoku oraz spowodować obrażenia przy otwarciu spadochronu. Jednakże nie należy również uprzęży dopasowywać zbyt ciasno, bowiem może ona tamować obieg krwi i powodować drętwienie nóg oraz ograniczać ruchy.

W żadnym przypadku nie wolno startować z nie zapiętymi klamrami spadochronu lub też rozpinać ich w czasie lotu. Wypadki zdarzają się przeważnie niespodziewanie i wówczas nie ma już czasu na szukanie oraz dopinanie klamer.

Na wysokości piersi i z lewej strony uprzęży znajduje się uchwyt do otwierania spadochronu. Umieszczony jest on w małej kieszonce przymocowanej do uprzęży.

Na pokrowcu spadochronu znajduje się numer kolejny spadochronu oraz przyszyta kieszonka, w której umieszczona jest karta kontrolna (zwana kontrolką) składań spadochronu. Każdy spadochron powinien mieć swoją metrykę, świadectwo oględzin oraz kartę kontrolną składania. Spadochronu, który nie ma tych dokumentów nie wolno używać do lotów.

Każdy spadochron musi być co 30 dni rozkładany, przeglądany i przewietrzany. Po każdorazowym złożeniu spadochronu do karty kontrolnej i metryki zostaje wpisana data składania i nazwisko składającego (jego podpis). Naturalnie składać spadochron mogą tylko ludzie do tego upoważnieni — tzw. składacze spadochronów.

Pilot pobierając spadochron do lotów powinien każdorazowo sprawdzić czy jest on zaplombowany, czy ma wszystkie ściągacze, czy nie jest powierzchownie uszkodzony, czy ma ważne świadectwo oględzin oraz czy od ostatnich oględzin nie upłynęło więcej niż 30 dni.

W czasie transportu na start lub ze startu nie wolno przewozić spadochronów razem z akumulatorami, chemicznymi środkami przeciwpożarowymi, smarami oraz częściami lub narzędziami mogącymi go uszkodzić (ostre przedmioty). W tym czasie oraz we wszystkich innych przypadkach, kiedy nie jest on użytkowany przez pilota lub przewietrzany, składany albo naprawiany przez personel spadochroniarni, powinien być zamknięty w torbie transportowej. Nie należy spadochronu kłaść bezpośrednio na ziemi, trzeba go chronić przed promieniami słonecznymi (nie kłaść w charakterze „obciążenia" skrzydła szybowca) oraz przed deszczem lub wilgocią.

Przed lotem należy spadochron „uzbroić" tzn. naciągnąć ściągacze. Należy przy tym uważać, aby ich nie skrzyżować na klapach pokrowca, ponieważ uniemożliwiłyby otwarcie się spadochronu. Po lotach należy spadochron „rozbroić" tzn. zwolnić ściągacze, a następnie złożyć spadochron do torby transportowej i zwrócić go do spadochroniarni do przechowania.

Załoga zobowiązana jest do wykonania skoku ratowniczego we wszystkich tych przypadkach, gdy normalne lądowanie szybowca nie jest możliwe i powstaje zagrożenie życiu załogi z powodu całkowitej lub częściowej utraty zdolności do lotu, tzn. gdy np. stery odmówią posłuszeństwa, szybowiec zderzy się w powietrzu, nastąpi uszkodzenie szybowca w locie chmurowym itp.

Bezpieczny przebieg skoku ratowniczego zależy w dużej mierze od czasu, w jakim pilot potrafi opuścić kabinę szybowca. Przeciętnie

czas ten nie powinien przekraczać 5 do 10 sek, pod warunkiem że pilot jest prawidłowo przypięty, tzn. pasy przyczepne pilota nie są skręcone z pasami spadochronu lub schowane pod kołnierz kurtki, a zatyczka spinająca pasy pilota jest łatwo dostępna i ma odpowiedni uchwyt ułatwiający momentalne jej otwarcie. Nie wolno w żadnym przypadku zabezpieczać zatyczki spinającej przed samoczynnym jej otwarciem w sposób inny niż to zostało przewidziane w instrukcji użytkowania.

Pilot ratując się skokiem przymusowym z szybowca musi wykonać następujące czynności:

a) odrzucić limuzynę pociągając za gałkę zrzutu awaryjnego, przy czym musi uważać, aby opadająca limuzyna nie uderzyła go w głowę;
b) odpiąć pasy przyczepne pilota oraz odrzucić je na boki i do tyłu;
c) przytrzymując się rękami za burty szybowca podkurczyć nogi stojąc nimi na fotelu, a następnie odbić się silnie od fotela i opuścić kabinę wyskakując na zewnątrz szybowca — nad lub pod jego skrzydło.

Jeżeli szybowiec wyposażony jest w instalację radiową lub aparaturę tlenową, należy jeszcze przed odpięciem pasów odłączyć przewody łączące te instalacje z ekwipunkiem osobistym pilota.

Jeżeli uszkodzenie szybowca nastąpiło powyżej 4500 m, pilot powinien, o ile jest to możliwe, pozostać w szybowcu do ww. wysokości korzystając z tlenu instalacji pokładowej.

Jeżeli szybowiec pozostał nadal sterowny, należy postarać się przede wszystkim wyrównać go do lotu prostego z małym opadaniem i wyważyć klapką wyważającą, a następnie dopiero przygotować się do skoku. W przypadku jednak gdy szybowiec kręci zacieśniającą się spiralę lub korkociąg i pomimo początkowych starań nie przerywa kręcenia, nie należy zwlekać ze skokiem, gdyż w ciasnej spirali lub korkociągu wzrasta przeciążenie, które może uniemożliwić później pilotowi opuszczenie kabiny.

Skok z szybowca znajdującego się w spirali lub korkociągu powinien odbywać się do wewnątrz zakrętu. Z położenia odwróconego szybowca (pozycji plecowej) wystarczy odrzucić limuzynę i odpiąć pasy przyczepne, aby wypaść z kabiny. Skok w czasie lotu stromego wykonuje się jak w locie poziomym, trzeba jednak szczególnie silnie odbić się przy opuszczaniu kabiny, aby uniknąć uderzenia przez usterzenie szybowca.

Jeżeli skok nastąpił na bezpiecznej wysokości, pilot powinien o p ó ź n i ć o t w a r c i e s p a d o c h r o n u przynajmniej o 3 sek, aby nie wejść w kolizję z opuszczonym szybowcem lub jego częściami. Opóźnienie otwarcia jest bezwzględnie konieczne, jeżeli skok nastąpił w spirali lub korkociągu, gdyż szybowiec krąży w pobliżu skoczka i łatwo może go uderzyć.

Opóźnienie otwarcia spadochronu należy również stosować przy skoku w chmurze, tzn. otwierać spadochron dopiero po takiej liczbie sekund jaka wynika z zapasu wysokości, aby nie przebywać na otwartym spadochronie w strefie silnych noszeń. Może to bowiem doprowadzić do utrzymywania pilota przez długi okres czasu na dużej wysokości (zimno, brak tlenu), a nawet w skrajnych przypadkach — do wyniesienia na większą wysokość.

Aby móc przeprowadzić kalkulację opóźnień otwarcia spadochronu zależnie od wysokości skoku, pilot musi sobie zdawać sprawę z tego jak przebiega utrata wysokości w czasie swobodnego spadania ciała z zamkniętym spadochronem. W tym celu podano poniżej zestawienie, z tym zastrzeżeniem, że skok następuje z lotu poziomego lub zbliżonego do tego stanu lotu. We wszystkich innych przypadkach należy się liczyć z prędkością opadania nadaną przez opadający szybowiec.

A więc po: pierwszej sekundzie pilot utraci 5 m wysokości,
po drugiej sekundzie — 20 m wysokości,
po trzeciej sekundzie — 45 m wysokości,
po czwartej sekundzie — 75 m wysokości,
po piątej sekundzie — 110 m wysokości,
po szóstej sekundzie — 147 m wysokości,
po siódmej sekundzie — 193 m wysokości,
po ósmej sekundzie — 240 m wysokości,
po dziewiątej sekundzie — 288 m wysokości,
po dziesiątej sekundzie — 340 m wysokości,
w czasie każdej następnej sekundy pilot traci dodatkowo po 50 m wysokości.

Natychmiast po oddzieleniu się od szybowca pilot powinien ująć prawą ręką uchwyt linki wyzwalającej, aby móc w odpowiednim momencie wyszarpnąć go i o t w o r z y ć s p a d o c h r o n. Nie wolno wyciągać uchwytu linki wyzwalającej przed zupełnym oddzieleniem się od szybowca, gdyż przedwczesne otwarcie spadochronu może spowodować zaplątanie się czaszy w usterzenia. Spadochron powinno się otwierać najwcześniej — jak już wspomniano wyżej — po 3 sek od chwili opuszczenia szybowca, co łącznie z czasem otwierania się spadochronu wynoszącym około 2 sek da ponad 100 m ustraty wysokości i zagwarantuje bezpieczne otwarcie spadochronu.

Wychodząc z podanych wyżej założeń można obliczyć wysokość niezbędną do bezpiecznego wykonania skoku. Przyjmując przy tym, że czas jaki upłynie od momentu powzięcia decyzji do opuszczenia szybowca przez pilota wynosi 10 sek, to wysokość jaką straci szybowiec w locie zbliżonym do normalnego — zakładając prędkość opadania 5 m/sek — wyniesie 50 m, zaś w locie stromym — zakładając 30 m/sek — odpowiednio wyniesie 300 m. A więc zawsze bezpieczną wysokością skoku będzie 400 m, zaś 200 m dolną grani-

cą — przy skoku z szybowca lecącego lotem zbliżonym do normalnego.

Po oddzieleniu się od szybowca należy nogi wyprostować i złączyć razem, ręce natomiast: lewą — przyciśniętą wzdłuż tułowia, prawą — trzymającą uchwyt linki wyzwalającej. O złączeniu nóg i przyciśnięciu rąk do tułowia pilot powinien pamiętać, ponieważ otwierający się spadochron może przy niektórych położeniach ciała zaczepić powodując obrażenia. Z takim ułożeniem kończyn pilot spada odliczając założoną liczbę sekund opóźnienia, a następnie energicznym ruchem pociąga za uchwyt linki wyzwalającej.

Rys. 12—22. „Krzyżowanie szelek" (taśm nośnych) w celu obrócenia się przed lądowaniem twarzą w kierunku znoszenia

Dość mocne szarpnięcie i zahamowanie spadania jest oznaką, że spadochron otworzył się. Teraz pilot sprawdza — patrząc do góry — czy czasza spadochronu otworzyła się całkowicie. W przypadku, gdy zauważy, że część linek została zarzucona ponad czaszą i przedziela ją na dwie części, należy mniejszą część czaszy lekko ściągnąć na siebie z jednoczenym potrząsaniem linkami lub linką przedzielającą czaszę.

Po sprawdzeniu stanu czaszy — jeśli jest na to czas — należy zabezpieczyć uchwyt z linką wyzwalającą (najlepiej na karabińczyk zapięcia piersiowego), a następnie podciągnąć dolną część taśmy okalającej pod siedzenie i zająć wygodną pozycję półsiedzącą (stopy razem, nogi lekko zgięte w kolanach). Następnie należy zorientować się, jaki jest kierunek znoszenia przez wiatr i jakie będzie miejsce przypuszczalego lądowania (otwarte pole, las, woda itp.). W celu ominięcia jakiejś przeszkody lub przesunięcia się w jakimkolwiek kierunku należy wykonać ślizg — chwytając ręką szelkę nośną od strony zamierzonego ślizgu i ściągając ją około 50 cm ku sobie. Jeżeli spadochron zacznie kołysać się, należy tłumić wahania ściągając ruchem płynnym szelki nośne z tej strony, z której krawędź czaszy podnosi się, zaś w czasie ruchu w dół — szelki popuszczać.

Na wysokości około 150 m nad ziemią pilot powinien obrócić się twarzą w kierunku znoszenia, czyli z wiatrem w plecy. W tym celu należy „skrzyżować szelki" (taśmy nośne) nad głową, jak to podano na rysunku 12—22. W czasie skrzyżowania taśmy nośne zostaną skręcone, czasza pozostanie w miejscu, a skoczek obróci się o kąt zależny od wielkości skręcenia taśm. Skręcone taśmy nie przeszkadzają przy lądowaniu.

Zbliżając się do ziemi pilot powinien nogi wychylić nieco do przodu — zależnie od siły wiatru — i trzymać je złączone razem, stopy równolegle do powierzchni ziemi, mięśnie lekko naprężone. Lądować należy na całe stopy obu nóg, a po wylądowaniu paść na ziemię

w kierunku, w którym ciągnie czasza. Następnie należy „zgasić" czaszę podciągając kilka dolnych linek.

W przypadku gdy lądowanie ma nastąpić w rzece lub jeziorze, należy głęboko usiąść na taśmie okalającej, a następnie rozpiąć zapięcia udowe i piersiowe. Zbliżając się do zwierciadła wody należy uchwycić taśmy nośne rękami jak najwyżej, po czym podciągnąć się nieco i wyprężyć tułów, aby szelka okalająca przesunęła się na plecy. W momencie zetknięcia się z wodą należy puścić taśmy spadochronu, który zostanie odniesiony przez wiatr od miejsca wodowania. W czasie samego wodowania nie jest ważne, czy pilot opada przodem w kierunku znoszenia, tyłem czy bokiem. Dalsze powodzenie akcji ratunkowej zależy wyłącznie od umiejętności pływackich pilota, jeżeli nie został on wyposażony w kamizelkę ratowniczą (nad terenami wodnymi jest obowiązek wykonywania lotów z kamizelką ratunkową).

W przypadku konieczności skoku z szybowca w położeniu normalnym z wysokości mniejszej niż 200 m lub też z wysokości mniejszej niż 400 m z lotu stromego należy skok wykonać metodą „zrywu". Metoda ta polega na tym, że pilot podnosi się na siedzeniu, wystawia spadochron poza obręb kabiny i skurczywszy się do maksimum wyciąga uchwyt linki wyzwalającej. Spadochron otwierając się wyciąga w takim przypadku pilota z kabiny.

Tę metodę można stosować z powodzeniem wtedy, gdy prędkość lotu szybowca jest dość znaczna.

8. Fizjologia i higiena pilota

Zagadnieniem nie mniej ważnym niż całkowita sprawność szybowca jest odpowiednia sprawność pilota. Te dwa zagadnienia są właściwie nierozłączne i uzupełniają się nawzajem. Należy przy tym zaznaczyć, że pilot jest dużo bardziej skomplikowanym mechanizmem niż szybowiec i trudniej jest skontrolować przed lotem jego stan fizyczny i psychiczny, aniżeli sprawność techniczną szybowca.

Aby zabezpieczyć się przed różnego rodzaju przykrymi niespodziankami, na pilotów typuje się ludzi całkowicie zdrowych i posiadających odpowiednią dyspozycję psychiczną. Oceną stanu zdrowia kandydatów i pilotów zajmuje się Ośrodek Badań Lotniczo-Lekarskich, którego zadaniem jest wybór kandydatów najbardziej nadających się do szkolenia lotniczego, a następnie nadzorowanie ich kondycji fizycznej i psychicznej.

Wyczynowe latanie szybowcowe wymaga od pilota, oprócz ogólnie dobrego zdrowia, również dużej dozy inteligencji, opanowania oraz umiejętności koncentracji uwagi. Ustawiczne wyszukiwanie komin-

lub też prowadzenie szybowca w locie bez widoczności w wypiętrzonych chmurach kłębiastych przy akompaniamencie silnych rzucań jest zadaniem trudnym i wyczerpującym nerwowo. Jasne jest, że w takich warunkach pilot skłonny do choroby powietrznej może łatwo stracić panowanie nad szybowcem i spowodować wypadek.

Choroba powietrzna, objawiająca się nudnościami, wymiotami a nawet omdleniem, powodowana jest w pierwszym rzędzie przez zbytnie uczulenie narządów zmysłu równowagi znajdujących się w uchu wewnętrznym, jak również przez cały splot reakcji organizmu na często powtarzające się obciążenia o zmiennym znaku. Osoba podatna na chorobę powietrzną z reguły nie wytrzymuje długotrwałego krążenia, które dominuje w lotach szybowcowych i nie może być dobrym pilotem szybowcowym.

Odporność na chorobę powietrzną można sobie — w wielu przypadkach — wyrobić stosując odpowiednie ćwiczenia gimnastyczne, które stopniowo przyzwyczajają organizm do zmiennych obciążeń. Ponadto znany jest również szereg środków chemicznych zapobiegających chorobie powietrznej. Ze względu jednak na ich oddziaływanie na ośrodki nerwowe używanie przez pilotów jest niewskazane.

Dobry wzrok jest dla pilota szybowcowego równie niezbędny, jak dla pilota samolotowego, a związana z tym prawidłowa ocena odległości — zwłaszcza przy lądowaniu — jest zagadnieniem zasadniczym. Szybowiec bowiem, chociaż łatwiejszy od samolotu w samym momencie przyziemienia, jest jednak obarczony tą zasadniczą wadą, że raz znalazłszy się nisko nad ziemią musi bezapelacyjnie lądować i pilot nie ma możliwości „dodawszy gazu" szukać innego miejsca do lądowania.

Loty w chmurach wykonywane na szybowcach w celu osiągnięcia dużych wysokości są z reguły trudniejsze niż loty bez widoczności wykonywane na samolotach. Pilot szybowcowy bowiem, chcąc wykorzystać intensywne prądy wznoszące występujące wewnątrz chmury, krąży w obszarze silnych rzucań prowadząc szybowiec jedynie na podstawie wskazań przyrządów. Należy tu dodatkowo zaznaczyć, że pilotaż bez widoczności w burzliwej atmosferze jest bardzo trudny i pilot musi bezustannie kontrolować swoje odruchy, gdyż zmysł równowagi w locie bez widoczności ziemi zawodzi całkowicie.

Dodatkowe trudności w czasie lotów w chmurach stwarzają dość szybkie zmiany ciśnienia występujące wskutek wznoszenia się lub opadania szybowca. Duże spadki ciśnienia odpowiadające wysokościom ponad 4000 m wymagają już użycia aparatury tlenowej. Wysokość, przy której pilot zaczyna odczuwać głód tlenowy, jest oczywiście różna dla różnych pilotów, co więcej — może być ona różna dla jednej i tej samej osoby zależnie od jej aktualnego stanu zdrowia, stopnia zmęczenia itp.

Chorobę wysokościową charakteryzują takie objawy jak: utrudnione oddychanie i zaburzenia jego rytmu, niepewność ruchów, drżenie rąk i senność. Groźniejsze są jednak towarzyszące tym objawom zewnętrznym zaburzenia psychiczne, którym podlega pilot nie zdając sobie najczęściej z tego sprawy. Do zaburzeń takich należą m. in. ograniczenie uwagi i szybkości refleksu, spadek sprawności myślenia, beztroskie samopoczucie i lekceważenie niebezpieczeństwa. Przy dalszym powiększaniu wysokości pilot popada w omdlenie, przebywanie zaś bez tlenu powyżej 7000 m bezapelacyjnie grozi śmiercią w ciągu paru minut. Korzystanie z instalacji tlenowej pozwala na loty do wysokości 12 000 m, wysokości większe mogą być osiągane już tylko w kabinach ciśnieniowych lub w specjalnych skafandrach.

W przypadku przerwania dopływu tlenu pilot powinien jak najszybciej dążyć do obniżenia wysokości lotu, najlepiej przez bezzwłoczne otwarcie hamulców aerodynamicznych, które nawet w przypadku utraty przytomności przez pilota nie dopuszczą do grożącego niebezpieczeństwem rozpędzenia się szybowca. Po obniżeniu się z powrotem do wysokości 4000—5000 metrów pilot bardzo szybko odzyska przytomność.

Do lotów wysokościowych mogą być dopuszczeni tylko ci piloci, którzy przejdą z wynikiem pozytywnym badania w komorze ciśnieniowej. Należy przy tym zaznaczyć, że pilot posiadający wady lub uszkodzenia narządów wewnętrznych ucha, albo nosa nie może być dopuszczony do lotów ze względu na trudności w wyrównywaniu się ciśnienia panującego wewnątrz kanałów ucha środkowego z ciśnieniem zewnętrznym, co może doprowadzić w rezultacie do pęknięcia bębenka w uchu połączonego z silnym bólem, a nawet utratą przytomności. Ponadto, jeżeli pilot — nawet przejściowo — cierpi na katar, powinien unikać wykonywania lotów wysokościowych, ponieważ kanały ucha i nosa są wówczas niedrożne i zmiana ciśnienia może wywołać silne bóle ucha, lub też spowodować stan zapalny ucha środkowego albo zatok czołowych.

Wytrzymałość organizmu ludzkiego na wpływ przeciążeń omawiana już była częściowo w rozdziale drugim traktującym o obciążeniach i wytrzymałości szybowca. Jak przedstawiono na rysunku 2—5 wytrzymałość organizmu ludzkiego jest zależna od kierunku działania przyspieszeń oraz czasu ich działania.

Przeciążenia występują przede wszystkim w czasie wykonywania akrobacji, w mniejszym zaś stopniu w lotach termicznych. Przy działaniu przyspieszeń dodatnich, tzn. działających od głowy ku nogom pilota, krew wpływa do jamy brzusznej, co wyłącza duże ilości krwi z obiegu i wywołuje niedokrwienie mózgu oraz znacznie utrudnia pracę serca.

Pierwszym objawem reakcji organizmu na przeciążenie dodatnie jest szarzenie pola widzenia, a w dłużej trwających lub przy więk-

szych przeciążeniach może wystąpić chwilowa utrata przytomności. Przeciążenia krótkotrwałe, trwające do 1/2 sek, nie wywołują przemieszczeń krwi. Wyraźne objawy ze strony organizmu w tych przypadkach powstają dopiero wtedy, gdy przeciążenie rzędu 4 *g* trwa kilka sekund.

Omdlenie występuje dopiero przy dłużej trwających przeciążeniach: przy wielokrotności obciążenia 3 *g* po 3 minutach, przy 4 *g* po 1 minucie, przy 6 *g* po 43 sek.

Podczas przeciążeń ujemnych, działających w kierunku od nóg do głowy, krew napływa w nadmiarze do mózgu, powoduje zaczerwienienie pola widzenia oraz uczucie „rozsadzania" głowy. W wyniku nadmiernego lub zbyt długo działającego przeciążenia ujemnego mogą wystąpić krwawe wylewy podspojówkowe lub — co gorzej — śródmózgowe.

Ze względu na możliwości uszkodzenia naczyń krwionośnych mózgu lub upośledzenia działalności serca akrobację mogą wykonywać jedynie ludzie nie mający podwyższonego ciśnienia krwi. Ale nawet ludzie stuprocentowo zdrowi muszą stosować odpowiedni trening oraz przestrzegać wskazówek higienicznego trybu życia, ażeby móc sprostać w pełni zadaniom, jakie stawia przed nimi lotnictwo.

Pilot powinien odżywiać się regularnie oraz spożywać jedzenie zawierające dużo witamin A (nabiał, tran), B (jarzyny, wątroba, drożdże) i C (jarzyny, świeże owoce). W razie wykonywania lotów pilot nie może być głodny, ponieważ powoduje to osłabienie, jednakże nie należy również bezpośrednio przed lotem spożywać obfitych posiłków.

Na dłuższy lot należy wziąć ze sobą jakieś kanapki, ewentualnie cukierki i owoce — oraz jeśli jest to możliwe — coś do picia (tylko nie napoje silnie gazowane, bo przy zmianie ciśnienia zewnętrznego wytrysną fontanną po otwarciu korka).

Alkoholu nie należy używać w ogóle. Alkohol używany przez dłuższy okres czasu szkodzi bardzo zdrowiu oraz podwyższa ciśnienie krwi. Alkohol, który pozostaje we krwi jeszcze na drugi dzień po jego spożyciu, powoduje zwolnienie reakcji, zaburzenia w koordynacji ruchów oraz obniżenie odporności na przeciążenia i zmiany wysokości. Należy przy tym pamiętać, że alkohol to nie tylko wódka. Duży procent alkoholu zawierają inne napoje alkoholizowane, jak np. wino i piwo, które chociaż są nawet napojami niskoprocentowymi, to jednak wypite w gorący dzień przez zmęczonego lub głodnego pilota mogą doprowadzić do zamroczenia alkoholowego. Nigdy więc nie należy zabierać ze sobą na loty butelek z piwem, lecz raczej z jakąś orzeźwiającą lemoniadą (nie gazowaną) lub sokiem.

Palenie papierosów nie jest również wskazane dla ludzi latających, nikotyna bowiem wpływa szkodliwie na działalność serca. Z higieną

żywienia ponadto łączy się sprawa spożywania kawy i herbaty, które pite w nadmiarze powodują wzrost ciśnienia krwi.

Oczekujący na lot pilot nie powinien zbyt intensywnie opalać się i wystawiać głowy na działanie promieni słonecznych. Powinien on w miarę możliwości odpoczywać w cieniu, tak aby wsiadając do szybowca nie czuł się zmęczony lub wyczerpany upałem. W czasie lotu powinien zawsze mieć na głowie lekkie nakrycie chroniące od udaru słonecznego oraz okulary przeciwsłoneczne.

Osobnym zagadnieniem jest stosowne ubieranie się na lot, ponieważ z jednej strony w czasie „wykręcania się" na małej wysokości w potokach promieni słońca w szybowcu panuje nieznośny upał, z drugiej zaś — w czasie lotów pod podstawą chmury lub w przeciętnym locie chmurowym temperatura może być bliska zeru. Pilot powinien jednak ubierać się do lotu (wyłączając loty nadlotniskowe) stosunkowo ciepło, a gdy mu będzie zbyt gorąco — otworzyć w szybowcu przewietrzniki. Nie należy w żadnym przypadku latać w zbytnim „negliżu", gdyż w razie jakiejś „kraksy" pilot, którego ciało nie jest chronione ubraniem, ulega znacznie większym obrażeniom i groźnym skaleczeniom.

Pilot nie powinien wsiadać do szybowca, jeżeli ma złe samopoczucie. Lepiej jest zameldować o tym instruktorowi i odmówić lotu niż latać „na siłę". Złe samopoczucie może wzmóc się w czasie lotu i wtedy sytuacja staje się poważna. Należy przy tym pamiętać, że w powietrzu i tak „wolniej się myśli", tzn. że wskutek dużego zaabsorbowania uwagi pilot potrzebuje więcej czasu na przeanalizowanie zaistniałej sytuacji i powzięcie odpowiedniej decyzji. Jeżeli więc pilot już przed lotem czuje się źle, nie powinien narażać siebie i drogiego sprzętu.

Lotnictwo wymaga od pilota dobrej kondycji — ale niestety jej nie daje! Piloci powinni bezwzględnie uprawiać takie sporty uzupełniające, które wyrabiając wytrzymałość i szybkość reakcji nie będą jednak nadmiernie męczyć serca. Do najbardziej wskazanych dla lotników sportów należą: gimnastyka szwedzka i przyrządowa, pływanie, narty, wioślarstwo itp., ale nie uprawiane zawodniczo.

Do przeciwwskazanych sportów należą: biegi, kolarstwo, boks, piłka nożna i w ogóle wszystkie sporty siłowe, zwłaszcza uprawiane zbyt forsownie.

Pilot musi spać co najmniej po 8 godzin dziennie. Nie wolno mu wybierać się na lot po nie przespanej nocy, gdyż bardzo łatwo w czasie monotonnego krążenia szybowca lub też długotrwałego lotu za samolotem zdrzemnąć się na chwilę i spowodować wypadek — nie mówiąc o tym, że zmęczenie i niewyspanie obniża bardzo refleks pilota.

9. Postępowanie w sytuacjach wyjątkowych i niebezpiecznych

W razie wypadku pilot ma obowiązek przede wszystkim ratować życie załogi. Jeżeli zaistnieje taka sytuacja, że lądowanie szybowca naraziłoby załogę na niebezpieczeństwo lub też jeżeli szybowiec nie może kontynuować lotu, należy bezwzględnie ratować się skokiem ze spadochronem.

Zanim jednakże pilot podejmie decyzję o opuszczeniu szybowca, powinien przeanalizować sytuację — czy uszkodzenie szybowca jest naprawdę aż tak poważne i czy rzeczywiście czyni sprzęt całkowicie niezdatnym do lotu. Często, nawet pomimo niepełnej sprawności szybowca, możliwe jest kontynuowanie lotu i ocalenie — bądź co bądź — kosztownego sprzętu bez większego narażania załogi.

Pierwszym po prostu przysłowiowym warunkiem podjęcia prawidłowej decyzji, jest zachowanie „zimnej krwi" przez pilota. Nie jest to powiedzenie zdawkowe. Nie ma sytuacji bez wyjścia! Spokój, opanowanie, szybka lecz prawidłowa decyzja i natychmiastowa reakcja — oto czego wymaga się od pilota. Trzeba drogą ćwiczeń dojść do tego, aby w chwili zaistnienia wypadku wyeliminować moment paraliżu odruchu oraz opanować odruchy samorzutne, które powstają niezależnie od woli pilota pod wpływem instynktu samozachowawczego. Im krótszy będzie moment niezdecydowania, tym więcej czasu pozostanie na prawidłową reakcję.

Niezbędne jest również „wbicie" sobie dokładnie w pamięć — a raczej już nawet w podświadomość — typowych i zasadniczych sposobów postępowania w różnego rodzaju sytuacjach wyjątkowych i niebezpiecznych. Uchroni to pilota od „wpadnięcia w panikę" i wymyślania różnych, nie zawsze najszczęśliwszych, sposobów postępowania.

Prawidłowe decyzje oraz kolejność akcji, jakie należy podjąć w paru zasadniczych typach wypadków, powinny być przez pilota przeanalizowane „na wyrost", czyli spokojnie na ziemi, tak aby w momencie rzeczywistego wypadku nie wahał się oraz nie tracił cennych sekund i odpowiadających im metrów wysokości lotu. Poniżej omówiono w tym celu najbardziej typowe z wypadków, jakie mogą zdarzyć się w powietrzu.

a. Uszkodzenie mechanizmów sterowania

Jeżeli lot odbywał się normalnie, a w pewnej chwili pilot stwierdził, że któryś z napędów jest zablokowany — powinien przede wszystkim postarać się znaleźć przyczynę, która to spowodowała. Zdarzały się wielokrotnie przypadki, że zablokowanie nastąpiło we wnętrzu kabiny przez jakiś luźny przedmiot, jak np. mapnik, ołówek, pudełko od kremu, swobodne końce pasów lub but pilota. Nerwowe ruchy i szarpanie drążka lub pedałów mogą tylko pogorszyć sytuację zwiększając zablokowanie. W takim przypadku pilot powinien zachować spokój oraz sprawdzić starannie wnętrze kabiny.

Gorzej jest, jeżeli zablokowanie nastąpiło nie w locie prostym, lecz w czasie akrobacji, np. w locie odwróconym. Należy wówczas pozostałymi sterami (np. lotkami — jeżeli zablokowany został ster wysokości) starać się doprowadzić szybowiec do normalnego położenia. Postępowanie w razie zablokowania sterów zależy naturalnie w dużej mierze od wysokości lotu oraz od położenia szybowca.

Gdy kontrola kabiny nie wykaże przyczyn niesprawności szybowca, które pilot mógłby usunąć, należy szybko przeanalizować możliwości kontynuowania lotu i bezpiecznego lądowania z zablokowanym jednym z napędów.

Jeżeli zablokowanie nastąpiło w normalnym locie prostoliniowym, a zablokowaniu uległ ster wysokości, należy spróbować sterować prędkość lotu za pomocą klapki wyważającej wychylając ją w odwrotnym kierunku niż w normalnych warunkach. Klapka wychylona w położenie „ciężki na łeb" wywoła pewną, chociaż słabą, reakcję szybowca (przy całkowicie zablokowanym sterze wysokości) do zmniejszenia prędkości lotu i na odwrót — na przestawienie klapki w położenie „ciężki na ogon" szybowiec zareaguje zwiększeniem prędkości. Jeżeli pilotowi uda się wyważyć szybowiec do normalnej prędkości, lądowanie może być udane. Skuteczność klapki jest jednak bardzo różna dla różnych typów szybowców.

Przy zablokowanych lotkach można sterować za pomocą samego steru kierunku nie dopuszczając do przechyleń szybowca.

Jeśli idzie o zablokowanie steru kierunku, to sprawa jest bardzo poważna, gdyż szybowiec będzie miał tendencje do wejścia w pogłębiającą spiralę. Można spróbować prowadzić szybowiec za pomocą samych lotek, przy czym nie należy dopuścić do większych przechyleń szybowca.

Przy zerwaniu linki lub popychacza w układzie mechanizmu napędu sytuacja przedstawia się nieco inaczej.

Jeżeli na przykład uszkodzony został napęd steru wysokości, pilot może próbować ratować szybowiec sterując prędkość za pomocą klapki wyważającej. W tym jednak przypadku zgodnie z normalną zasadą jej działania, a więc „ciężki na łeb" — szybowiec zwiększa prędkość lotu, „ciężki na ogon" — szybowiec zmniejsza prędkość.

W przypadku, gdy lotka na jednym skrzydle przestała działać, zaś na drugim działa prawidłowo, można z powodzeniem kontynuować lot stosując płytkie zakręty.

Jeżeli zerwie się jedna z linek napędu steru kierunku, wówczas — ponieważ w układ tego napędu przeważnie włączona bywa sprężyna

napinająca — jeden pedał stanie się całkowicie swobodny, drugi zaś „ucieknie" do przodu wychylając ster całkowicie do skrajnego położenia. Dlatego też, między innymi, stosuje się przy pedałach pętle obejmujące od wierzchu stopę pilota, gdyż w takim przypadku może on sterować szybowiec jedną nogą, a w każdym razie wycofać samoczynne wychylenie steru. Gdy jednak pętli na pedałach nie ma lub też pilot zaniedbał ich założenie na stopy, można próbować ratować szybowiec wychylając lotki w stronę przeciwną, tak aby szybowiec leciał po linii prostej w niezbyt głębokim ślizgu. W przypadku trudności w sterowaniu pedałem pilot powinien opuścić szybowiec, gdy ma do dyspozycji odpowiednią wysokość.

Jeżeli z jakiegokolwiek powodu nastąpiło zerwanie się czy też zniszczenie jakiejś powierzchni, pilot — według własnego uznania (jeżeli uważa szybowiec za wystarczająco sterowny) — może kontynuować lot do lądowania unikając przechyleń szybowca. Powinien jednak zdawać sobie sprawę z tego, że zwłaszcza niebezpieczna jest ta część lotu, w czasie której wysokość staje się zbyt mała, aby móc ratować się skokiem ze spadochronem.

W każdym jednak przypadku, gdy nastąpiło uszkodzenie napędu steru wysokości czy też konstrukcji usterzenia, a szybowiec nie da się wyważyć, lecz rozpędza się lub wytraca prędkość, należy niezwłocznie opuścić szybowiec. To samo należy uczynić wówczas, gdy szybowiec z powodu uszkodzenia lotek, skrzydła lub usterzenia kierunku wchodzi w zacieśniającą się spiralę albo korkociąg.

Samoczynne wysunięcie się lub schowanie jednej płyty hamulców aerodynamicznych powoduje przechylenie i gwałtowne zakręcanie szybowca. Jeżeli zdarzy się to na dostatecznie dużej wysokości, można szybowiec wyrównać za pomocą lotek i steru kierunku. W przypadku jednak, gdy zdarzy się to tuż nad samą ziemią, szybowiec przeważnie ulega rozbiciu.

Czasem „niedziałanie" sterów jest tylko pozorne. Zdarza się bowiem, że niezbyt doświadczony pilot popełni zasadniczy błąd pilotażowy, a następnie twierdzi, że szybowiec „nie słucha sterów". Takie przypadki mają najczęściej miejsce w lotach chmurowych, podczas których nawet doświadczony pilot może kręcić „przymusową" akrobację nie zdając sobie z tego sprawy (zwłaszcza gdy przyrządy wskutek oblodzenia przestaną działać). Dlatego też, gdy bez widocznej przyczyny sprawny dotychczas szybowiec nagle przestanie słuchać sterów, pilot powinien:

— jeśli szybowiec leci lotem prostym lub znajduje się w zakręcie — sprawdzić czy nie ma utraty prędkości i czy szybowiec leci bez ślizgu (czy kulka zakrętomierza znajduje się w środku) oraz „na wszelki wypadek" lekko oddać drążek;
— jeśli szybowiec nie chce wyjść ze spirali — wyrównać wszystkie

stery do neutrum i powoli otworzyć hamulce aerodynamiczne, a następnie łagodnie wyrównać lot;
— jeśli szybowiec nie chce przerwać kręcenia korkociągu i „wciąga" stery — jest to tzw. korkociąg płaski — należy dać całą przeciwną nogę, całą przeciwną lotkę i oddać drążek poza neutrum; gdy jednak po trzech lub czterech zwitkach szybowiec nie opuszcza łba i nie wychodzi z korkociągu — należy otworzyć limuzynę, odpiąć pasy i przesunąć się możliwie do przodu na tablicę przyrządów trzymając ciągle nogę i lotkę w pełnym wychyleniu przeciwnym korkociągowi; można również spróbować wychylić klapy oraz otworzyć hamulce aerodynamiczne; gdy szybowiec kręci dalej na małej prędkości z zadartym łbem (blisko poziomu), a wysokość staje się krytyczna, należy ratować się skokiem ze spadochronem (na szczęście w szybowcach seryjnych nie zdarzają się dzisiaj płaskie korkociągi, chyba że szybowiec zostanie źle wyważony ciężarowo przed startem — tzn. niezgodnie z instrukcją obsługi).

b. Uszkodzenie konstrukcji szybowca

Jeżeli w czasie lotu na średniej lub dużej wysokości nastąpiło uszkodzenie konstrukcji szybowca bądź to wskutek przekroczenia obciążeń dopuszczalnych, bądź też przez zderzenie się w powietrzu pilot powinien szybko ustalić czy szybowiec pozostał jeszcze sterowny i starać się doprowadzić go do normalnego lotu z niezbyt dużą prędkością. Jeżeli ponadto stwierdzi, że rozmiary uszkodzenia nie są duże, może próbować kontynuować lot aż do lądowania lecąc na prędkości umożliwiającej zachowanie sterowności szybowca, ale równocześnie możliwie małej (nie minimalnej), aby zmniejszyć obciążenie aerodynamiczne działające na nadwerężoną konstrukcję szybowca.

W tym miejscu należy podkreślić, że działanie lotek szybowca jest bardzo skuteczne. Dla przykładu siłę nośną nawet utraconej jednej trzeciej części skrzydła można zrekompensować wychyleniem lotki na przeciwnym skrzydle. Zmiany kierunku lotu muszą być wówczas wykonywane bardzo łagodnie i możliwie na wysokości zapewniającej bezpieczny skok ze spadochronem. Jeżeli jednak szybowiec, pomimo skontrowania lotkami przechyla się niebezpiecznie na uszkodzone skrzydło, należy go niezwłocznie opuścić. Również należy ratować się skokiem ze spadochronem w przypadku, gdy zostanie stwierdzone uszkodzenie statecznika lub steru wysokości oraz większe ubytki usterzenia kierunku.

Ponieważ pilot ze swego miejsca nie ma możliwości stwierdzić naocznie wszystkich uszkodzeń szybowca, należy przyjąć, że każdy głośny trzask jaki usłyszy on w czasie lotu w ciężkich warunkach może

oznaczać uszkodzenie konstrukcji szybowca. Pilot powinien wówczas niezwłocznie lądować zachowując opisane powyżej środki ostrożności.

Najczęściej spotykaną przyczyną uszkodzeń szybowca w locie są drgania samowzbudne jego konstrukcji, które powstają po przekroczeniu dopuszczalnych prędkości lotu.

Drgania te pojawiają się w sposób nagły i atakują najmniej sztywny element konstrukcji.

Drgania sprzężone, czyli tzw. flatter, występują na lotkach i doprowadzają je do zniszczenia, ale mogą również wystąpić na całym skrzydle lub na usterzeniu wysokości. Mechanizm powstawania flatteru opisany został bliżej w rozdziale drugim dotyczącym obciążeń i wytrzymałości szybowca.

Jedynym sposobem zabezpieczenia się przed możliwością wystąpienia drgań jest wystrzeganie się nadmiernych prędkości lotu. W chwili bowiem, gdy pojawią się drgania, na jakiekolwiek działanie ze strony pilota jest już najczęściej za późno i jeśli po zniszczeniu takiej czy innej części szybowiec jest jeszcze sterowny, pilot powinien lądować zachowując wszystkie środki ostrożności opisane powyżej lub też ratować się skokiem ze spadochronem.

Przekroczenie dopuszczalnych prędkości zdarza się przeważnie w lotach chmurowych, gdy pilot zaczyna tracić panowanie nad szybowcem, do czego często przyczynia się niesprawność prędkościomierza spowodowana oblodzeniem dyszy. W takich przypadkach, gdy szybowiec zaczyna zbytnio się rozpędzać (co można łatwo wywnioskować po narastającym szumie powietrza), dobrze jest wysunąć częściowo lub nawet całkowicie hamulce aerodynamiczne, co spowoduje zmniejszenie „nerwowości" szybowca i przyhamuje wzrost prędkości lotu.

c. Oblodzenie

Loty szybowcowe wysokościowe w dużych i wypiętrzonych chmurach kryją w sobie zawsze niebezpieczeństwo. Niezależnie od trudności w prowadzeniu szybowca, na jakie natrafia pilot przelatując przez gwałtownie zmieniające się prądy powietrzne panujące wewnątrz wypiętrzonych chmur, może również napotkać obszary gradu zdolnego przedziurawić grube pokrycie sklejkowe kesonu (nie mówiąc już o plexi limuzyny) lub opad deszczowy, który zamarzając na powierzchni pokryje szybowiec grubą warstwą lodu.

W przypadku rozbicia limuzyny przez grad pilot powinien kontynuować lot na normalnej prędkości osłaniając twarz mapnikiem lub rękawicą do czasu opuszczenia obszaru opadu gradowego. Każde zwiększenie prędkości szybowca spowoduje silniejsze uderzanie kawałków lodu. Bardzo niebezpieczny jest również skok ze spadochronem w opadzie gradowym, gdyż lód może podziurawić spadochron oraz poranić pilota.

Oblodzenie szybowca występuje wówczas, gdy lot odbywa się na wysokości przekraczającej wysokość izotermy zerowej, to jest wysokości na której panuje temperatura 0°C. W miesiącach letnich wysokość ta wynosi 3 do 4 tysięcy metrów.

W obszarze chmur kłębiastych, gdzie temperatura jest nieco niższa niż 0°C, istnieje stan przechłodzenia cząstek wody zawieszonych w postaci mgły. Przelatujący szybowiec staje się ośrodkiem kondensacji i na jego powierzchni zaczyna narastać warstwa lodu. Grubość takiej skorupy lodowej może wynosić nawet parę centymetrów, co (uwzględniając dużą powierzchnię zewnętrzną szybowca) da kilkadziesiąt kilogramów przyrostu ciężaru. Warstwa lodowa może przy tym narastać nieregularnie, zniekształcając profil aerodynamiczny skrzydła i pogarszając bardzo jego własności lotne.

W takim przypadku szybowiec musi być prowadzony z nieco większą prędkością (o jakieś 20—30 km/h), aby nie zwalił się w korkociąg, gdyż minimalna prędkość szybowca o zwiększonym ciężarze i zniekształconym profilu skrzydła może być znacznie wyższa niż minimalna prędkość określona w instrukcji. Wpadnięcie oblodzonego szybowca w korkociąg jest bardzo niebezpieczne, przede wszystkim dlatego, ponieważ ciężar lodu pokrywającego kadłub przesuwa środek ciężkości i szybowiec może w takim stanie nie chcieć wyjść z korkociągu.

Warstwa lodu osadzająca się w szczelinach sterów może spowodować ich zablokowanie. Dlatego też, jeśli wystąpi oblodzenie, pilot powinien od czasu do czasu poruszać wszystkimi sterami, a zwłaszcza otwierać i zamykać hamulce aerodynamiczne, aby kruszyć narastającą warstewkę lodu.

Lód pokrywający szybowiec topi się szybko po wyjściu z chmury i zmniejszeniu wysokości lotu.

Gdy pilot stwierdzi rozpoczynające się oblodzenie, powinien otworzyć boczne okienko, aby po pokryciu lodem limuzyny mógł jednak stwierdzić swoje wyjście z chmury oraz określić sytuację panującą na zewnątrz szybowca. Otwarcie oblodzonego już okienka bocznego jest często niemożliwe.

d. Utrata przytomności przez pilota

Omdlenie pilota może się zdarzyć z różnych przyczyn. Najczęstszą przyczyną jest głód tlenowy występujący po przekroczeniu — bez korzystania z aparatu tlenowego — krytycznej dla danego osobnika wysokości lub też w momencie awarii instalacji tlenowej. Zdarzają się jednak również wypadki, że pilot źle poczuje się z powodu wy-

czerpania chorobą powietrzną, porażenia piorunem, niedyspozycji żołądkowej, zatrucia itp.

Czując się słabo, pilot nie powinien czekać do ostatniej chwili, lecz jeszcze w pełni świadomości wykonać następujące czynności:

1) otworzyć całkowicie i dobrze zablokować w stanie otwartym hamulce aerodynamiczne;
2) wyważyć szybowiec na prędkości nie większej niż v_{opt} za pomocą klapki wyważającej;
3) ustawić szybowiec w locie prostym, oprzeć wygodnie nogi na pedałach i możliwie zablokować je w położeniu neutralnym;
4) odchylić się jak najbardziej do tyłu i mocno dociągnąć pasy plecowe;
5) otworzyć okienka boczne dla lepszego przewiewu i starać się nie dopuścić do omdlenia oddychając głęboko oraz pocierając silnie nos — aż do bólu.

Szybowiec nie sterowany przez pilota przejdzie w pogłębiającą się spiralę, jednakże dzięki odpowiedniemu wyważeniu oraz otwartym hamulcom aerodynamicznym będzie się rozpędzał powoli, a w każdym razie jego prędkość nie przekroczy prędkości dopuszczalnej dla danego szybowca. To powinno uchronić szybowiec od uszkodzenia w powietrzu, a stosunkowo wolne wytracanie wysokości zwiększy szanse powrotu pilota do przytomności przed momentem zetknięcia się z ziemią.

Jeżeli omdlenie było spowodowane brakiem tlenu, to pilot z reguły odzyskuje przytomność w chwili, gdy powróci do warunków atmosferycznych panujących na wysokości 1 do 2 tysięcy metrów, przy czym — jeżeli szybowiec pozostanie zdatny do lotu — może normalnie wylądować. Jeżeli jednak z jakichkolwiek powodów pilot pozostanie nieprzytomny aż do momentu zetknięcia się z ziemią, ma on jeszcze pewne szanse ocalenia, gdyż szybowiec lecąc spiralą najpierw zaczepi o ziemię skrzydłem i w ten sposób zamortyzuje uderzenie.

e. Wypadki w lotach za samolotem

Wypadki mogące zaistnieć w czasie lotu holowanego za samolotem można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

1) wypadki spowodowane przez pilota holującego lub jego samolot;
2) wypadki spowodowane przez pilota szybowcowego lub szybowiec.

Do pierwszej grupy można zaliczyć dość dużą niestety liczbę wypadków spowodowanych przez lekkomyślność pilota samolotu holującego lecącego zbyt nisko. Mała wysokość lotu w razie zerwania się linki holowniczej, czy też nieprzewidzianego wyczepienia się, nie daje szybowcowi możliwości wyboru odpowiedniego terenu do lądowania. Dlatego też transport holowany powinien odbywać się na wysokości co najmniej 400 m. Pożądane jest przy tym, aby w czasie lotu na holu pilot szybowcowy orientował się w terenie, nad którym przelatuje oraz typował „na wszelki wypadek" miejsca, gdzie mógłby bezpiecznie przyziemić szybowiec.

W razie zerwania się linki holowniczej lub jej odczepienia od samolotu pilot szybowcowy powinien najpierw zrzucić linkę zaczepioną do szybowca, a następnie wylądować na uprzednio wytypowanym miejscu.

Chociaż niski lot zespołu jest niebezpieczny, to jednakże czasem (np. w przypadku nagłego pogorszenia się pogody na trasie) jest on nieunikniony, zaś wchodzenie zespołu w chmury czy zamglenia jest surowo wzbronione. W momencie więc, gdy z jakiegoś powodu pilot szybowcowy przestanie widzieć linkę holowniczą, powinien natychmiast wyczepić się.

Inne rodzaje niebezpiecznych sytuacji mogą zaistnieć w czasie holowania szybowca w bardzo silnej turbulencji. Sytuacje takie zdarzają się zwłaszcza podczas lotów halniakowych z mało doświadczonymi pilotami szybowcowymi.

W czasie gwałtownych podmuchów szybowiec jako lżejszy reaguje silniej i ma tendencję do „wyskoczenia" nad lub pod samolot. W takim momencie pilot szybowcowy może jeszcze pogorszyć sytuację przez mimowolne szarpnięcie drążkiem przy podrzutach szybowca. Dlatego też przygotowując się do lotu w ciężkich warunkach atmosferycznych pilot szybowcowy powinien być mocno przypięty pasami, w czasie lotu zaś lewą rękę trzymać w pobliżu uchwytu zwalniającego zaczep, co pozwoli na spokojniejsze pilotowanie.

Jedna z najniebezpieczniejszych sytuacji w locie holowanym występuje w momencie, gdy szybowiec „wyskoczy" nad samolot, a pilot nie zareaguje odpowiednio szybko przez oddanie drążka. Wówczas szybowiec zaczyna się wznosić na dużych kątach natarcia ciągnięty przez linkę holowniczą, która w tym układzie działa jak linka wyciągarki. Samolot, w tym czasie ciągnięty za ogon do góry, przechodzi nie reagując już na wychylenie steru w stromy lot nurkowy, co pogarsza jeszcze sytuację, z której jedynym wyjściem jest wyczepienie lub też zerwanie linki holowniczej. Jeżeli wyczepienie linki w danej chwili nie jest możliwe wskutek zakleszczenia się w zaczepie, należy najpierw otworzyć hamulce, a po tym ponownie próbować wyczepić się.

Również w przypadkach silnego obwiśnięcia linki holowniczej albo nienormalnego położenia szybowca względem samolotu należy bezwzględnie wyczepić się.

Sytuacje niebezpieczne mogą się zdarzyć również przy starcie zespołu.

Dowódcą zespołu jest pilot samolotu i on decyduje o przebiegu lotu. Pilot szybowca powinien przy starcie lecieć możliwie w osi samolotu i nie wychodzić ani do góry ani do dołu, gdyż powoduje to

zaburzenia równowagi podłużnej samolotu lecącego na małej prędkości. Szybownik obowiązany jest przy tym wyczepić się bezzwłocznie na znak dany przez pilota holującego polegający bądź to na kiwaniu skrzydłami, bądź to na machaniu ponad głową ręką (kiwanie skrzydłami przy małej prędkości może być ryzykowne). Jeżeli szybownik sam oceni sytuację jako niebezpieczną, powinien wyczepić się z własnej inicjatywy, bez oczekiwania na odpowiednie znaki ze strony pilota holującego.

Gdy przy starcie, w czasie rozbiegu zespołu na ziemi, samolot zacznie nagle zwalniać, a szybowiec jeszcze sunie po ziemi — pilot szybowcowy powinien wyczepić się i otworzyć hamulce aerodynamiczne sprzężone z hamulcem koła podwozia, aby nie wpaść na samolot. Jeżeli samolot toczy się jeszcze na kołach, a szybowiec znajduje się już w powietrzu, należy po wyczepieniu otworzyć hamulce i lądować przed siebie na normalnej prędkości. W ostateczności tylko, jeżeli szybowiec zaczyna doganiać samolot, należy starać się go ominąć skręcając lekko w bok. Większość niestety wypadków przy starcie polega na tym, że pilot szybowcowy zaaferowany sytuacją podciąga szybowiec do góry, a następnie bojąc się zderzenia z samolotem robi ostry zakręt na małej prędkości. Z reguły kończy się to zwaleniem szybowca na skrzydło i kasacją sprzętu.

Jeżeli w czasie lotu za samolotem zespół zacznie się bez widocznej przyczyny obniżać, a prędkość lotu maleć w sposób niepokojący, pilot szybowcowy powinien szybko sprawdzić czy w szybowcu nie otworzyły się hamulce aerodynamiczne i ewentualnie zamknąć je. Jeżeli wysokość będzie maleć w dalszym ciągu, pilot szybowcowy powinien wytypować odpowiednie lądowisko i wyczepić się.

W przypadku jednak, gdy bezpieczne lądowanie jest absolutnie niemożliwe, a pilot holujący nie daje znaku wyczepienia, szybownik powinien lecieć idealnie w osi samolotu i unikać jakiegokolwiek szarpania linką. W razie niebezpiecznej utraty prędkości może wychylić ewentualnie częściowo klapy wyporowe lub wyczepić się ryzykując nawet uszkodzenie szybowca, jednakże unikając w ten sposób katastrofy samolotu.

f. Wypadki przy starcie za wciągarką

Różne sytuacje niebezpieczne, jakie mogą zaistnieć w czasie startu za wyciągarką, zostały przeanalizowane już w rozdziale siódmym omawiającym naukę pilotażu podstawowego. Z uwagi na bezpieczeństwo lotów należy jednak zwrócić dodatkowo uwagę na:

1) odpowiednie zabezpieczenie szybowców, aby linka ściągarkowa lub wyciągarkowa nie zaczepiała w czasie startu za płozę lub inne wystające części szybowca;

2) stosowanie na lince wyciągarkowej bezpiecznika zrywowego;
3) konieczność przestrzegania minimalnej wysokości 30 m, powyżej której wolno dopiero „podciągać" szybowiec na duże kąty natarcia;
4) odpowiednią sprawność nożyc do przecinania linki wyciągarkowej i ściągarkowej.

Nieprawidłowe sytuacje, które mogą mieć miejsce w czasie startu za wyciągarką, są specjalnie niebezpieczne ze względu na małą wysokość lotu, z reguły zbyt małą dla ratowania się skokiem na spadochronie. Dlatego też należy zwracać specjalną uwagę na dokładne przygotowanie pilotów przed lotami, a ponadto na dokładność w podawaniu znaków i sygnałów na starcie i na wyciągarce.

g. Wypadki przy lądowaniu

Chociaż zdarzają się, jak omawialiśmy poprzednio, wypadki w powietrzu, to jednak bezapelacyjna ich większość ma miejsce w chwili zetknięcia się szybowca z ziemią. Duży stosunkowo udział mają wypadki będące konsekwencją błędów pilotażowych, których w zasadzie można by było uniknąć przy lepszym wyszkoleniu czy też mocniejszym opanowaniu nerwów ze strony pilota.

Jednym z najczęściej spotykanych błędów pilotażowych przy lądowaniu jest zwalenie się szybowca, spowodowane jego przeciągnięciem podczas przeskakiwania przeszkody lub w czasie nieprawidłowo wykonanego ostatniego zakrętu przy podchodzeniu do lądowania. Właśnie z tego powodu przepisy wykonywania lotów określają wysokość 50 m jako najniższą granicę wykonywania zakrętu.

W innych przypadkach, gdy szybowiec w locie normalnym ma się zderzyć z jakąś przeszkodą na ziemi, pilot posiada pewne możliwości wyboru sposobu uderzenia — gdyż szybowiec do ostatniej chwili pozostaje posłuszny pilotowi. Trzeźwa przy tym ocena sytuacji pozwoli zawsze na zastosowanie takiego manewru, który ograniczy wielkość uszkodzenia.

Jeżeli nalot na przeszkodę jest nieunikniony, a szybowiec znajduje się jeszcze w powietrzu, lepiej jest wykonać zdecydowany zakręt nawet z podparciem się skrzydłem o ziemię, aby tylko uniknąć czołowego zderzenia z przeszkodą. Jeżeli wykonanie „cyrkla" skrzydłem szybowca jest niemożliwe z powodu istnienia innych przeszkód, pilot powinien tak skierować szybowiec, aby uderzenie nastąpiło skrzydłem lub najlepiej obu skrzydłami naraz (np. o pnie drzew).

Pilot musi za wszelką cenę uniknąć zderzenia czołowego kabiny z przeszkodą. Czasem gwałtowne wdepnięcie nogi oraz wychylenie steru kierunku może w ostatniej chwili uratować pilota. Jeżeli jednak

sprawa została już przesądzona i pilot nie może uratować sytuacji, powinien podkurczyć nogi i osłonić twarz przedramieniem.

Bardzo ważną sprawą jest również mocne przypięcie się pilota pasami, może to czasem uratować jego życie. Człowiek dobrze przypięty wszystkimi pasami do szybowca może wytrzymać, bez tragicznych skutków, przyspieszenie wynoszące 25 *g!*

h. Postępowanie po wypadku

Przepisy określające postępowanie przy zaistnieniu wypadku lotniczego muszą być bezwzględnie przestrzegane, gdyż wykrycie przyczyn technicznych oraz innych powodów wypadku jest w dużej mierze uzależnione od pierwszych czynności wykonanych zaraz po jego zaistnieniu.

Do badania przyczyn wypadków lotniczych Ministerstwo Komunikacji upoważniło Inspektorat Kontroli Cywilnych Statków Powietrznych, zaś przy Centralnym Zarządzie Lotnictwa Cywilnego utworzono Komisję Badania Wypadków Lotniczych.

Jeżeli wypadek polega jedynie na kilkuprocentowym uszkodzeniu szybowca, jak np. złamanie płozy, należy sprzęt odstawić do hangaru do czasu najbliższego przeglądu IKCSP.

Zwraca się jednak uwagę na to, że niektóre małe uszkodzenia konstrukcji wewnętrznej szybowca mogą pozostać niezauważone podczas przeglądu na starcie. Dlatego też w przypadku nieprawidłowego lądowania lub jeżeli istnieje podejrzenie, że szybowiec poddany był dużym przeciążeniom, należy odstawić go do hangaru w celu dokonania dokładnego przeglądu nawet wówczas, gdy na zewnątrz nie widać żadnych uszkodzeń konstrukcji. Ponadto każdy pilot, jeżeli zauważy jakąś usterkę szybowca lub sam ma na sumieniu np. twarde lądowanie na przelocie, powinien o tym niezwłocznie zameldować służbie technicznej w celu dokładnej kontroli szybowca.

W razie wypadku połączonego z poważnym uszkodzeniem sprzętu lub z obrażeniami cielesnymi załogi należy szczątki szybowca zabezpieczyć na miejscu i zawiadomić bezzwłocznie najbliższą placówkę IKCSP.

Zawiadomienie o wypadku lotniczym powinno zawierać następujące dane:

— typ szybowca, jego znaki rejestracyjne oraz przynależność do jednostki;
— stan załogi;
— dokładne określenie miejsca wypadku.

Szybowca, który uległ wypadkowi, nie wolno bez zezwolenia przedstawiciela IKCSP ruszać z miejsca, dotykać lub przesuwać, jak również nie wolno poruszać ani przestawiać żadnej z jego części składowych, chyba że zachodzi konieczność ratowania osób, uchronienia od zniszczenia rzeczy znajdujących się pod szczątkami albo jeśli uszkodzony szybowiec zagraża bezpieczeństwu publicznemu (np. tamuje ruch na drodze komunikacyjnej).

Po otrzymaniu zawiadomienia IKCSP wysyła natychmiast na miejsce wypadku swojego przedstawiciela, który przeprowadza dochodzenie. Jeżeli wypadek połączony był z ciężkimi obrażeniami ciała człowieka (członków załogi lub osób trzecich), zabezpieczony szybowiec powinien zostać w położeniu i stanie niezmienionym do czasu przybycia Komisji Badania Wypadków Lotniczych. Osobom poszkodowanym należy oczywiście udzielić wszelkiej pomocy oraz wezwać pogotowie ratunkowe, jeśli zachodzi tego potrzeba. W przypadku gdy przyjazd lekarza pogotowia jest niemożliwy, należy rannego — o ile stan jego zdrowia na to pozwala — przetransportować natychmiast do najbliższego szpitala.

i. Pierwsza pomoc

W czasie wykonywania lotów na lotniskach sportowych na starcie lub w jego pobliżu powinna się znajdować sanitarka oraz osoba obznajmiona z udzielaniem pierwszej pomocy.

Jednakże wypadek może zdarzyć się nie tylko na lotnisku, lecz również gdzieś w terenie, np. podczas lądowania w terenie przygodnym, w czasie lotów w chmurze itp. Dlatego też jest wskazane, aby cały personel lotniczy, tj. ci na ogół ludzie, którzy jako pierwsi znajdują się przy ofierze wypadku — potrafił zorganizować pomoc zanim dotrze tam lekarz. Często bowiem zdarza się, że tylko natychmiastowa pomoc może uratować rannego.

Pierwsza pomoc powinna polegać przede wszystkim na wykonaniu następujących czynności:

1) wydostatniu ofiar wypadku z rozbitego szybowca i wygodnym ich ułożeniu, zabezpieczając przed wpływem niekorzystnych warunków atmosferycznych (np. deszcz, słońce, zimno);
2) opatrzeniu miejsc zranionych za pomocą odpowiednich opatrunków;
3) ewentualnym transporcie do szpitala.

Wydobycie rannych osób spod szczątków rozbitego szybowca wymaga specjalnej ostrożności, aby nie spowodować dalszych obrażeń. Po wydobyciu należy rannego ułożyć w takiej pozycji, w której odczuwa on najmniej bólu, tj. miejscami zranionymi do góry. Omdlałych i wykrwawionych układa się w pozycji leżącej z głową nisko umieszczoną. Jeżeli jednak rana znajduje się na szyi lub w okolicy nosa i ust, wówczas rannego trzeba umieścić w pozycji siedzącej, aby nie zakrztusił się krwią wpływającą do tchawicy.

Rannemu, o ile jest przytomny i nie ma ran na szyi lub obrażeń jamy brzusznej, można podać kilka łyków wody. Nieprzytomnemu w żadnym przypadku nie wolno nic wlewać do ust. Uciskające części ubrania należy rozluźnić, odpiąć pas i kołnierzyk.

Każdemu wypadkowi towarzyszy na ogół większy lub mniejszy szok nerwowy, jakiemu ulega poszkodowany. Może się zdarzyć, że pod wpływem tego szoku oraz napięcia nerwowego ofiara wypadku nie czuje w pierwszej chwili bólu pomimo doznanych obrażeń wewnętrznych. Dlatego też po każdym wypadku, chociaż skończył się — jak się wydaje — niegroźnie, należy poszkodowanego ułożyć dla odpoczynku na godzinę lub dwie w cieniu.

Po większych uderzeniach poszkodowany powinien być odwieziony do szpitala na obserwację i prześwietlenie bolących miejsc, gdyż czasami objawy obrażeń ujawniają się dopiero po paru dniach, a nie leczone mogą spowodować poważne komplikacje.

Mgr inż. *Irena Kaniewska*

Rozdział trzynasty

Szybownictwo w Polsce i na świecie

1. Rys historyczny

Powstanie szybownictwa datuje się w końcu wieku XIX. Jako „ojciec szybownictwa" został powszechnie uznany Otto Lilienthal, który w roku 1891 wykonał pierwszy kilkunastometrowy lot na szybowcu swojej konstrukcji.

Szybowce Lilienthala były to jedno- i dwupłaty z bambusu i płótna. Kształt skrzydeł wzorowany był na skrzydłach nietoperza. Pilot umieszczony był w środku ciężkości szybowca i opierał się ramionami o konstrukcję skrzydeł. Chcąc wystartować pilot zbiegał ze wzniesienia, zaś w czasie lotu utrzymywał równowagę szybowca przez odpowiednie wychylanie nóg.

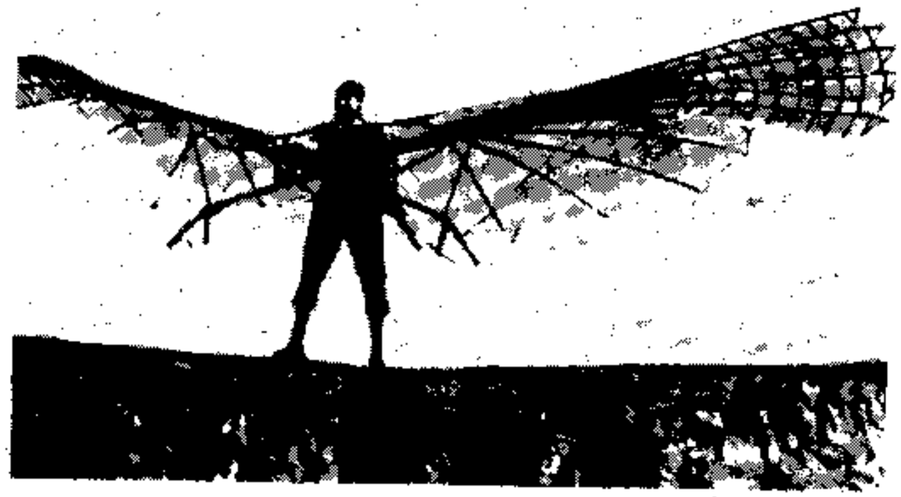
W ciągu pięciu lat prób i doskonalenia swoich szybowców Lilienthal wykonał ponad 2000 startów, dokonując lotów o długości dochodzącej do pół kilometra. W roku 1896 stał się pierwszą śmiertelną ofiarą sportu szybowcowego.

Z doświadczeń Lilienthala korzystali również konstruktorzy pierwszych samolotów. Bracia Wright zaczęli od konstrukcji szybowca w układzie kaczki, czyli ze sterem wysokości znajdującym się z przodu szybowca.

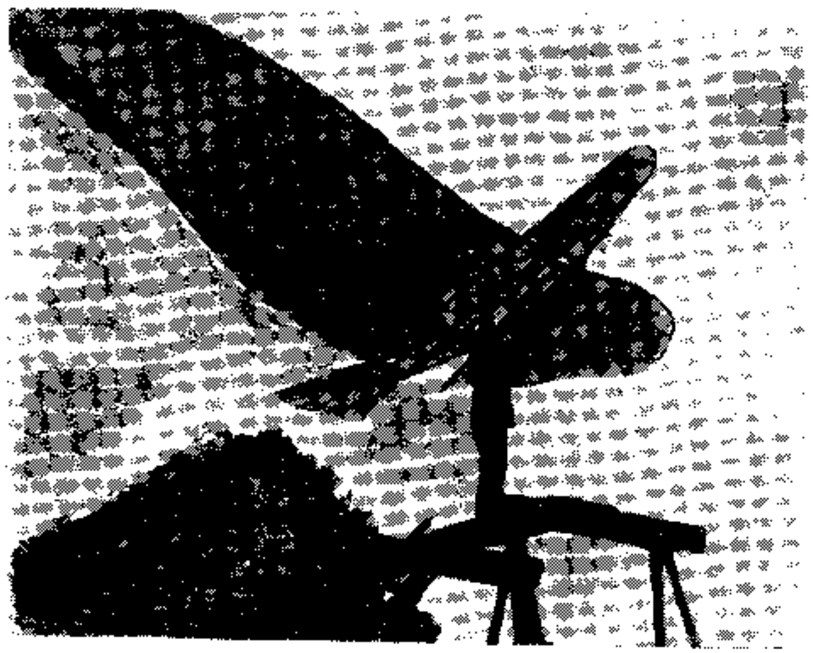
W Polsce pionierem szybownictwa był artysta malarz Czesław Tański, który w roku 1896 skonstruował szybowiec i przeprowadził na nim pierwsze wzloty stosując rozbieg na specjalnie w tym celu zbudowanym pomoście. Szybowiec ten, nazwany przez Tańskiego „Lotnią", miał powierzchnię nośną około 7 m² i ważył 13 kG.

W następnych latach szybownictwo rozwijało się stosunkowo powoli, bowiem w roku 1912 światowy rekord długości lotu wynosił tylko 843 m, a czas lotu zaledwie 11 minut. Wybuch I Wojny Światowej zahamował niemal całkowicie postęp w dziedzinie szybownictwa na korzyść rozwoju samolotów jako broni lotniczej.

Dopiero po zakończeniu działań wojennych zaczęto poświęcać więcej



Rys. 13—1. Szybowiec konstrukcji Lilienthala



Rys. 13—2. Czesław Tański ze swoją „Lotnią"

uwagi idei lotów bezsilnikowych oraz podchodzić naukowo do tego zagadnienia, przeprowadzając pierwsze studia w tunelach aerodynamicznych. Owocem tych zainteresowań stał się pierwszy konkurs szybowcowy na niemieckim szybowisku Rhön-Wasserkuppe w roku 1921, gdzie osiągnięto już takie wyniki, jak długość lotu 21 minut oraz przelot ponad 5 km.

W Polsce Sekcja Lotnicza Politechniki Warszawskiej przystąpiła w tym czasie do budowy pierwszych szybowców, propagując ideę szybownictwa na cały kraj. Zespoły entuzjastów rozpoczęły konstruowanie szybowców również i w innych częściach kraju, jak np. w Poznaniu, Bydgoszczy, Lublinie i Suchedniowie.

W roku 1923 odbył się I Polski Konkurs Płatowców Bezsilnikowych w Białce koło Nowego Targu, który zgromadził na starcie 9 szybowców. Najdłuższy czas lotu wykonanego w tym konkursie wynosił 3 min i 14 sek, najdłuższy zaś przelot — o maksymalnej wysokości 20 m — 3 km. Niestety szybowce biorące udział w konkursie były jeszcze bardzo niedoskonałe. Miały one zbyt małą wytrzymałość, niewystarczającą stateczność i słabą sterowność, zaś piloci nie posiadali jeszcze odpowiednich umiejętności. W sumie — część szybowców uległa rozbiciu w czasie lotów konkursowych.

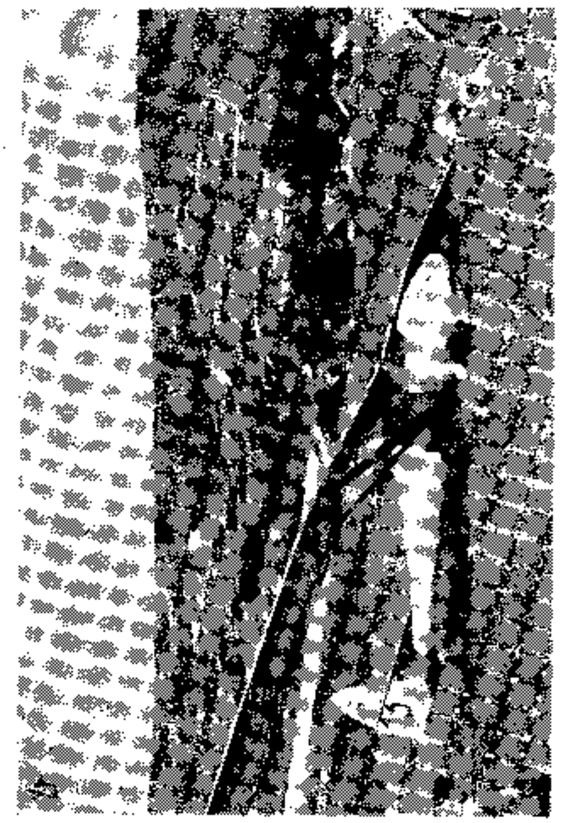
Zainteresowanie szybownictwem zaczęło w Polsce wzrastać. Ukazały się pierwsze wydawnictwa omawiające związane z nim zagadnienia, rozpoczęto poszukiwania na zboczach gór terenów odpowiednich dla wykorzystania do lotów żaglowych.

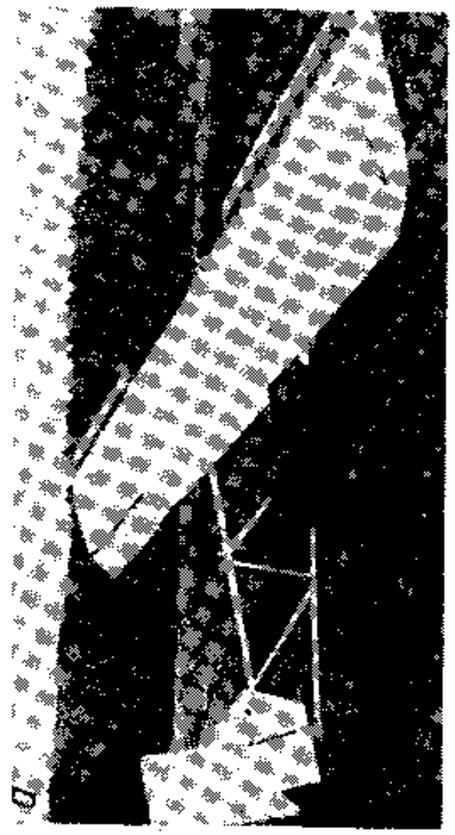
W roku 1925 odbył się II Krajowy Konkurs Szybowcowy w Oksywiu koło Gdyni. W konkursie wzięło udział 15 szybowców, jednakże wskutek źle wybranego terenu wyniki były słabe: maksymalny czas lotu 65 sek, maksymalna wysokość 23 m oraz przelot 560 m. W tym samym czasie na świecie osiągano już takie wyniki jak: czas lotu ponad 8 godzin, wysokości 700 m ponad start i przeloty dwudziestokilometrowe.

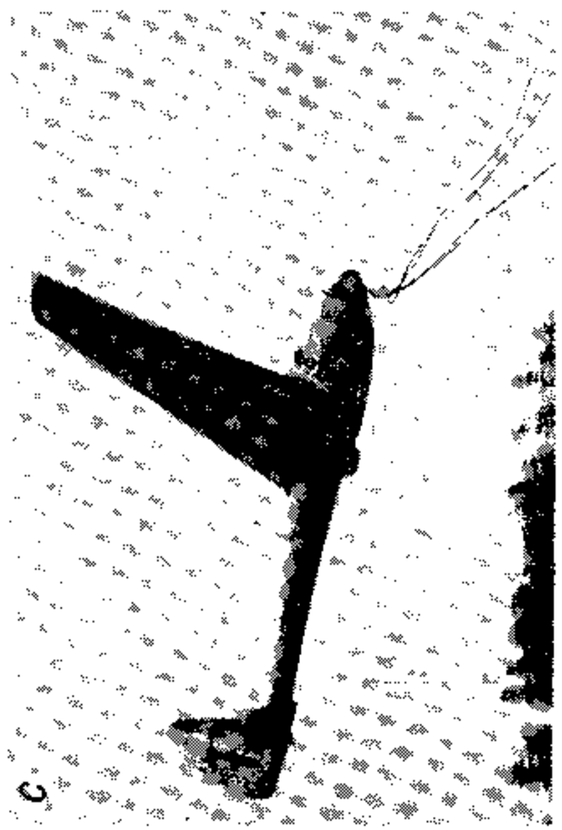
Wyniki II Krajowego Konkursu, gorsze niż rezultaty poprzednich zawodów w Białce oraz leżące znacznie poniżej osiągnięć światowych, przyczyniły się do powstania opinii, że w Polsce nie ma odpowiednich terenów do uprawiania sportu szybowcowego. Do poglądu takiego przyczynił się również fakt, że ruch szybowcowy w Polsce nie opierał się na szerszym gronie młodzieży, lecz ograniczał się do szczupłej garstki konstruktorów, którzy w większości przypadków nie umieli latać. Z konieczności więc loty na skonstruowanych przez nich szybowcach wykonywane były przez zawodowych pilotów wojskowych, którzy stosując mechanicznie kryteria latania samolotowego nie potrafili dostosować się do specyfiki lotów szybowcowych.

Dopiero rok 1928 wprowadza polskie szybownictwo na nową drogę rozwoju. We Lwowie grupa studentów pod kierownictwem inż. Szczepana Grzeszczyka wynajduje nowe górskie tereny doskonale nadające się do latania szybowcowego. W roku 1930 powstaje Szkoła Szybowcowa w Bezmiechowej, która rychło staje się głównym ośrodkiem polskiego szybownictwa. Przeprowadza się tam już normalne szkolenie pilotów szybowcowych do kategorii A, B i C. Pierwszym w Polsce zdobywcą kategorii A został Bolesław Łopatniuk, drugim z kolei — Piotr Mynarski.

Oprócz „akademii szybowcowej" w Bezmiechowej powstają w następnych latach szybowiska w Ustianowej (dla wstępnego szkolenia szybowcowego pilotów wojskowych), w Polichnie, Pińczowie, Sokolej







Rys. 13—3. Szybowce polskiej konstrukcji okresu międzywojennego
a — „Wrona bis" A. Kocjana, b — „CW-5" W. Czerwińskiego, c — „SG-3" Sz. Greszczyka, d — „Orlik II" A. Kocjana

Górze, Goleszowie i Tęgoborzu. Były to wszystko szybowiska górskie. Szkolenie na terenie płaskim odbywało tylko się wyjątkowo, jak np. w Miłosnej koło Warszawy.

Liczba szkół szybowcowych, którymi w większości opiekowała się Liga Obrony Powietrznej Państwa, szybko rosła i w roku 1939 wynosiła już około 60. Loty okresu przedwojennego odbywały się na szybowcach polskiej konstrukcji: inż. inż. Wacława Czerwińskiego i Jaworskiego — rodzina szybowców CW i CWJ, Antoniego Kocjana — „Wrona", „Czajka", „Komar", „Sroka" oraz Szczepana Grzeszczyka — rodzina szybowców SG.

W roku 1933 powstał we Lwowie Instytut Techniki Szybownictwa i Motoszybownictwa (ITSM), którego zadaniem były badania naukowe z dziedziny aerodynamiki, mechaniki i meteorologii oraz opracowywanie prototypów nowych szybowców i motoszybowców.

W społeczeństwie zainteresowanie sprawami szybownictwa staje się bardzo duże. Zawiązują się wśród młodzieży koła szybowcowe, których celem jest budowa szybowców oraz szkolenie swoich członków na pilotów. Koła te zrzeszają się w 1932 roku w Polskim Komitecie Szybowcowym. Po 10-letniej przerwie wznowione zostały Krajowe Zawody Szybowcowe w roku 1935 w Ustianowej, które następnie odbywają się już co roku aż do wybuchu wojny.

Polacy brali w tym okresie również udział w międzynarodowych imprezach szybowcowych. Po raz pierwszy w roku 1932 na międzynarodowych zawodach szybowcowych w Rhön, w których brało udział dwóch polskich pilotów. Na 44 zawodników reprezentujących 4 państwa Polacy uzyskali II nagrodę za wysokość i III za długotrwałość lotu.

W roku 1934 na Światowym Zlocie Harcerzy na Węgrzech pilot polski Kazimierz Kula wykonał dłuższy pokazowy lot żaglowy szybowca na małej wysokości nad wzgórzami Budapesztu, po czym wylądował bezawaryjnie na jednym z placów węgierskiej stolicy, co dało wiele rozgłosu polskiemu szybownictwu.

W roku 1937, również w Rhön, na międzynarodowych zawodach szybowcowych — uznanych obecnie za pierwsze Szybowcowe Mistrzostwa Świata — brało udział 32 pilotów z 7 państw, w tym pięciu pilotów polskich. Polacy zdobyli wówczas pierwsze miejsce w konkurencji przelotu otwartego (351 km — Piotr Mynarski) i pierwsze miejsce za uzyskanie największej wysokości (3295 m — Zbigniew Żabski), przy czym przeloty wykonane przez Polaków wyniosły około 1/4 sumarycznego kilometrażu zawodów.

Nasze osiągnięcia sportowe i wyniki prac badawczych w dziedzinie szybownictwa sprawiły, że Polska została zaproszona do Międzynarodowej Komisji Studiów nad Lotem Bezsilnikowym, tzw. ISTUS, której obecnym kontynuatorem jest OSTIV (Organisation Scientifique et Technique Internationale du Vol a Voile). W celu zapoznania de-

legatów poszczególnych państw nie tylko ze zdobyczami naukowymi w dziedzinie szybownictwa, lecz również z klasą wyszkolenia czołowych pilotów i konstrukcją wyczynowych szybowców, od roku 1932 zjazdy ISTUS połączone były z pokazami względnie zawodami szybowcowymi.

W roku 1939 Aeroklub Rzeczypospolitej Polskiej zorganizował w ramach ISTUS Międzynarodowy Zlot Szybowcowy. Między innymi, celem tego zlotu było wyłonienie szybowca standardowego, na którym piloci mieli odbywać konkurencje szybowcowe włączone do programu igrzysk olimpijskich. Igrzyska olimpijskie miały odbyć się w 1940 roku w Helsinkach w Finlandii.

Wybuch wojny w 1939 roku przerwał niestety w Polsce na szereg lat rozwój szybownictwa, które wykazywało się już wówczas następującymi wynikami rekordowymi:
— przelot otwarty: T. Góra, 1938 r., 577,8 km;
— przelot docelowy: E. Iwanow, 1939 r., 304 km;
— przelot docelowy-powrotny: E. Iwanow, 1938 r., 106 km;
— przewyższenie: K. Antoniak, 1936 r., 3435 m;
rekordy krajowe kobiece:
— przelot otwarty: W. Modlibowska, 1937 r., 354 km;
— przewyższenie: M. Younga, 1936 r., 2260 m;
rekord międzynarodowy kobiecy:
— długotrwałości lotu: W. Modlibowska, 1937 r., 24 godz 14 min.;
rekordy krajowe w kategorii szybowców dwumiejscowych:
— przelot otwarty: Pietrow/Jakubiec, 1939 r., 309 km;
— długotrwałość lotu: Pietrow/Dziergas, 1938 r., 11 godz 02 min.

W tym samym czasie ważniejsze rekordy międzynarodowe przedstawiały się następująco:
— przelot otwarty: Olga Klepikowa, ZSRR, 749 km;
— przelot docelowy: Sawcow, ZSRR, 602 km;
— długotrwałość lotu: Bodecker/Zander, Niemcy, 50 godz 26 min.

W roku 1938 przyznano najwyższe odznaczenie szybowcowe — Medal Lilienthala — Tadeuszowi Górze za przelot z Bezmiechowej pod Wilno o odległości około 578 km. W chwili wybuchu wojny Polska posiadała około 100 szybowisk, 1200 szybowców oraz 1400 pilotów, w tym 225 legitymujących się Srebrną Odznaką Szybowcową (na 1667 Srebrnych Odznak na całym świecie). W tym czasie byliśmy po Niemcach drugą potęgą szybowcową świata w dziedzinie masowości i liczby wyczynowych pilotów. Liczba posiadanych Srebrnych Odznak Szybowcowych, nie licząc Niemiec, była równa liczbie odznak przyznanych innym krajom uprawiającym szybownictwo.

Do chwili wybuchu wojny opracowano w Polsce około 40 prototypów szybowców, z których niektóre weszły do użytkowania w dużych seriach. Ważniejsze typy szybowców skonstruowanych w tym okresie podane zostały w tablicy 8. Niektóre z tych szybowców, jak np.

Tablica 8

Szybowce konstrukcji polskiej zbudowane w latach 1928—1938

Konstruktorzy	Szybowce						
	Szkolne	Przejściowe	Treningowe	Wyczynowe	Akrobacyjne	Dwumiejscowe	Specjalne
W. Czerwiński	CW-1 CW-2 CW-3 CW-3 CW-8 „Żaba"	„Salamandra"	„Delfin"	CW-5 PWS-101 PWS-102 PWS-103	CW-7	CW-4	
Czerwiński i Jaworski	CW-7						
Sz. Grzeszczyk				SG-21 SG-28 SG-3-bis SG-3-bis/36 SG-7			
A. Kocjan	„Wrona" „Wrona-bis"	„Czajka „Czajka-bis"	„Sroka" „Komar" „Komar-bis"	„Orlik I" „Orlik II" „Orlik-Olimp"	„Sokół"	„Mewa"	
Tarczyński i Stępniewski				TS-1	„Promyk"		„Bąk"(motoszybowiec)
M. Bleicher			B-1	WOS B-38			
Należkiewicz i Nowotny	NN-2 NN-2-bis						N-1 (bezogonowiec)
ITS			ITS-II				ITS-8 (motoszybowiec)

PWS-101 lub „Orlik", były w owym czasie szybowcami najwyższej klasy. Szybowiec „Orlik" konstrukcji inż. Kocjana, wysłany tuż przed wybuchem wojny do Ameryki, służył w latach następnych do badań prowadzonych przez siły zbrojne Stanów Zjednoczonych A. P. nad zagadnieniami dotyczącymi opracowania aerodynamicznego nowoczesnych samolotów. Jeszcze w wiele lat po zakończeniu wojny szybowiec ten służył znakomitemu pilotowi Mac Cready'emu do lotów sportowych i badań meteorologicznych.

W czasie działań wojennych, jak również w okresie okupacji, hitlerowcy zawzięcie niszczyli polski sprzęt szybowcowy, polskie szkoły szybowcowe zostały w większości spalone, a ludzie związani z szybownictwem cierpieli prześladowania. Wielu pilotów i konstruktorów szybowcowych odznaczyło się na polu walki bądź jako piloci samolotów bojowych na wschodnim i zachodnim froncie, bądź też w podziemnych akcjach dywersyjnych przeciw faszystowskiemu najeźdźcy.

Nieliczne egzemplarze polskich konstrukcji szybowcowych przetrwały okres wojny i okupacji ukryte w kraju przez miejscowych entuzjastów lotnictwa, zaś kilka polskich szybowców, będących w swoim czasie przedmiotem eksportu, doczekało się końca wojny poza granicami Polski.

Po odzyskaniu niepodległości pomoc państwa stworzyła odpowiednie warunki dla odbudowy szybownictwa. Dowodem tego było podjęcie już w roku 1945 budowy Szkoły Szybowcowej Żar, uruchomienie ośrodka szybowcowego w Fordonie i zapoczątkowania bezpłatnego szkolenia pilotów szybowcowych na pozostawionych przez Niemców szybowcach w ogólnej liczbie około 400 sztuk — przeważnie szkolne SG-38, treningowe „Grunau-Baby" („Jeżyk") oraz kilkadziesiąt wyczynowych „Ważek", „Olimpii", „Kranichów" („Żurawi") i „Minimoa".

Szybko odżyły ośrodki szybowcowe i aerokluby, zaś w listopadzie 1945 roku szybownicy odbyli „sejmik szybowcowy" w Jeżowie w celu uzgodnienia planów odbudowy polskiego szybownictwa.

W roku 1946 powstał w Bielsku Instytut Szybownictwa (przemianowany w latach późniejszych na Szybowcowy Zakład Doświadczalny), gdzie skupili się konstruktorzy i działacze szybownictwa jak: inż. inż. Weigl, Nowakowski, Matz, Niespał, Kotowski, Kostia, Kaniewska, Zatwarnicki, Wasilewski, Sandauer, prof. Humen, znani piloci szybowcowi Piotr Mynarski, Adam Zientek oraz inni entuzjaści szybownictwa.

Już w roku 1947 został oblatany pierwszy szybowiec skonstruowany w Polsce Ludowej. Był to szybowiec wysokowyczynowy IS-1 „Sęp", na którym Adam Zientek wziął udział w Międzynarodowych Zawodach Szybowcowych w Samedan w Szwajcarii, uzyskując I miejsce w konkurencji prędkościowej.

Następne nowe konstrukcje szybowcowe, które ujrzały światło dzienne w Instytucie Szybownictwa, to: szybowiec szkolny IS-3 „ABC" i trenigowo-wyczynowy IS-2 „Mucha", które stały się podstawowym sprzętem szybowcowym wraz z rekonstruowanymi z planów przedwojennych „Komarami" i „Salamandrami". Budowane w dużych seriach „Muchy" umożliwiły polskim pilotom wykonywanie na szeroką skalę lotów wyczynowych oraz zdobywanie rekordów krajowych i międzynarodowych.

W roku 1948 powstał szybowiec akrobacyjny IS-4 „Jastrząb", a następnie konstruktorzy, chcąc zbadać wszystkie perspektywy rozwojowe szybownictwa, opracowali szybowce doświadczalne: „Kaczkę", bezogonowego „Nietoperza" oraz „Osę" — pierwszy w Polsce szybowiec o profilu laminarnym.

W roku 1951 powstała wysokowyczynowa, budowana następnie w dużych seriach „Jaskółka", dalej dwumiejscowy wyczynowy „Bocian" i dwumiejscowy szybowiec szkolny „Czapla", jak również ich wersje rozwojowe wprowadzające stopniowe zmiany i ulepszenia. Pełna lista typów i wersji szybowców zbudowanych w Polsce Ludowej podana została w tablicy 9.

W roku 1958 został opracowany prototyp nowoczesnego wysokowyczynowego szybowca „Zefir" oraz dla wprowadzonej do Mistrzostw Świata klasy standard szybowiec „Mucha Standard", którą w roku 1960 zastąpiła na Mistrzostwach udana „Foka". W roku 1959 został oblatany drugi polski bezogonowiec „Wampir", który niestety w czasie wykonywania lotów doświadczalnych uległ wypadkowi.

Przemysł szybowcowy rozwija się dalej w szybkim tempie zdobywając zagraniczne rynki zbytu. Szybowce „ABC", „Salamandra", „Mucha", „Jaskółka", „Bocian", „Lis" i „Foka" były lub też są obecnie przedmiotem eksportu do NRD, NRF, Belgii, Szwajcarii, Francji, Anglii, Holandii, a nawet dalekiej Australii i innych krajów całego świata. W Chinach Polska pomogła w uruchomieniu wytwórni szybowców oraz zorganizowaniu szkolenia szybowcowego.

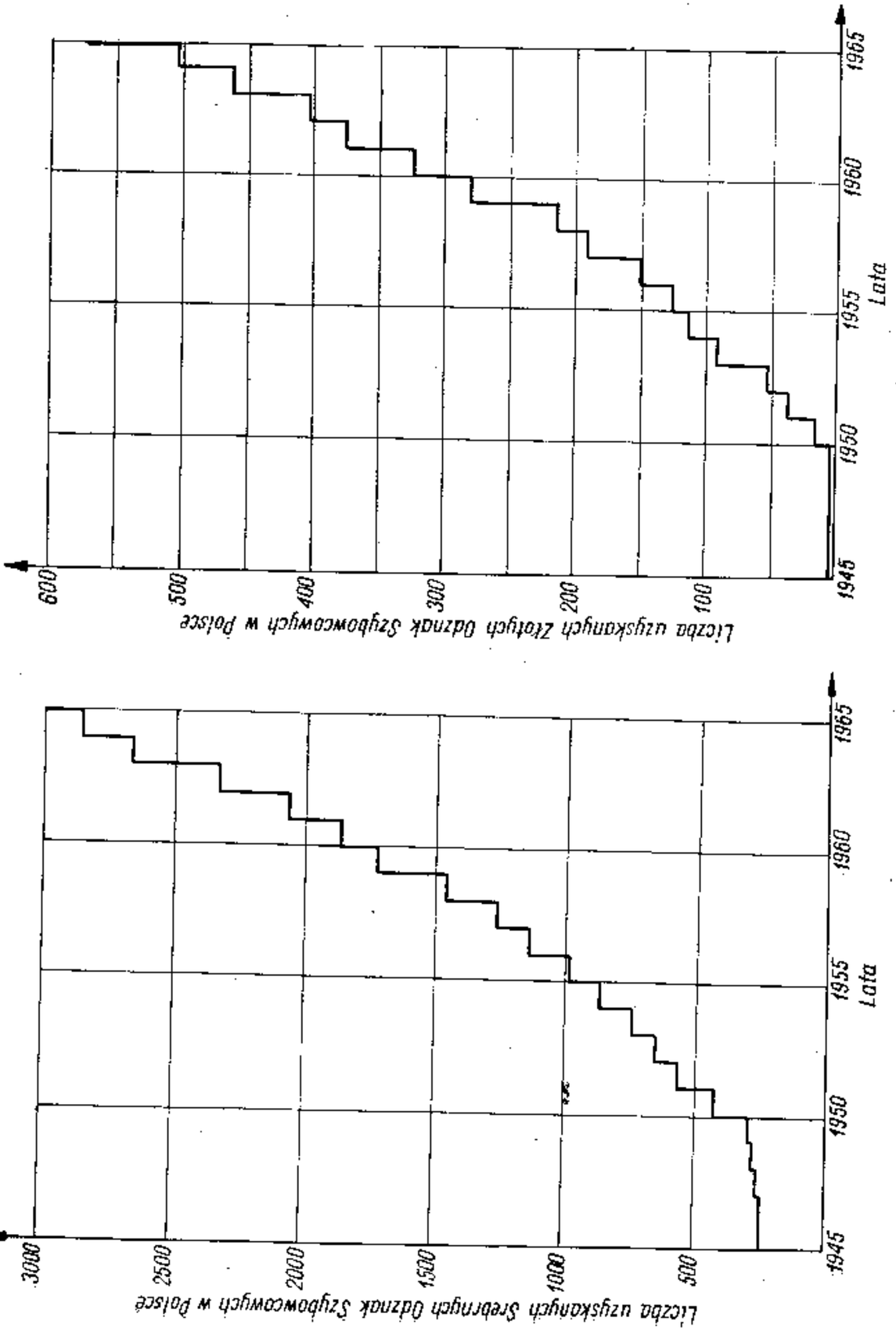
Organizacja szybownictwa Polski Ludowej po wielu latach doświadczeń (również i negatywnych), po kolejnym podporządkowywaniu sportu lotniczego Departamentowi Lotnictwa Cywilnego Ministerstwa Komunikacji, Powszechnej Organizacji „Służba Polsce", Lidze Lotniczej oraz Lidze Przyjaciół Żołnierza została w 1956 roku oddana w ręce reaktywowanego Aeroklubu Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej, jako naczelnej władzy całego lotnictwa sportowego. Szybownictwo, przy wielkim poparciu finansowym ze strony państwa, uzyskało szereg poważnych osiągnięć bądź to w postaci liczby wyszkolonych pilotów szybowcowych, bądź też w postaci wyczynów sportowych.

Dość wspomnieć, że podczas gdy w 1945 roku byliśmy w posiadaniu 225 Srebrnych Odznak Szybowcowych i jednej zaledwie Złotej Odznaki Szybowcowej (od początku istnienia polskiego sportu

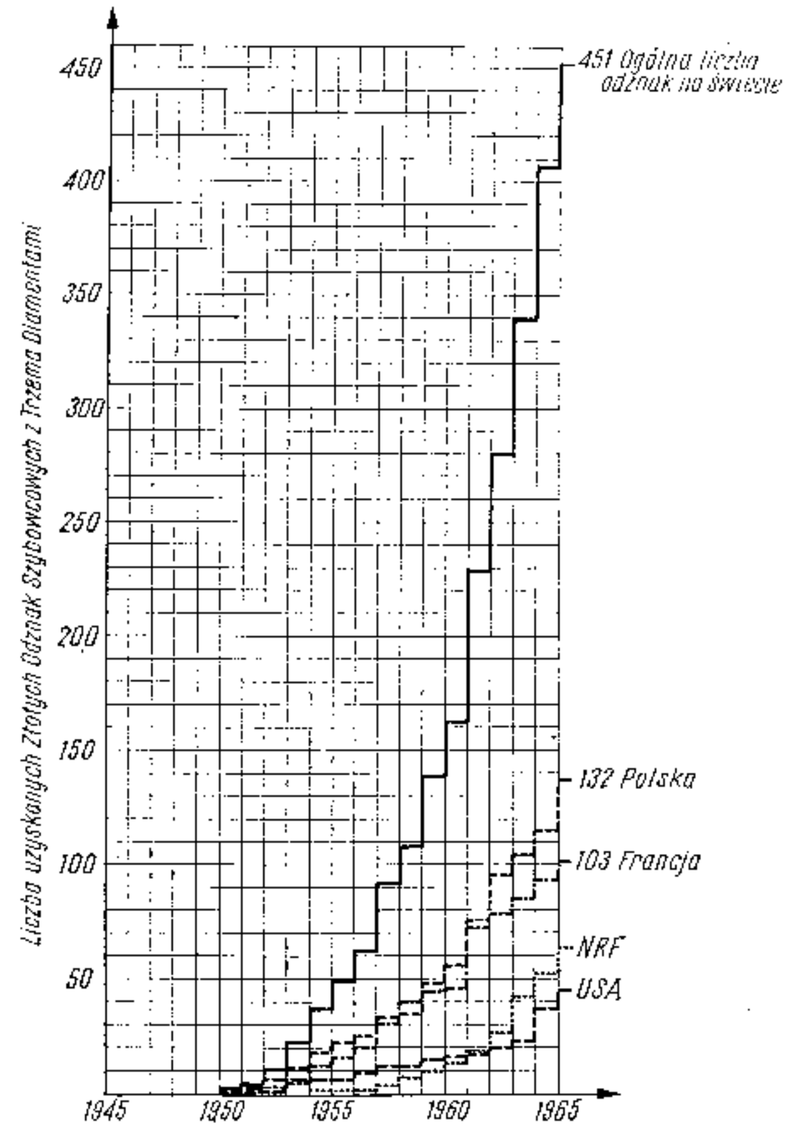
Tablica 9

Szybowce polskiej konstrukcji zbudowane w okresie powojennym

Lp.	Typ szybowca	Rok budowy	Przeznaczenie	Liczba miejsc	Rozpiętość w m	Długość w m	Wysokość w m	Powierzchnia nośna w m²	Wydłużenie	Ciężar własny w kG	Ciężar w locie w kG	Doskonałość	Min. pręd. opadania w m/sek	Prędkość minimalna w km/godz	Dopuszcz. pręd. nurkowania w km/godz
1	IS-1 „Sęp"	1947	wyczynowy	1	17,5	7,5	1,25	17,0	18	265	345	26,5	0,7	40	225
2	IS-2 „Mucha" i „Mucha bis"	1948	trening.-wyczyn.	1	15,0	6,8	1,6	15,0	15	170	260	24,0	0,7	47	250
3	IS-2 „Mucha ter"	1950	trening.-wyczyn.	1	15,0	6,8	1,6	15,0	15	170	290	24	0,7	48	250
4	IS-3 „ABC" i „ABC ter"	1948	szkolny	1	9,0	6,0	1,95	13,5	6	105	185	11	1,3	45	135
5	IS-4 „Jastrząb"	1949	akrobacyjny	1	12,0	6,25	1,2	12,0	12	250	350	20	1,05	65	450
6	„Komar 48"	1948	szkolno-trening.	1	15,82	6,75	1,75	17,4	14,4	157	246	20	0,7	44	140
7	IS-5 „Kaczka"	1949	doświadczalny	1	11,56	4,0	2,29	11,6	13	105	185	21	0,93	52	250
8	„Pegaz" (silnik „Gad" 31 KM)	1949	motoszybowiec	1	11,7	6,85	1,6	14,8	9,2	270	390	15,5	1,25	59	129
9	IS-6X „Nietoperz"	1951	doświadczalny	1	12,0	4,0	1,3	14,4	10	150	230	23	1,35	54	300
10	IS-7 „Osa"	1950	doświadczalny	1	15,0	6,8	1,6	14,1	16	237	330	26,1	0,8	56	250
11	SZD-8 „Jaskółka"	1951	wyczynowy	1	16,0	6,74	1,41	13,6	18,8	250	330	27	0,75	50	250
12	SZD-8 „Jaskółka bis" i „ter"	1951	wyczynowy	1	16,0	7,42	1,41	13,6	18,8	250	330	27	0,75	50	250
13	SZD-8 „Jaskółka Z"	1955	wyczynowy	1	16,0	7,42	1,41	13,8	18,8	260	370	27	0,80	51	250
14	SZD-9 „Bocian" i „Bocian bis"	1952	wyczynowy	2	18,0	7,95	1,8	20,0	16,2	328	500	26	0,85	52	200
15	SZD-9 „Bocian Z"	1955	wyczynowy	2	18,12	7,95	1,8	20,0	16,2	330	500	26	0,87	52	200
16	SZD-10 „Czapla" i „Czapla bis"	1954	szkolny	2	16,0	8,37	1,98	24,0	10,6	250	420	17,3	0,90	40	160
17	SZD-11 „Albatros"	1956	wyczynowy	1	18,0	7,42	1,41	17,7	18,3	260	340	26	0,70	52	230
18	SZD-12 „Mucha 100"	1954	trening.-wyczyn.	1	15,0	7,0	1,6	15,0	15,0	210	290	24	0,72	47	250
19	SZD-14X „Jaskółka M"	1954	wyczynowy	1	16,0	6,8	1,5	13,6	18,8	250	330	27	0,75	50	250
20	SZD-15 „Sroka"	1956	treningowy	1	14,5	6,9	1,5	14,5	14,5	170	270	20	0,84	49	200
21	SZD-17X „Jaskółka L"	1956	wyczynowy	1	16,0	6,8	1,5	13,6	18,8	340	540	31	0,8	87	250
22	„Bocian-Puls" (siln. pulsacyjne 4 × 10 kG)	1956	doświadczalny	2	18,0	7,95	1,8	20,0	16,2	442	612	20	0,33(1,8)	58	—
23	SZD-16 „Gil"	1958	treningowy	1	13,5	6,85	1,46	14,0	13,0	165	250	20,2	0,85	50	200
24	M-3 „Pliszka"	1958	treningowy	1	14,16	6,68	1,5	15,0	13,4	205	300	21	0,89	52	180
25	SZD-19 „Zefir 1"	1958	wyczynowy	1	17,0	7,3	1,27	14,0	20,5	337	432	30	0,89	61	170
26	SZD-20X „Wampir II"	1959	doświadczalny	1	15,0	3,9	1,7	15,0	15,0	175	250	24,4	0,85	58	200
27	SZD-22 „Mucha Standard"	1958	wyczynowy	1	14,98	7,0	1,65	12,75	17,6	210	326	27,8	0,73	59	250
28	SZD-24 „Foka" oraz „Foka 4"	1960	wyczynowy	1	15,0	7,0	1,4	12,2	18,5	237	322	34,0	0,66	64	260
29	SZD-25 „Lis"	1960	wyczynowy	1	14,98	7,0	1,5	12,75	17,6	205	315	27,1	0,76	58	230
30	SZD-19-2 „Zefir 2"	1960	wyczynowy	1	17,0	7,2	1,64	14,0	20,6	330	415	34,5	9,72	62	220
31	SZD-21-2 „Kobuz 2"	1961	akrobacyjny	1	14,0	6,38	1,50	13,5	14,5	250	340	25,9	0,99	67	250
32	SZD-21-3 „Kobuz 3"	1964	akrobacyjny	1	14,0	7,25	1,90	13,5	14,5	311	401	30,0	0,90	73	350
33	SZD-27 „Kormoran"	1965	szkolny (metalowy)	2	17,0	8,0	1,1	19,3	15,0	382	552	28,1	0,80	64	235
34	SZD-29 „Zefir 3"	1965	wyczynowy	1	19,0	8,0	2,1	15,7	23,0	434	524	42,0	0,66	65	300
35	SZD-30 „Pirat"	1966	trening.-wyczyn.	1	14,95	6,86	1,87	13,8	16,2	250	340	30,6	0,69	59	250



Rys. 13—4. Historia zdobywania Srebrnych i Złotych Odznak Szybowcowych w Polsce w okresie powojennym



Rys. 13—5. Wykreślny „rejestr" Złotych Odznak Szybowcowych z Trzema Diamentami na świecie

szybowcowego), to na koniec roku 1965 mieliśmy już 2996 Srebrnych i 571 Złotych Odznak (rys. 13—4).

Osobną historię stanowi wyścig światowy w zdobywaniu Złotej Odznaki Szybowcowej z Diamentami — ukoronowania wyczynu szybowcowego, której rejestr prowadzi Biuro FAI. I tu trzeba przyznać polskie szybownictwo święci triumfy, ponieważ od roku 1950 — kiedy Polak Tadeusz Góra uzyskał, jako drugi na świecie, Złotą Odznakę Szybowcową z Trzema Diamentami (pierwszą w tym samym roku uzyskał Amerykanin John Robinson) — stoimy na pierwszym miejscu z liczbą 132 odznak (stan na rok 1965). Historię zdobywania odznak szybowcowych na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat obrazują wykresy przedstawione na rysunkach 13—4 i 13—5.

Tablica 10

Centralne zawody szybowcowe rozgrywane w Polsce w latach 1926—1966

Rok	Nazwa zawodów	Miejscowość	Zwycięzcy
1923	I Krajowy Konkurs Szybowców	Czarna Góra k/Nowego Targu	„Akar" — Tadeusz Karpiński
1925	II Krajowy Konkurs Szybowców	Oksywie k/Gdyni	„Miś" — Stanisław Wrembel S-1 — Wł. Szulczewski „Bimbuś" — Franciszek Jach
1935	III Krajowe Zawody Szybowcowe	Ustianowa	1. Zbigniew Oleński 2. Andrzej Włodarkiewicz 3. Zbigniew Żabski
1936	IV Krajowe Zawody Szybowcowe	Ustianowa	1. Zbigniew Żabski 2. Edward Peterek
1937	V Krajowe Zawody Szybowcowe	Inowrocław	1. Tadeusz Górą 2. Zbigniew Żabski
1938	VI Krajowe Zawody Szybowcowe	Masłów k/Kielc	1. Kazimierz Plonkiewicz 2. Tadeusz Góra
1948	VII Krajowe Zawody Szybowcowe	Żar k/Bielska Śl.	1. Adam Zientek 2. Witold Kasprzyk
1949	I Zawody Szybowcowe Państw Demokracji Ludowej	Żar k/Bielska	1. Irena Kempówna 2. Adam Zientek
1951	VIII Krajowe Zawody Szybowcowe	Inowrocław	1. Jerzy Wojnar 2. Jerzy Adamek
1952	IX Krajowe Zawody Szybowcowe	Kobylnica	1. Jerzy Wojnar 2. Jerzy Popiel
1953	I (X) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	1. **Jerzy Popiel** 2. Andrzej Ziemiński 1. Wanda Szemplińska
1954	Międzynarodowe Zawody Szybowcowe	Leszno	1. Edward Makula 2. György Mezö
1955	II (XI) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Lisie Kąty	1. **Jerzy Wojnar** 2. Edward Makula 1. Adam Brzoza 2. Lucyna Bajewska
1956	III (XII) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Jelenia Góra	1. **Marian Gorzelak** 2. Jerzy Wojnar 3. Wanda Szemplińska
1957	IV (XIII) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	1. **Edward Makula** 2. Zbigniew Kirakowski 19. Pelagia Majewska
1959	V (XIV) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	1. **Jerzy Popiel** 2. Józef Pieczewski 8. Pelagia Majewska

c.d. tablicy 10

Rok	Nazwa zawodów	Miejscowość	Zwycięzcy
1960	VI (XV) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	nie wyłoniono mistrza
1961	VII (XVI) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	1. **Józef Pieczewski** 2. Jerzy Popiel 5. Lucyna Bajewska
1962	VIII (XVII) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	1. **Tadeusz Góra** 2. Henryk Muszczyński 12. Pelagia Majewska
1962	II Zawody Szybowcowe Państw Demokracji Ludowej	Leszno	1. **Józef Pieczewski** 2. Jerzy Popiel
1963	IX (XVIII) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	1. **Jan Wróblewski** 2. Marian Gorzelak 12. Pelagia Majewska
1964	X(XIX) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	1. **Franciszek Kępka** 2. Andrzej Kmitek 24. Adela Dankowska
1965	XI (XX) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	1. **Edward Makula** 2. Franciszek Kępka 25. Pelagia Majewska
1966	XII (XXI) Szybowcowe Mistrzostwa Polski	Leszno	1. **Edward Makula** 2. Henryk Muszczyński 7. Pelagia Majewska

Obecnie szybownicy polscy szkolą się w szkołach szybowcowych oraz na obozach Lotniczego Przysposobienia Wojskowego (LPW), trening zaś przeprowadzają w aeroklubach regionalnych i ośrodkach szybowcowych. O rozmiarach szkolenia i treningu szybowcowego w Polsce w ostatnich latach świadczą liczby wylatywanych rocznie przez szybowników godzin w powietrzu — około 70 tysięcy godzin — oraz odległości przebyte w czasie przelotów — ponad 500 tysięcy kilometrów.

Dla pilotów wyczynowych, w celu ułatwienia im zdobywania najwyższych umiejętności oraz ustanawiania rekordów, zorganizowane zostały takie ośrodki wyczynowe, jak Centrum Szybowcowe w Lesznie Wlkp., Wyczynowa Szkoła Szybowcowa w Jeżowie, w której piloci wykonują wysokościowe loty w warunkach falowych, oraz Ośrodek Lotów Stratosferycznych w Nowym Targu. Ponadto piloci mają możność — i to zarówno seniorzy, jak i juniorzy — brać udział corocznie w Mistrzostwach Polski oraz w różnego rodzaju zawodach i spotkaniach regionalnych.

Osobny rozdział w historii polskiego szybownictwa to udział w imprezach i zawodach międzynarodowych, a przede wszystkim osiągnięcia naszych reprezentantów w Szybowcowych Mistrzostwach Świata. Zwłaszcza ostatnie lata przyniosły polskim skrzydłom wielkie

Tablica 11

Szybowcowe Mistrzostwa Świata

Rok	Nazwa mistrzostw	Miejscowość i kraj	Zwycięzcy oraz miejsca Polaków
1950	I Szybowcowe Mistrzostwa Świata	Oerebro — Szwecja	**1. B. Nilsson — Szwecja** 2. P. Mac Cready — USA
1952	II Szybowcowe Mistrzostwa Świata	Madryt — Hiszpania	Szybowce jednomiejscowe: **1. P. Wills — Wielka Brytania** 2. G. Pierre — Francja Szybowce dwumiejscowe: **1. L. Juez — Hiszpania** 2. Frowein — NRF
1954	III Szybowcowe Mistrzostwa Świata	Camphill — Wielka Brytania	Szybowce jednomiejscowe: **1. G. Pierre — Francja** 2. P. Wills — Wielka Brytania Szybowce dwumiejscowe: **1. Rain/Komac — Jugosławia** 2. Mantelli/Braghini — Italia
1956	IV Szybowcowe Mistrzostwa Świata	Saint Yan — Francja	Szybowce jednomiejscowe: **1. P. Mac Cready — USA** 2. L. Juez — Hiszpania 3. M. Gorzelak — Polska 24. T. Góra — Polska Szybowce dwumiejscowe: **1. Goodhart/Foster — W. Brytania** 2. Rain/Stepanovič — Jugosławia 6. Nowotarski/Sandauer — Polska
1958	V Szybowcowe Mistrzostwa Świata	Leszno — Polska	Klasa otwarta: **1. E. Haase — NRF** 2. N. Goodhart — Wielka Brytania 5. E. Makula — Polska 14. M. Gorzelak — Polska Klasa standard: **1. A. Witek — Polska** 2. P. Persson — Szwecja 6. J. Wojnar — Polska
1960	VI Szybowcowe Mistrzostwa Świata	Kolonia — NRF	Klasa otwarta **1. A Heussinger — Argentyna** 2. E. Makula — Polska 3. J. Popiel — Polska Klasa standard: **1. H. Huth — NRF** 2. A. Witek — Polska
1963	VII Szybowcowe Mistrzostwa Świata	Junin — Argentyna	Klasa otwarta **1. E. Makula — Polska** 2. J. Popiel — Polska Klasa standard **1. H. Huth — NRF** 2. Lacheny — Francja 11. J. Pieczewski — Polska

cd. tabl. 11

Rok	Nazwa mistrzostw	Miejscowość i kraj	Zwycięzcy oraz miejsca Polaków
1965	VIII Szybowcowe Mistrzostwa Świata	South Cerney — Wielka Brytania	Klasa otwarta: **1. J. Wróblewski — Polska** 2. R. Spanning — NRF 4. E. Makula Klasa standard **1. J. Henry — Francja** 2 M. Ritzi — Szwajcaria **3. F. Kępka — Polska** **4. J. Popiel — Polska**

tryumfy — tytuły mistrzów i wicemistrzów świata (patrz tablica 11), a ponadto dwa najwyższe międzynarodowe odznaczenia szybowcowe — Medal Lilienthala — Pelagia Majewska (za 1961 r.) i Edward Makula (za 1965 r.).

O polskich osiągnięciach rekordowych i to zarówno w skali krajowej, jak i światowej niech świadczą tablice rekordów z lat: 1958, 1962, 1964 i 1965.

Sport szybowcowy w Polsce zdobywa coraz szersze kręgi entuzjastów wśród społeczeństwa, co znajduje swoje odbicie w samorzutnym organizowaniu się komitetów społecznych dążących do tworzenia aeroklubów oraz budowy lotnisk i hangarów środkami finansowymi zdobytymi na ten cel własnym wysiłkiem miejscowej ludności. Z roku na rok coraz więcej młodzieży ubiega się o szkolenie na pilotów szybowcowych, co przy odpowiednio zorganizowanej obecnie akcji szkoleniowej pozwala snuć jak najbardziej optymistyczne wnioski na temat przyszłości polskiego szybownictwa.

2. Kierunki rozwojowe i możliwości szybownictwa

W pierwszym okresie istnienia szybownictwa zasadniczym zagadnieniem warunkującym celowość zajmowania się tym sportem było wykazanie, że aparat cięższy od powietrza i nie wyposażony w silnik napędowy może jednak w pewnych warunkach wykonywać loty nie tylko ślizgowe. Ze względu na bardzo jeszcze niedoskonałą konstrukcję sprzętu, brak odpowiednich przyrządów oraz kompletny brak doświadczenia ze strony pilotów, zadanie to nie było wcale łatwe. Dlatego też w pierwszych latach szybownictwa najbardziej ceniona była długotrwałość lotu oraz wysokość uzyskiwana ponad miejsce startu — jako osiągnięcia stanowiące dowód, że szybowce nadają się do lotów żaglowych. Po opanowaniu pierwszych trudności i nabraniu pewnego doświadczenia szybownicy odważyli się „wypuścić w świat" — to jest zaczęli wykonywać przeloty. W miarę doskonalenia sprzętu oraz podwyższania kwalifikacji pilotów przelatywane odległości były coraz dłuższe, a wyniki w tej konkurencji

Międzynarodowe i krajowe rekordy szybowcowe
(stan na dzień 1.1.1958 r.)

Tablica 12

Kategoria / Konkurencja	D-1 szybowce jednomiejscowe				D-2 szybowce wielomiejscowe			
	Międzynarodowy	Krajowy	Kobiecy międzynarodowy	Kobiecy krajowy	Międzynarodowy	Krajowy	Kobiecy międzynarodowy	Kobiecy krajowy
Długotrwałość lotu	Francja Charles Atger 56 h 15 min 2—4.4.1952	Stanisław Wielgus 35 h 14 min 19—20.10.1949	Francja Marcelle Choisnet 35 h 03 min 17—19.11.1948	Wanda Modlibowska 24 h 14 min 13—14.5.1937	Francja B. Dauvin H. Couston 57 h 10 min 6—8.4.1954	Adam Zientek B. Żurakowkowski 23 h 51 min 18—19.10.1949	Francja Jacqueline Mathé M. Garbarino 38 h 41 min 11—12.1.1954	Irena Kempówna I. Przymanowska 14 h 22 min 22—23.7.1948
Odległość przelotu otwartego	USA Richard W. Johnson 861,272 km 5.8.1951	Bogusław Wodzyński 675,5 km 5.5.1957	ZSRR Olga Klepikowa 749,203 km 6.6.1939	Lucyna Bajewska 676,1 km 5.5.1957	ZSRR Wiktor Ilczenko G. Pieczkow 829,822 km 26.5.1953	Jerzy Popiel A. Siemiaszkiewicz 541,3 km 20.7.1953	ZSRR Olga Klepikowa W. Bordina 443,714 km 19.6.1940	Wanda Adamek M. Sitarska 353,6 km 29.5.1953
Odległość przelotu docelowego	Francja René Fonteilles 677,61 km 13.5.1956	Ludwik Misiek 552,3 km 18.6.1955	**Polska** **Pelagia Majewska** **518,59 km** 10.8.1956		**Polska** **Jerzy Popiel** **A. Siemiaszkiewicz** **541,3 km** 20.7.1953		Francja Francine Abadie J. Trubert 379,713 km 16.4.1955	Wanda Adamek M. Sitarska 353,6 km 29.5.1953
Odległość przelotu docelowo-powrotnego	CSR Vladislav Zejda 518,066 km 30.5.1957	Jerzy Wojnar 488,4 km 18.6.1955	**Polska** **Barbara Dankowska** **341,9 km** 23.5.1956		Afryka Pd. E. Dommisse J. Barker 436,0 km 9.2.1953	Zb. Rawicz R. Kopernok 352,0 km 28.4.1954	**Polska** **Pelagia Majewska** **H. Oleksiewicz** **341,9 km** **23.5.1956**	
Przewyższenie	USA William S. Ivans 9 174,5 m 30.12.1950	Andrzej Brzuska 7 330,0 m 14.12.1950	USA Betsy Woodward 8 533 m 14.4.1955	Wanda Szemplińska 6 380 m 26.6.1953	USA L.E. Edgar H.E. Klieforth 10 493 m 19.3.1952	Andrzej Brzuska W. Parczewski 8 162 m 1.12.1950	Francja M. Choisnet-Gohard J. Queyrel 6 072 m 18.1.1951	Irena Kempówna Lucyna Wlazło 4 964 m 22.11.1950
Wysokość absolutna	USA William S. Ivans 12 832 m 30.12.1950	Andrzej Brzuska 8 130 m 14.12.1950	USA Betsy Woodward 12 190,2 m 14.4.1955	Wanda Szemplińska 6 990 m 26.6.1953	USA L.E. Edgar H.E. Klieforth 13 489 m 19.3.1952	Andrzej Brzuska W. Parczewski 9 293 m 1.19.1950	Francja M. Choisnet-Gohard J. Queyrel 7 042 m 18.1.1951	
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 100 km	**Polska** **Jerzy Wojnar** **94,716 km/h** 15.5.1954		**Polska** **Wanda Szemplińska** **75,564 km/h** 15.5.1954		NRF Ernest G. Haase R. Picchio 80,338 km/h 13.3.1952	Cz. Cnotliwy J. Tomaszewski 82,6 km/h 27.4.1954	ZSRR A. Samosadowa A. Niewienczannaja 64,285 km/h 30.7.1952	W. Szemplińska Z. Widort 64,8 km/h 31.5.1955
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 200 km	USA Paul F. Bikle 88,54 km/h 18.8.1957	Edward Makula 67,304 km/h 14.8.1955	**Polska** **Wanda Szemplińska** **59,930 km/h** 14.6.1957		**Polska** **Henryk Zydorczak** **E. Oleś** **66,048 km/h** 14.8.1955		**Polska** **Pelagia Majewska** **W. Adamczyk** **66,551 km/h** 24.5.1956*	
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 300 km	W. Brytania G.A.J. Goodhart 76,636 km/h 9.1.1956	Józef Misiek 59,08 km/h 29.5.1957			Jugosławia Zwonimir Rain P. Bogojevic 64,177 km/h 7.6.1956	Henryk Zydorczak J. Grześczyk 57.279 km/h 19.7.1956		

Międzynarodowe i krajowe rekordy szybowcowe
(stan na dzień 1.1.1962 r.)

Tablica 13

Kategoria / Konkurencja	D-1 Szybowce jednomiejscowe				D-2 Szybowce wielomiejscowe			
	Międzynarodowy	Krajowy	Kobiecy międzynarodowy	Kobiecy krajowy	Międzynarodowy	Krajowy	Kobiecy międzynarodowy	Kobiecy krajowy
Odległość przelotu otwartego	USA Richard Johnson 861,272 km 5.8.1951	Bogusław Wodzyński 675,5 km 5.5.1957	ZSRR Olga Klepikowa 749,203 km 6.6.1939	Lucyna Bajewska 671,1 km 5.5.1957 r.	ZSRR Wiktor Ilczenko G. Piecznikow 829,822 km 26.5.1953	Tadeusz Dąbek Tomasz Przybył 577,1 km 22,5.1961	**Polska** **Pelagia Majewska** **J. Kurka** **518,59 km** 10.8.1958	
Odległość przelotu docelowego	ZSRR M. Wierietiennikow 714,023 km 18.6.1960	Pelagia Majewska 562,6 km 30.8.1959	**Polska** **Pelagia Majewska** **562,6 km** 30.8.1959		ZSRR Wiktor Ilczenko L. Piechtierew 607,942 km 18.6.1960	Jerzy Popiel A. Siemiaszkiewicz 541,3 km 20.7.1963	**Polska** **Pelagia Majewska** **J. Kurka** **518,59 km** 10.8.1958	
Odległość przelotu docelowo-powrotnego	W. Brytania Denis Burns 565,52 km 10.1.1961	Ludwik Misiek 533,6 km 6.7.1959	W. Brytania Anne Burns 436,44 km 9.1.1961	Lucyna Bajewska 387,0 km 26.6.1960	**Polska** **Henryk Zydorczak** **J. Leśniorowski** **517,8 km** 6.7.1959		**Polska** **Pelagia Majewska** **H. Oleksiewicz** **341,9 km** 23.5.1956	
Przewyższenie	USA Paul F. Bikle 12,894 m 25.2.1961	Stanisław Józefczak 10 655 m 4.1.1961	W. Brytania Anne Burns 9 119 m 13.1.1961	Wanda Szemplińska 6 380 m 26.6.1953	USA Laurence Edgar H.E. Klieforth 10 493 m 19.3.1952	Waldemar Gross W. Cygański 8 850 m 27.10.1959	Francja Denis Trouillard S. Suchet 7 256 m 11.12.1961	Lidia Pazio E. Grodecka 7 020 m 11.12.1961
Wysokość absolutna	USA Paul F. Biklo 14 102 m 25.2.1961	Stanisław Józefczak 11 860 m 4.1.1961	USA Betsy. Woodward 12 190,2 m 14.4.1955	St. Antoszewska 8 650 m 21.12.1958	USA Laurence Edgar H.E. Klieforth 13 489 m 19.3.1952	Waldemar Gross W. Cygański 9 810 m 27.10.1959	Francja Denis Trouillard S. Suchet 8 571 m 11.12.1961	Lidia Pazio E. Grodecka 8 084 m 5.12.1961
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 100 km	ZSRR M. Wierietiennikow 111,388 km/h 6.5.1960	Edward Makula 102,1 km/h 4.5.1960	ZSRR Anna Samosadowa 93,103 km/h 27.6.1960	Danuta Zachara 80,961 km/h 14.7.1959	ZSRR Wiktor Ilczenko L. Piechtierew 96,120 km/h 13.7.1960	Czesław Cnotliwy J. Tomaszewski 82,6 km/h 27.4.1954	Jugosławia C. Klancnik-Belin S. Trauner 85,420 km/h 9.9.1958	Pelagia Majewska J. Pietrzak-Rażo 76,193 km/h 13.6.1958
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 200 km	USA Richard Schreder 107,83 km/h 6.8.1959	Edward Makula 93,928 km/h 6.5.1960	W. Brytania Anne Burns 79,01 km/h 11.1.1961	Maksymiliana Paszyc 67.560 km/h 6.5.1960	USA Harland Ross H. Jensen 81,349 km/h 12.8.1958	Julian Ziobro T.Budzyński 76,6 km/h 28.5.1960	**Polska** **Pelagia Majewska** **W. Adamczyk** **66,551 km/h** 24.5.1956	
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 300 km	USA Richard Schreder 96,84 km/h 7.8.1959	Edward Makula 70,608 km/h 14.6.1958	W. Brytania Anne Burns 66,70 km/h 8.1.1961	Pelagia Majewska 62,29 km/h 14.7.1960	USA Harland Ross P. Wilson 82,349 km/h 13.8.1959	Józef Misiek Z. Frankowski 64,4 km/h 6.7.1959	**Polska** **Lucyna Bajewska** **J. Tomala** **61,717 km/h** 9.5.1959	

Tablica 14

Międzynarodowe i krajowe rekordy szybowcowe
(stan na dzień 1.1.1964 r.)

Kategoria / Konkurencja	D-1 Szybowce jednomiejscowe				D-2 Szybowce wielomiejscowe			
	Międzynarodowy	Krajowy	Kobiecy międzynarodowy	Kobiecy krajowy	Międzynarodowy	Krajowy	Kobiecy międzynarodowy	Kobiecy krajowy
Odległość przelotu otwartego	NRF Karl Betzler 875,987 km 2.6.1963	Edward Makula 717,5 km 20.2.1963	ZSRR Olga Klepikowa 749,203 km 6.6.1939	Lucyna Bajewska 671,1 km 5.5.1957	ZSRR Wiktor Ilczenko G. Piecznikow 829,822 km 26.5.1953	Franciszek Kępka jr Edward Łopato 636,6 km 8.8.1962	**Polska** **Pelagia Majewska** **Maria Kempówna** **562,4 km** 15.7.1963	
Odległość przelotu docelowego	USA Alvis H. Parker 784,14 km 27.8.1963	Pelagia Majewska 562,6 km 30.8.1959	**Polska** **Pelagia Majewska** **562,6 km** 3.7.1959		**Polska** **Franciszek Kępka jr** **Edward Łopato** **636,6 km** 8.8.1962		**Polska** **Pelagia Majewska** **Irena Raże** **540,4 km** 8.8.1962	
Odległość przelotu docelowo-powrotnego	**Polska** **Jan Wróblewski** **678,9 km** 28.7.1963		**Polska** **Pelagia Majewska** **457,0 km** 3.7.1963		**Polska** **Stanisław Ratusiński** **St. Maciejewski** **543,5 km** 29.7.1962		**Polska** **Danuta Zachara** **M. Olszewska** **419,3 km** 29.7.1963	
Przewyższenie	USA Paul F. Bikle 12 894 m 25.2.1961	Stanisław Józefczak 10 655 m 4.1.1961	W. Brytania Anne Burns 9 119 m 13.1.1961	Lidia Pazio 7 870 m 9.12.1962	USA Laurence Edgar H.E. Klieforth 10 493 m 19.3.1952	Waldemar Gross W. Cygański 8 850 m 27.10.1959	Francja Denise Trouillard S. Suchet 7 256 m 11.12.1961	Lidia Pazio E. Grodecka 7 020 m 5.12.1961
Wysokość absolutna	USA Paul F. Bikle 14 102 m 25.2.1961	Stanisław Józefczak 11 860 m 4.1.1961	USA Betsy Woodward 12 190,2 m 14.4.1955	Lidia Pazio 8 950 m 9.12.1962	USA Laurence Edgar H.E. Klieforth 13 489 m 19.3.1952	Waldemar Gross W. Cygański 9 810 m 27.10.1959	Francja Denise Trouillard S. Suchet 8 571 m 11.12.1961	Lidia Pazio E. Grodecka 8 084 m 5.12.1961
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 100 km	USA George B. Moffat jr 128,38 km/h 16.8.1962	Edward Makula 102,1 km/h 4.5.1960	ZSRR Anna Samosadowa 93,103 km/h 27.6.1960	Adela Dankowska 84,3 km/h 25.4.1962	ZSRR A. Kowczirko ? 100,319 km/h 27.7.1963	Czesław Cnotliwy E. Nowak 87,9 km/h 29.7.1962	Jugosławia C. Klancnik-Belin S. Trauner 85,420km/h 9.9.1958	P. Majewska J. Pietrzak-Raże 76,193 km/h 13.6.1958
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 200 km	USA Richard Schreder 107,83 km/h 6.8.1959	Edward Makula 93,928 km/h 6.5.1960	W. Brytania Anne Burns 71,01 km/h 11.1.1961	Maksymiliana Paszyc 75,6 km/h 29.7.1962	Francja Daniel Barbera S. Robert 84,553 km/h 17.8.1962	Julian Ziobro T. Budzyński 76,6 km/h 28.5.1960	**Polska** **Pelagia Majewska** **W. Adamczyk** **66,551 km/h** 24.5.1956	
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 300 km	USA George B. Moffat jr 108,12 km/h 19.8.1962	Jerzy Popiel 95,355 km/h 19.2.1963	**Polska** **Adela Dankowska** **82,79 km/h** 3.8.1963		USA Harland Ross P. Wilson 82,349 km/h 13.8.1959	Julian Ziobro Z. Krystek 74,6 km/h 13.6.1962	**Polska** **Pelagia Majewska** **S. Strządała** **68,52 km/h** 4.7.1963	

Międzynarodowe i krajowe rekordy szybowcowe
(stan na dzień 1.1.1965 r.)

Tablica 15

Kategoria / Konkurencja	D-1 Szybowce jednomiejscowe				D-2 Szybowce wielomiejscowe			
	Międzynarodowy	Krajowy	Kobiecy międzynarodowy	Kobiecy krajowy	Międzynarodowy	Krajowy	Kobiecy międzynarodowy	Kobiecy krajowy
Odległość przelotu otwartego	USA Alvin H. Parker 1041,52 km 31.7.1964	Henryk Lisiecki 740,6 km 24.5.1964	ZSRR Olga Klepikowa 749,203 km 6.6.1939	Lucyna Bajewska 671,1 km 5.5.1957	ZSRR Wiktor Ilczenko G. Pieczników 829,822 km 26.5.1953	Fr. Kępka jr Edward Łopato 636,6 km 8.8.1962	ZSRR Z. Sołowiej Stella Iwanowa 619,995 km 27.6.1964	Adela Dankowska J. Pogorzelska 585,7 km 31.8.1964
Odległość przelotu docelowego	USA Wallace A. Scott 837,75 km 23.7.1964	Adela Dankowska 630,0 km 7.7.1964	**Polska** **Adela Dankowska** **630,0 km** 7.7.1964		ZSRR Paweł Antonow Walery Opłaczko 702,744 km 24.4.1964	Fr. Kępka jr Edward Łopato 636,6 km 8.8.1962	**Polska** **Pelagia Majewska** **Irena Raże** **540,4 km** 8.8.1962	
Odległość przelotu docelowo-powrotnego	Afryka Pd. M. Jackson 699,04 km 8.1.1964	J. Wróblewski 678,9 km 28.7.1963	**Polska** **Pelagia Majewska** **457,0 km** 3.7.1963		**Polska** **St. Ratusiński** **St. Maciejewski** **543,5 km** 29.7.1962		**Polska** **D. Zachara** **M. Olszewska** **419,3 km** 29.7.1963	
Przewyższenie	USA Paul F. Bikle 12 894 m 25.2.1961	Stanisław Józefczak 10 655 m 4.1.1961	W. Brytania Anne Burns 9 119 m 13.1.1961	Lidia Pazio 7 870 m 9.12.1962	USA Laurence Edgar H.E. Klieforth 10 493 m 19.3.1952	Waldemar Gross W. Cygański 8 850 m 27.10.1959	Francja Denise Trouillard S. Suchet 7 256 m 11.12.1961	Lidia Pazio E. Grodecka 7 020 m 5.12.1961
Wysokość absolutna	USA Paul F. Bikle 14 102 m 25.2.1961	Stanisław Józefczak 11 860 m 4.1.1961	USA Betsy Woodward 12 190,2 m 14.4.1955	Lidia Pazio 8 950 m 9.12.1962	USA Laurence Edgar H.E. Klieforth 13 489 m 19.3.1952	Waldemar Gross W. Cygański 9 810 m 27.10.1959	Francja Denise Trouillard S. Suchet 8 571 m 11.12.1961	Lidia Pazio E. Grodecka 8 084 m 5.12.1961
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 100 km	USA George B. Moffat jr 128,38 km/h 16.8.1962	Edward Makula 102,1 km/h 4.5.1960	ZSRR A. Samosadowa 93,103 km/h 27.6.1960	A. Dankowska 84,3 km/h 25.4.1962	**Polska** **Stanisław Kluk** **A. Wyrzanowski** **107,78 km/h** 2.9.1964		Jugosławia C. Klaneník-Belin S. Trauner 85,420 km/h 9.9.1958	P. Majewska J. Pietrzak-Raże 76,193 km/h 13.6.1958
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 300 km	USA George B. Moffat jr 119,87 km/h 6.8.1964	Jerzy Popiel 95,355 km/h 19.2.1963	W. Brytania Anne Burns 86,66 km/h 5.1.1964	A. Dankowska 62,79 km/h 3.8.1963	ZSRR W. Czuwikow J. Łogwin 92,562 km/h 1.8.1964	Julian Ziobro Z. Krystek 74,6 km/h 13.6.1962	ZSRR Olga Manafowa W. Łomowa 74,314 km/h 12.6.1964	P. Majewska S. Strządała 68,52 km/h 4.7.1963
Prędkość przelotu po trasie trójkąta 500 km	Afryka Pd. Evert Dommisse 107,12 km/h 25.12.1963	J. Wróblewski 91,3 km/h 23.5.1964	W. Brytania Anne Burns 103,33 km/h 25.12.1963	A. Dankowska 64,2 km/h 10.6.1964	NRF Helmut Sorg Heinz Sorg 83,74 km/h 7.1.1964	Henryk Zydorczak P. Mankiewicz 75,0 km/h 10.6.1964		

stawały się coraz bardziej cenione przyćmiewając osiągi w pozostałych dziedzinach sportu szybowcowego.

Pierwsza padła ofiarą konkurencja „długotrwałości lotu". Przy zdobyczach technicznych, w jakie szybownictwo z czasem wzbogaciło się, konkurencja długotrwałości lotu przestała być osiągnięciem związanym z szybownictwem, lecz przerodziła się w morderczą konkurencję wytrzymałości ludzkiej na brak snu i wypoczynku. Rekordy przekroczyły granicę 57 godzin nieprzerwanego lotu (patrz tabl. 12), a próby bicia często kończyły się tragicznie ze względu na wyczerpanie pilota. Z powyższych względów konkurencja długotrwałości lotu została decyzją FAI skreślona w 1958 roku z listy rekordów i tym samym przestała interesować sport szybowcowy.

Loty wysokościowe, aczkolwiek notowane w tabelach rekordów, przestały jednak wchodzić w skład konkurencji rozgrywanych w czasie mistrzostw szybowcowych — krajowych i świata. Przyczyną tego była specyfika lotów wysokościowych polegająca na tym, że znaczniejsze przewyższenia osiągane były przez szybowce bądź to w lotach chmurowych, bądź to w lotach halniakowych.

Jeżeli chodzi o przewyższenia rzędu 3000 m, to nie są one trudne do wykonania w wypiętrzonych Cumulusach, jednakże dla osiągnięcia większych przewyższeń Cumulusy są już przeważnie zbyt niskie i loty na większą wysokość muszą się odbywać w wypiętrzonych chmurach burzowych, w których występuje bardzo silna turbulencja oraz wyładowania elektryczne. Ze względu na trudne przy tym do zrealizowania stuprocentowe zabezpieczenie załogi przed porażeniem, zaś szybowca przed uszkodzeniem wskutek wyładowań elektrycznych, loty w chmurach burzowych są wzbronione. Z tych też powodów większe przewyższenia wykonywane są obecnie przeważnie w lotach falowych. Niestety zjawiska „stojącej fali" spotyka się tylko w nielicznych miejscach podgórskich. Zależnie przy tym od wysokości gór oraz ich ukształtowania szybowiec może osiągnąć bardzo duże wysokości. Do tej jednak chwili jeszcze loty te nie zostały rozpowszechnione ze względu na brak w szybowcach kabin ciśnieniowych niezbędnych do lotów w stratosferze.

W związku z tym, że stojące fale występują rzadko, zaś loty w chmurach przedstawiają duże ryzyko (możliwość zderzeń w czasie lotu w chmurze z innym szybowcem lub też z samolotami linii komunikacyjnych), konkurencje wysokościowe przestały wchodzić w programy Szybowcowych Mistrzostw Świata, pozostały jednakże notowane jako rekordy szybowcowe.

Obecnie konkurencje przelotowe opanowały bez reszty programy mistrzostw oraz większość pozycji w tabeli rekordów w postaci konkurencji odległościowych — otwartych lub docelowych — oraz konkurencji szybkościowych — przeważnie po trasach zamkniętych. Należy zresztą dodać, że przeloty odległościowe są na obecnym poziomie szybownictwa — praktycznie rzecz biorąc — również przelotami szybkościowymi, gdyż ze względu na wchodzące w rachubę odległości 600 do 1000 km, jakie należy pokonać w stosunkowo krótkim okresie warunków termicznych, prędkość lotu jest w tym przypadku wielkością decydującą.

Ponieważ współzawodnictwo sportowe w postaci wyników Szybowcowych Mistrzostw Świata oraz tabeli rekordów miało i ma decydujący wpływ na rozwój sprzętu, w pierwszym okresie szybowce charakteryzowały się bardzo małym obciążeniem powierzchni oraz dużym wyporem maksymalnym, a to w celu umożliwienia jak najdłuższego utrzymywania się w powietrzu bardzo jeszcze niedoskonałych szybowców. W miarę postępu w umiejętnościach pilotów zwiększyły się również wymagania w stosunku do sprzętu. Latanie w chmurach pociągało za sobą konieczność poprawienia własności pilotażowych szybowców oraz znacznego wzmocnienia ich konstrukcji, co z kolei wpłynęło na wzrost ciężaru i zwiększenie obciążenia powierzchni nośnej (wpływało to zresztą korzystnie na charakterystykę przeskokową szybowca).

Obciążenia powierzchni zaczęły dochodzić nawet do 35—40 kG/cm², co odpowiada już obciążeniu lekkich samolotów. Ciężkie szybowce o dużym obciążeniu powierzchni charakteryzują się dobrymi właściwościami przeskokowymi, jednakże ich duża prędkość w krążeniu oraz znaczne opadanie powoduje, że w słabszych warunkach meteorologicznych piloci mają trudności z utrzymaniem się w powietrzu. Wysiłki konstruktorów poszły więc w kierunku zaprojektowania takiego szybowca, który by:

— mógł zmieniać obciążenie w czasie lotu;
— był wyposażony w urządzenia zwiększające wypór, bez znacznego równoczesnego powiększania oporu;
— miał dobór parametrów zapewniający mu dobre własności zarówno w krążeniu na małej prędkości, jak i na dużej prędkości przeskokowej, czyli po prostu — który by był uniwersalny.

Wbrew wnioskom, jakie mogłyby się nasunąć na pierwszy rzut oka, pierwsze dwa sposoby — jak dotąd — nie dały żadnych rezultatów. Stosowanie dodatkowego balastu (najczęściej wody) w celu zwiększenia obciążenia szybowca jest niestety jednorazowe, gdyż po wyrzuceniu balastu w okresie słabszych warunków meteorologicznych (okres ten występuje często na początku przelotu) pilot nie jest w stanie go już odzyskać i zwiększyć obciążenia powierzchni po przejściu kryzysu i polepszeniu się warunków meteorologicznych. Również, jak dotąd, urządzenia do zwiększania wyporu nie dało się rozwiązać w sposób w pełni zadowalający. Mała wysokość profilu skrzydła szybowca utrudnia bowiem zastosowanie prawidłowo działających poszerzaczy, zaś zwykłe klapy wyporowe znacznie zwiększają opadanie.

Tak więc w rezultacie okazało się, że najwłaściwszą drogą będzie zbudowanie szybowca uniwersalnego, to znaczy odpowiedniego zarówno dla dużych, jak i dla małych prędkości lotu. Takie rozwiązanie problemu nabrało cech realności dopiero w ostatnich latach, tj. od chwili wprowadzenia do konstrukcji szybowcowych profili laminarnych oraz zwrócenia uwagi na właściwe opracowanie aerodynamiczne szybowców. Wydano więc bezlitosną walkę wszelkich oporom szybowca.

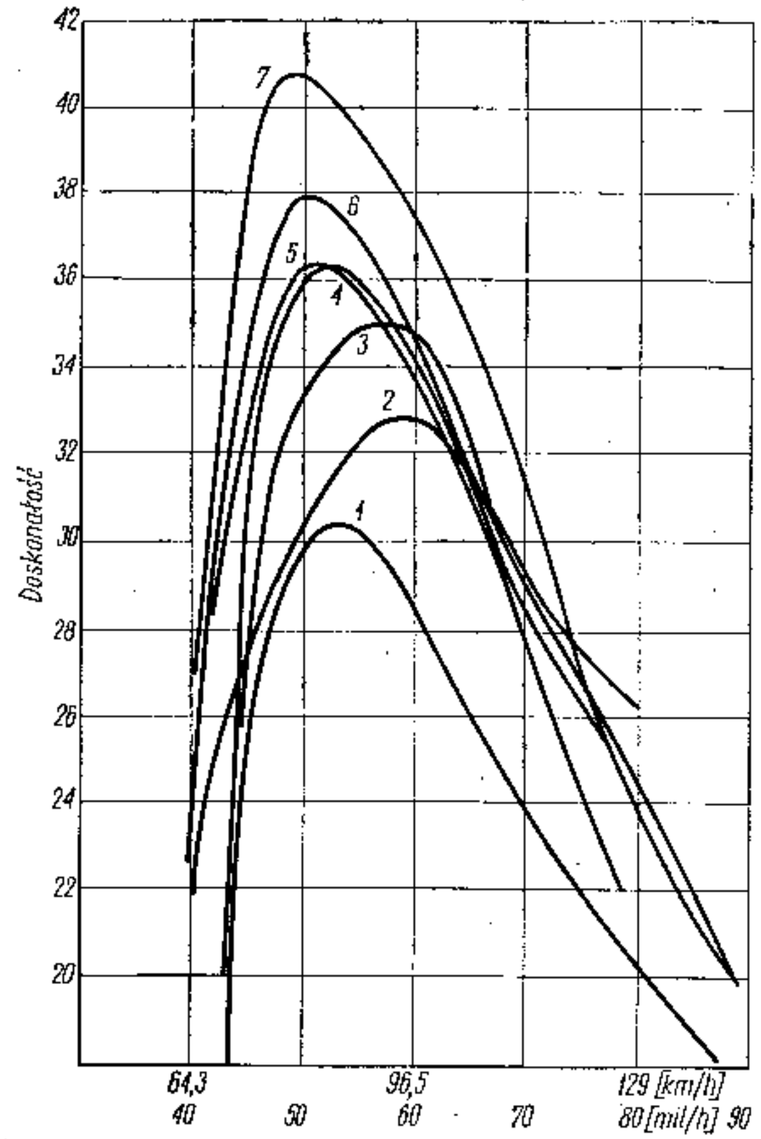
Jak wiemy, doskonałość szybowca wyraża się następująco: $D = \frac{c_z}{c_x}$, gdzie całkowity opór szybowca

$$c_x = c_x \textit{ indukowany} + c_x \textit{ profilowy} + c_x \textit{ szkodliwy},$$

przy czym opór indukowany $c_{xi} = \frac{k}{\pi\lambda} c_z^2$ zależy bezpośrednio od siły nośnej występującej na skrzydle oraz od jego wydłużenia i kształtu (patrz również rozdział 1, pkt 8 i 10). Wiemy przy tym, że opór indukowany jest najmniejszy dla skrzydła o eliptycznym rozkładzie wyporu (czyli o obrysie eliptycznym, bez zwichrzeń profili) oraz maleje ze wzrostem wydłużenia λ. W celu zmniejszenia oporu indukowanego można więc zwiększać wydłużenia skrzydła, jednakże droga taka jest bardzo niekorzystna pod względem konstrukcyjno-wytrzymałościowym.

Opór profilowy skrzydła (opór tarcia i kształtu profilu), mający duży udział w oporze sumarycznym szybowca (zwłaszcza w locie szybkim szybowca na małych kątach natarcia, kiedy to właśnie wysoka doskonałość szybowca jest tak bardzo pożądana), jest zależny od charakteru opływu cząsteczek powietrza w warstwie przyściennej, tzn. w warstwie powietrza bezpośrednio przylegającej do powierzchni skrzydła. Jeżeli opływ ten jest nie zaburzony czyli laminarny, opór tarcia jest mały.

Laminarność opływu warunkowana jest odpowiednim kształtem profilu (maksymalna grubość profilu znajduje się bardziej z tyłu niż w profilach normalnych) oraz idealną wprost gładkością powierzchni skrzydła. Zastosowanie profili laminarnych do celów szybowcowych natrafiało na trudności, gdyż o ile dla samolotów tzw. „niecka laminarności" leży w pewnym — dość zresztą wąskim — zakresie małych kątów natarcia, o tyle dla szybowców potrzebne są dwa zakresy laminarności: jeden na małych kątach natarcia (dla prędkości przeskokowej szybowca), drugi zaś na dużych kątach natarcia (w celu zmniejszenia opadania szybowca w czasie krążenia). Oprócz tego konstruktorom szybowców sprawia trudności niski na ogół maksymalny współczynnik wyporu profili laminarnych oraz konieczność utrzymania laminarności opływu przy małych liczbach Reynoldsa, odpowiadających małym cięciwom skrzydła szybowca oraz małym prędkościom lotu. Warunki wymagane dla laminarnych profili szybowcowych spełniają w dużej mierze opracowane w ostatnich latach przez Epplera szybowcowe profile laminarne i one to stają się obecnie bazą wyjściową projektów nowoczesnych szybowców wyczynowych (patrz rozdział 1, pkt 8 i rys. 1—18).



Rys. 13—6. Wpływ kolejnych modyfikacji przeprowadzanych w szybowcu amerykańskim RJ-5 na jego doskonałość

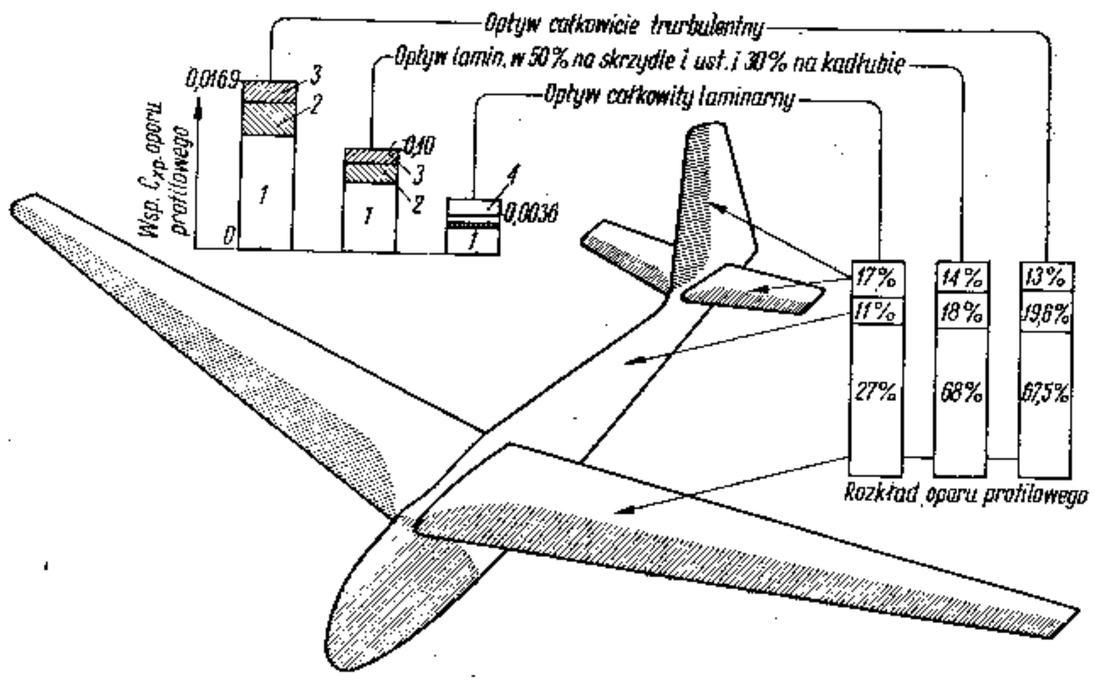
1 — doskonałość szybowca w wersji wyjściowej — limuzyna kulista, zafalowania przy krawędzi natarcia, szczeliny przy lotkach, klapach i hamulcach aerodynamicznych; 2 — doskonałość szybowca po wyrównaniu krawędzi natarcia i zakryciu szczeliny klap; 3 — doskonałość szybowca po zmianie kształtu limuzynki (wtopiona w obrys kadłuba); 4 — doskonałość szybowca po zaklejeniu szczelin hamulców aerodynamicznych; 5 — doskonałość szybowca po poprawieniu krawędzi natarcia i krawędzi spływu — zafalowania ~ 0,25 mm na długości 60 mm; 6 — doskonałość szybowca po zmniejszeniu zafalowań na krawędzi natarcia

Opory szkodliwe, jak wiemy z aerodynamiki, składają się z oporów kadłuba, usterzeń, podwozia itp., przy czym zalicza się do

nich zarówno opory tarcia, jak i kształtu poszczególnych części szybowca, I tutaj wydano walkę oporom stosując małe powierzchnie oraz dużą gładkość kadłuba i usterzeń w celu zmniejszenia oporów tarcia. Zwrócono zwłaszcza uwagę na właściwe opracowanie aerodynamiczne szybowca w celu wyeliminowania wszelkich przyczyn zawirowań, które dają wzrost oporów kształtu. W ten sposób można uzyskać również na kadłubie i usterzeniach opływ częściowo laminarny.

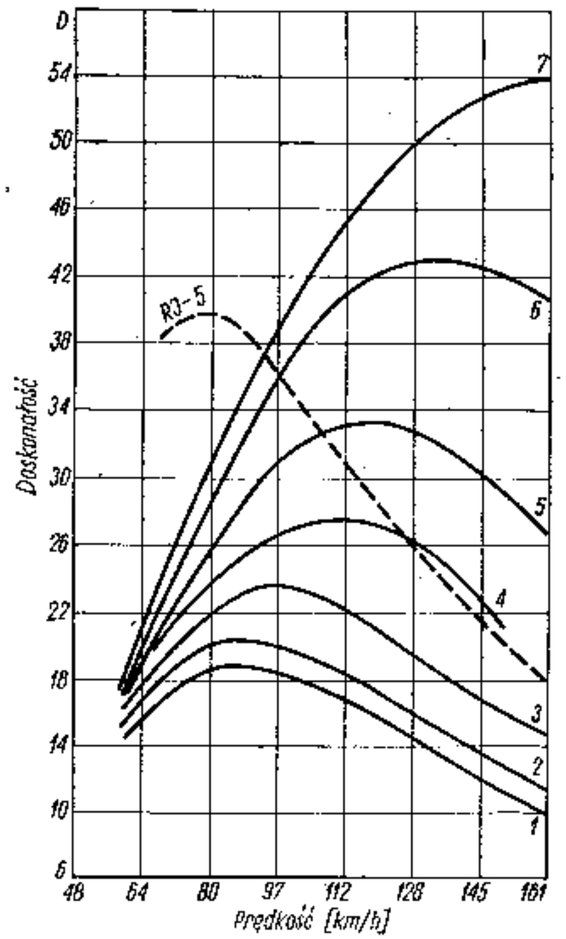
Jak wielki wpływ na doskonałość szybowca ma usunięcie źródeł różnorakich zawirowań oraz przyczyn powstawania dodatkowych oporów, przedstawia rysunek 13—6. Krzywe oznaczone kolejnymi liczbami *1* do *6* przedstawiają krzywe doskonałości amerykańskiego szybowca RJ-5 (rozpiętość 16,75 m, wydłużenie 24,5) i odpowiadają kolejno przeprowadzanym modyfikacjom szybowca polegającym wyłącznie na usuwaniu niektórych źródeł oporów szkodliwych. W efekcie tych modyfikacji z doskonałości rzędu 30, którą miał RJ-5 w pierwszej wersji, osiągnięto końcową doskonałość szybowca ponad 40,5.

Kolejny rysunek 13—7 pokazuje z kolei, jaki efekt może mieć zapewnienie szybowcowi opływu laminarnego zamiast normalnie występującego opływu burzliwego. Z rysunku tego widać, że w prawidłowo zaprojektowanym szybowcu wyczynowym największą składową oporu całkowitego reprezentuje opór skrzydła, nawet jeżeli będzie się rozpatrywać stan lotu, przy którym zanika opór indukowany — tzn. lot nurkowy — kiedy sumaryczny opór stawiany przez szybowiec jest najmniejszy.



Rys. 13—7. Wpływ laminarności opływu na wielkość oporów (profilowych) szybowca
Założenia: **skrzydło — 11,5 m², profil 15% grubości, usterzenie — 2,35 m², profil 10% grubości, kadłub — przekrój poprzeczny 0,46 m², długość 7,6 m, prędkość — 97 km/h**
1 — skrzydło, *2* — kadłub, *3* — usterzenia, *4* — koszty odsysania

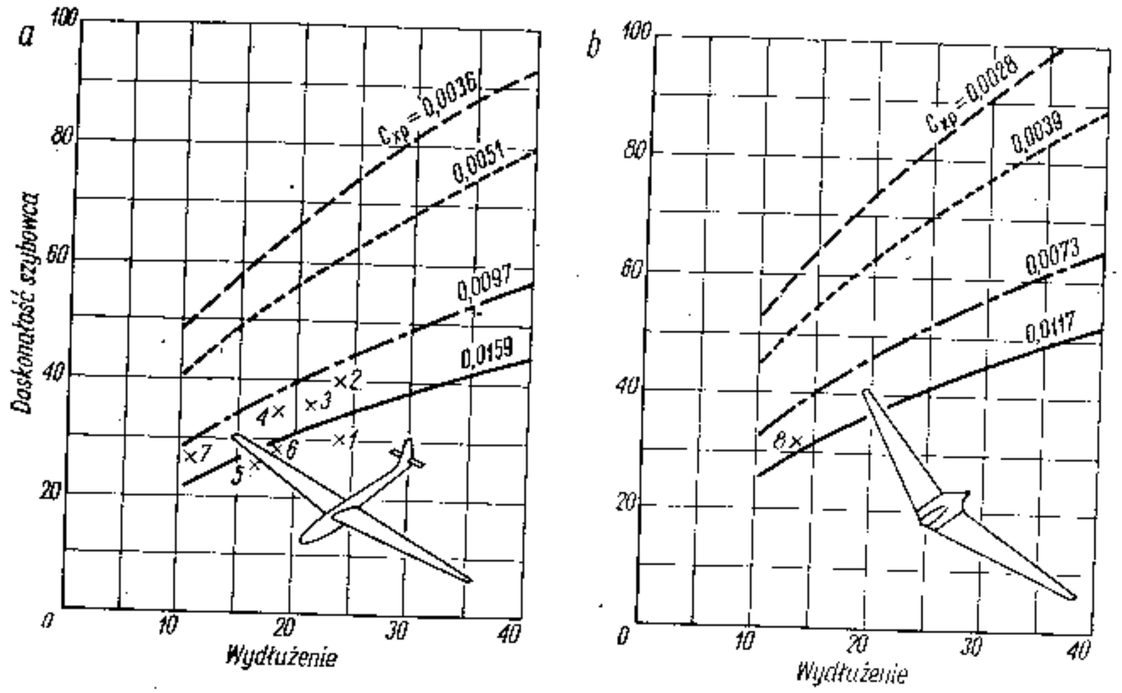
Przy zastosowaniu laminarnego profilu na skrzydle i usterzeniach oraz przy dobrym opracowaniu aerodynamicznym kadłuba można otrzymać znaczne zmniejszenie oporów. Przy opływie całkowicie laminarnym całego szybowca, co niestety może być osiągnięte jedynie przy zastosowaniu odsysania warstwy przyściennej, otrzymamy dalsze zmniejszenie oporów. Jak radykalnie może to wpłynąć na poprawę doskonałości szybowca, ilustrują przykłady krzywych pokazane na rysunku 13—8.



Rys. 13—8. Wpływ laminarności opływu na maksymalną doskonałość szybowca — szybowiec bezogonowy EPB „Plank"
1 — skrzydło oryginalne, *2* — skrzydło czyste, *3* — skrzydło z geometrycznym sterowaniem warstwy przyściennej, *4* — optymalna geometria, *5* — skrzydło z odsysaniem na górnej powierzchni, *6* — skrzydło z odsysaniem na górnej powierzchni oraz z płytami brzegowymi, *7* — opływ całkowicie laminarny bez płyt
Uwaga: pominięto straty energii na odsysanie warstwy granicznej

Rysunek 13—9 przedstawia maksymalną doskonałość zależnie od wydłużenia i współczynnika oporu, jaką mogą osiągnąć szybowce o typie konwencjonalnym. Jak widać z rysunku, osiągnięcie przez szybowiec konwencjonalny doskonałości rzędu 40 przy opływie turbuletnym wymagałoby stosowania bardzo dużego wydłużenia, co byłoby bardzo trudne do rozwiązania pod względem konstrukcyjnym. Przy częściowo laminarnym opływie możliwe jest już osiągnięcie takiej doskonałości przy mniejszym wydłużeniu, co jest korzystne również ze względu na przebieg krzywej doskonałości.

Porównując dwa szybowce o tej samej maksymalnej doskonałości, lecz o różnych wydłużeniach, można łatwo zauważyć, że szybowiec o mniejszym wydłużeniu będzie dysponował znacznie szerszym zakresem prędkości pomiędzy prędkością przy krążeniu i prędkością przeskokową.



Rys. 13—9. Wpływ wydłużenia skrzydła oraz wielkości oporów profilowych na doskonałość

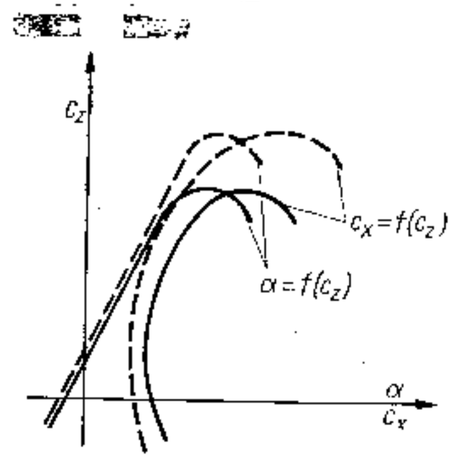
a — szybowce konwencjonalne, *b* — szybowce bezogonowe
1 — szybowiec RJ-5 przed zmianami, 2— szybowiec RJ-5 po zmianach, 3 — szybowiec „Zefir 2", 4 — szybowiec „Foka 4", 5 — szybowiec „Bocian", 6 — szybowiec „Mucha Standard", 7 — szybowiec „Tiny-Mite", 8 — szybowiec Horten IV"
Wpływ stopnia laminarności opływu na doskonałość szybowca:
— — — — opływ całkowicie laminarny (bez strat na odsysanie);
. . . . . opływ całkowicie laminarny z uwzględnieniem strat na odsysanie;
—·—·— skrzydło i usterzenie w 50%, kadłub w 30% opływ laminarny;
——— opływ całkowicie turbulentny

W celu osiągnięcia w jak największym procencie opływu laminarnego szybowca, oprócz zaprojektowania odpowiednio wystudiowanych w tunelu aerodynamicznym kształtów szybowca oraz doboru odpowiedniego profilu na skrzydle, warunkiem niezbędnym jest dotrzymanie z dużą doskonałością przewidzianych w projekcie kształtów na zbudowanym już szybowcu i otrzymanie odpowiedniej gładkości powierzchni.

Już mała odchyłka rzeczywistego profilu skrzydła od teoretycznie określonego obrysu uniemożliwia otrzymanie opływu laminarnego i może nawet spowodować, że profil ten stanie się gorszy od normalnych profili konwencjonalnych stosowanych w szybownictwie. Podobny efekt ma szorstkość powierzchni. Jeżeli powierzchnia skrzydła ma nierówności rzędu kilku setnych milimetra, to na biegunowej profilu zaniknie całkowicie niecka laminarności, współczynnik oporu wzrośnie, zaś maksymalny współczynnik siły nośnej się obniży.

Jak można wywnioskować z rysunku 13—10, zasadniczym warunkiem laminarności opływu jest osiągnięcie dużej dokładności kształtu

oraz wysokiej gładkości powierzchni. Również wszelkie, celowe skądinąd szczeliny oraz uskoki znajdujące się na powierzchni skrzydła albo usterzeń, powodują przesunięcie się do przodu punktu przejścia opływu laminarnego w turbulentny. Dlatego też konstruktorzy starają się szczelnie przykryć szczeliny przy lotkach i sterach albo też stosują skrzydła bez lotek, jak np. w szybowcu HKS (gdzie sterowność poprzeczną uzyskuje się przez deformację sprężystą części skrzydła), zaś jeśli chodzi o usterzenie wysokości, to istnieje tendencja do stosowania nie dzielonych usterzeń płytowych.



Rys. 13—10. Wpływ szorstkości powierzchni skrzydła na współczynniki aerodynamiczne
— — — powierzchnia skrzydła gładka;
——— powierzchnia skrzydła szorstka

„Wyścig zbrojeń" w sprzęcie szybowcowym oraz nie kończące się współzawodnictwo o coraz lepsze osiągnięcia są motorem postępu nie tylko w ulepszaniu do ostatecznych granic konwencjonalnych konstrukcji szybowców, ale również w poszukiwaniu zupełnie nowych kierunków rozwoju.

W celu ulepszenia konwencjonalnego układu szybowca, oprócz stosowania profili laminarnych oraz idealnego opracowania aerodynamicznych kształtów zewnętrznych szybowca w oparciu o najnowsze zdobycze z dziedziny aerodynamiki i technologii, można zmniejszyć do minimum pole poprzeczne przekroju kadłuba (np. leżąca pozycja pilota w polskich szybowcach „Zefir" i „Foka"). Wydaje się jednakże, że najlepsze i najnowocześniejsze szybowce są już bliskie „pułapu" doskonałości wynoszącego obecnie około 40. W związku z tym dużych postępów pod tym względem wśród szybowców konwencjonalnych spodziewać się nie należy.

Pewne możliwości osiągnięcia nieco wyższych doskonałości rysują się przed szybowcami o układzie bezogonowym typu „latające skrzydło". Jak pokazano na rysunku 13—9b, szybowiec bezogonowy może przy tym samym wydłużeniu osiągnąć doskonałość o parę jednostek wyższą ze względu na zmniejszenie oporów tarcia tyłu kadłuba i usterzeń. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że zaprojektowanie prawidłowego pod względem własności pilotażowych bezogonowego szybowca o dużym wydłużeniu jest zadaniem bardzo trudnym i właściwie do chwili obecnej nie osiągniętym.

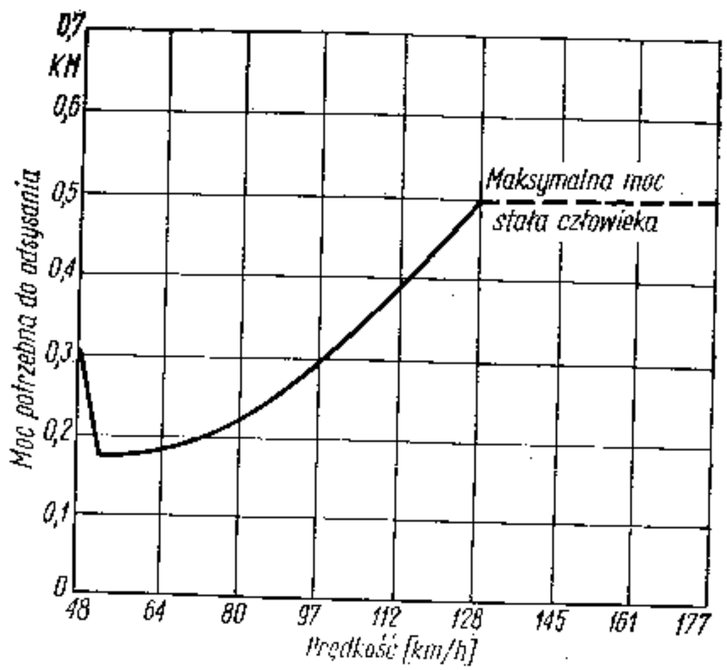
Jak widać z rysunku 13—7, zapewnienie opływu laminarnego bardzo zmniejsza opory i powiększa doskonałość szybowca. Jednakże nawet bardzo staranne opracowanie aerodynamiczne szybowca i ideal-

na gładkość powierzchni nie jest w stanie zapewnić opływu laminarnego więcej niż w 50% na skrzydle i 30% na kadłubie i usterzeniach. Chcąc jeszcze bardziej przesunąć do tyłu punkt przejścia opływu laminarnego w burzliwy, należy skorygować rozkład ciśnień na powierzchni skrzydła lub kadłuba. „Przyklejenie strug" można uzyskać odsysając powietrze z warstwy przyściennej przez maleńkie otworki w powierzchni skrzydła w miejscach, gdzie normalnie pojawia się gradient ciśnienia wywołujący ruch wsteczny cząsteczek powietrza, a co za tym idzie powstawanie wirów i przejście opływu laminarnego w burzliwy.

Do odsysania warstwy granicznej konieczne jest zastosowanie pomp próżniowych wytwarzających podciśnienie wewnątrz skrzydła i pobierających moc od 0,2 do 1,0 KM zależnie od prędkości lotu szybowca, jak to zostało pokazane na rysunku 13—11.

Moc niezbędną do napędu pomp próżniowych można by uzyskać, na przykład dzięki pracy załogi szybowca (zwłaszcza w przypadku szybowca dwumiejscowego), bądź też wykorzystując siły przyrody.

Już sama zasada lotu szybowcowego oparta jest na siłach przyrody, gdyż szybowiec wykorzystuje prądy wznoszące występujące w atmosferze, jednakże ich stopień wykorzystania metodą krążenia szybowca w kominie jest bardzo niski. Prądy wznoszące w atmosferze wywoływane są przeważnie przez promienie słoneczne powodujące nagrzewanie się mas powietrza. Energia dostarczana przez słońce na



Rys. 13—11. Zależność zapotrzebowania mocy do odsysania warstwy granicznej od prędkości lotu szybowca to obciążeniu powierzchni nośnej 25,7 kG/m²

1 m² powierzchni ziemi wynosi średnio około 2 KM, lecz niestety nie jest łatwa do wykorzystania.

Wprawdzie już w tej chwili przeprowadza się próby z urządzeniami składającymi się z komórek światłoczułych przetwarzających energię świetlną na elektryczną, ale niestety w obecnym stadium rozwoju sprawność takiej instalacji jest bardzo niska. Gdyby jednak górną powierzchnię skrzydła pokryć komórkami świetlnymi oraz zastosować odpowiednie urządzenia, można by było uzyskać około 1 KW mocy energii elektrycznej, co pozwoliłoby z kolei na zastosowanie np. napędu śmigła, które pracując podwyższyłoby doskonałość szybowca z 40 do 90. Gdyby zaś energię tę zużytkować do odsysania warstwy przyściennej, można by było uzyskać całkowicie laminarny opływ szybowca, co w efekcie dałoby nie tylko olbrzymi wzrost doskonałości szybowca (patrz również rys. 13—8 i 13—9), ale również zwiększyłoby znacznie jego prędkość przelotową.

Innym źródłem energii szczodrze szafowanym przez naturę mogłaby być turbulencja powietrza występująca w pewnych warunkach w pobliżu powierzchni ziemi, tzn. w warstwie przyściennej ziemi. Spektrum tej turbulencji wykazuje, że szczyty energii pojawiają się w okresie około 1 sekundy. Gdyby zbudować szybowiec, który posiadałby akumulator energii dostarczanej z atmosfery za pośrednictwem uginających się skrzydeł, wówczas energię tę można by przeznaczyć na uruchomienie urządzeń napędowych szybowca lub też pomp odsysających warstwę przyścienną. Przykładem szybowca o ruchomych skrzydłach był doświadczalny szybowiec radziecki „Kaszuk" konstrukcji inż. Manockowa.

Do zjawisk atmosferycznych, obecnie jeszcze praktycznie nie wykorzystanych, należy zaliczyć „jet-stream'y". „Jet-stream'y" są to intensywne poziome prądy powietrzne o prędkości kilkuset km/godz, które występują na wysokości kilkunastu kilometrów nad ziemią przy pewnych układach barycznych. Zjawisko to badane jest obecnie przez służbę meteorologiczną lotnictwa komunikacyjnego USA, w czym bierze udział jeden z najlepszych szybowników świata — dr Paul Mac Cready — przeprowadzając pomiary również i przy wykorzystaniu do tego celu lotów szybowcowych.

Wykorzystywanie „jet-stream'u" do celów sportu szybowcowego wymagać jednak będzie szybowca przystosowanego do lotów stratosferycznych. Loty takie stawiają konstrukcji szybowca specjalne wymagania: dużą wytrzymałość, odporność na niskie temperatury oraz odpowiednie wyposażenie wysokościowe. Wprawdzie osiągnięte maksymalne wysokości wynoszą już około 14 km nad poziomem morza (patrz tablica 10—15) i uzyskane zostały na szybowcach normalnego typu, zaopatrzonych jedynie w instalacje tlenowe. Jednak loty na tak dużych wysokościach bez specjalnych skafandrów lub kabin ciśnieniowych są połączone z dużym ryzykiem, ponieważ ciś-

nienie atmosferyczne jest już zbyt niskie, aby podawanie nawet czystego tlenu do oddychania zapewniało pilotowi odpowiednie warunki oddychania.

Ponadto pożądane jest zastosowanie w szybowcu stratosferycznym nie tylko hermetycznej kabiny ciśnieniowej, lecz również odpowiedniej izolacji cieplnej, gdyż temperatura na tych wysokościach wynosi już —56 °C i może być trudna do zniesienia przez organizm pilota w czasie dłużej trwającego lotu.

Szybowcowe loty stratosferyczne są w chwili obecnej dopiero w powijakach i należy oczekiwać, że wprowadzenie odpowiedniego sprzętu podwyższy nie tylko rekordy wysokościowe, ale może wpłynąć również na rekordy przelotów odległościowych i prędkościowych.

Jako stojące w dalszej perspektywie możliwości wykorzystania siły przyrody do celów szybownictwa można wymienić również stosowanie sztucznego wyzwalania prądów w powietrzu przez rozsiewanie kryształków suchego lodu lub jodku srebra, które to kryształki — działając na przechłodzone kropelki wody — będą powodować ich przemianę w kryształki lodu, zaś wydzielone ciepło przemiany spowoduje powstanie prądów wznoszących. Również pewien efekt termiczny można osiągnąć rozpylając drobne cząsteczki węgla, które absorbując energię cieplną słońca podgrzeją masy powietrza i spowodują ich ruch do góry.

Milowym krokiem naprzód w dziedzinie szybownictwa będzie niewątpliwie dawno oczekiwany „termowizor" (kominoszuk — patrz rozdział 4, pkt 8), nad którego wynalezieniem pracuje się intensywnie w różnych krajach. Czuły termowizor wskazujący prądy pionowe z dużej odległości oraz określający ich intensywność pozwoli na praktyczne wykorzystanie prawie wszystkich prądów wznoszących w atmosferze otaczającej szybowiec. Prądy wznoszące bowiem, jako pionowe ruchy mas powietrza, występują w zasadzie prawie stale, z tym tylko że są one bardziej lub mniej intensywne. Cała zaś trudność polega na tym, że przy obecnym stanie wyposażenia szybowca w przyrządy prądy te są niemożliwe do wykrycia, jeżeli szybowiec sam się na nie bezpośrednio nie natknie. Dobrze działający termowizor, w połączeniu z wyżej opisanymi perspektywicznymi możliwościami wyzyskania nowych źródeł energii dostarczanej przez naturę, może otworzyć przed szybownictwem nową erę nie tylko w dziedzinie sportu, ale i w zakresie wykorzystania go jako użytkowego środka transportowego.

* * *

Na zakończenie niniejszej książki należy zaznaczyć, że wybitny wkład Polski w rozwój światowego szybownictwa — zarówno pod względem technicznym konstrukcji sprzętu, jak i osiągniętych wyczynów — jest wykładnikiem popierania tego pięknego sportu przez władze Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej. Jak widać z zestawionej ilości Srebrnych, Złotych i Diamentowych Odznak Szybowcowych oraz rekordów jak i wyników w Szybowcowych Mistrzostwach Świata, Polska kroczy w czołówce szybownictwa światowego. Jednak aby pozycję tę utrzymać, a tym bardziej wysunąć się jeszcze bardziej na czoło, niezbędne jest maksymalne zwiększenie dopływu młodych i pełnych zapału pilotów do szeregów kadry wyczynowej. Osiągnąć to można jedynie przez maksymalne rozszerzanie „wiedzy o szybownictwie" wśród młodzieży i w ten sposób zwrócenie jej uwagi na ten najpiękniejszy chyba ze sportów.

Niniejszy *Podręcznik pilota szybowcowego* ma właśnie na celu zaznajomienie początkujących pilotów z zagadnieniami szybownictwa, a ponadto ma pomóc ich zaawansowanym kolegom w zdobywaniu Złotej Odznaki Szybowcowej. Nowoczesny sprzęt szybowcowy wymaga bowiem od pilotów umiejętności nie tylko praktycznych, ale również i dużego zasobu wiadomości teoretycznych. Dlatego też zespół autorów ma nadzieję, że książka ta przyczyni się chociaż w skromnym zakresie do dalszego rozwoju tego pięknego sportu w Polsce.

LITERATURA POMOCNICZA

1. A. Abłamowicz — *Akrobacja lotnicza* — wyd. MON 1954
2. A. Abłamowicz — *Akrobacja szybowcowa* — Wyd. MON, 1963
3. A. Abłamowicz — *Lotnicze przyrządy pokładowe i aparaty tlenowe* — Wyd. LPŻ, 1954
4. A. Abłamowicz — *Pilotaż bez widoczności* — WKiŁ, 1957
5. J. Adamek, A. Glass — *Nauka pilotażu szybowcowego* — Wyd. APRL
6. E. Adamski — *Technika pilotażu szybowcowego* — Wyd. Ligi Lotniczej
7. K. Albin — *Szybownictwo na świecie* — WKiŁ, 1960
8. St. Bober — *Higiena lotnicza dla szybowników* — Wyd. Ligi Lotniczej
9. K. Głębicki — *Wyposażenie samolotu, cz. I* — PWN, 1955
10. T. Góra — *Pilotaż bez widoczności* — Wyd. MON, 1952
11. W. Humen — *Podniebne zawody* — Wyd. MON
12. Wł. Janica, A. Mańkowski — *Starty szybowców* — WKiŁ, 1956
13. R. Kalpas, B. Solak — *Akrobacja lotnicza* — Wyd. Książka Polska, Glasgow, 1946
14. A. Kniaziew — *Jak działa radiostacja* — Wyd. MON, 1956
15. J. Lipski — *Lotnicza aparatura tlenowa* — WKiŁ, 1958