

MAREK POLEWSKI
CESSNA 150M
PROWADZĄCY: MACIEJ LASEK
GRUPA: ML6

Projekt 4

Lot szybowy. Biegunowa prędkości

DATA ODDANIA PROJEKTU

.....

OCENA:

Spis treści

| | | |
|---|--|---|
| 1 | Lot szybowy | 1 |
| 2 | Przybliżone wartości ekonomicznych i optymalnych warunków lotu szybowego | 5 |
| 3 | Wnioski | 6 |

1 Lot szybowy

Zależność prędkości opadania w od prędkości lotu V w locie ślizgowym ustalonym nosi biegunowej prędkości. W projekcie tym wyznaczymy ją dla trzech różnych mas samolotu. Dla masy minimalnej, masy maksymalnej i dla średniej arytmetycznej tych mas.

| | | |
|--|-----|----|
| Masa minimalna (samolot + pilot + mała ilość paliwa) | 600 | kg |
| Maksymalna | 726 | kg |
| Średnia | 650 | kg |

TAB. 1: masy

| | | |
|---|-------|------------------|
| Pole powierzchni nośnej | 15 | m^2 |
| Gęstość na wysokości $h = 2$ km | 1.007 | $\frac{kg}{m^3}$ |
| $V(H = 2km)$ | 54 | $\frac{m}{s}$ |
| Maksymalna prędkość dopuszczalna samolotu $1.2 * V_{max}$ | 64,8 | $\frac{m}{s}$ |

TAB. 2: Inne parametry

Z podanych związków można wyznaczyć prędkość lotu V , kąt toru γ oraz prędkość opadania w jako funkcje współczynnik asyły nośnej C_z (współczynnik C_x jest funkcją C_z):

$$V = \sqrt{\frac{2mg}{\rho S} \cdot \frac{1}{\sqrt{C_x^2 + C_z^2}}} \quad \sqrt{\frac{2mg}{\rho S} \cdot \frac{C_x^2}{\sqrt{(C_x^2 + C_z^2)^3}}}$$

Przybliżenie $C_x(C_z)$ na podstawie :

$$C_x(C_z) = 0.06661 \cdot C_z^2 - 0.001342 \cdot C_z + 0.04781$$

W celu uproszczenia wprowadzę zmienne:

$$\psi(m) = \sqrt{\frac{2mg}{\rho S}} \quad \Theta_1(C_z, C_x) = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{C_x^2 + C_z^2}}} \quad \Theta_2(C_z, C_z) = \sqrt{\frac{C_x^2}{\sqrt{(C_x^2 + C_z^2)^3}}}$$

, takie że:

$$V(m, C_z, C_x) = \psi(m) \cdot \Theta_1(C_z, C_x) \quad w(m, C_z, C_x) = \psi(m) \cdot \Theta_2(C_x, C_z)$$

gdzie:

| | |
|--------------|-------|
| ψ_{min} | 26.53 |
| ψ_{max} | 29.18 |
| ψ_{sr} | 27.61 |

Wszystkie obliczenia zostały wykonane dla wysokości $h = 2km$, gdzie $\rho(h) \approx 1.007 \frac{kg}{m^3}$.
Przykładowe obliczenia dla $C_z = 0.85$ i $C_x = 0.0948$:

$$\psi_{min} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 9.81}{1.007 \cdot 15}}$$

$$\Theta_1(C_z, C_x) = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{0.85^2 + 0.0948^2}}} = 1.0813 \quad \Theta_2(C_z, C_x) = \sqrt{\frac{0.0948^2}{\sqrt{(0.0948^2 + 0.85^2)^3}}} = 0.1198$$

$$\gamma = \text{atan}\left(\frac{C_x}{C_z}\right) = 6.3635[deg]$$

Dla m_{min}

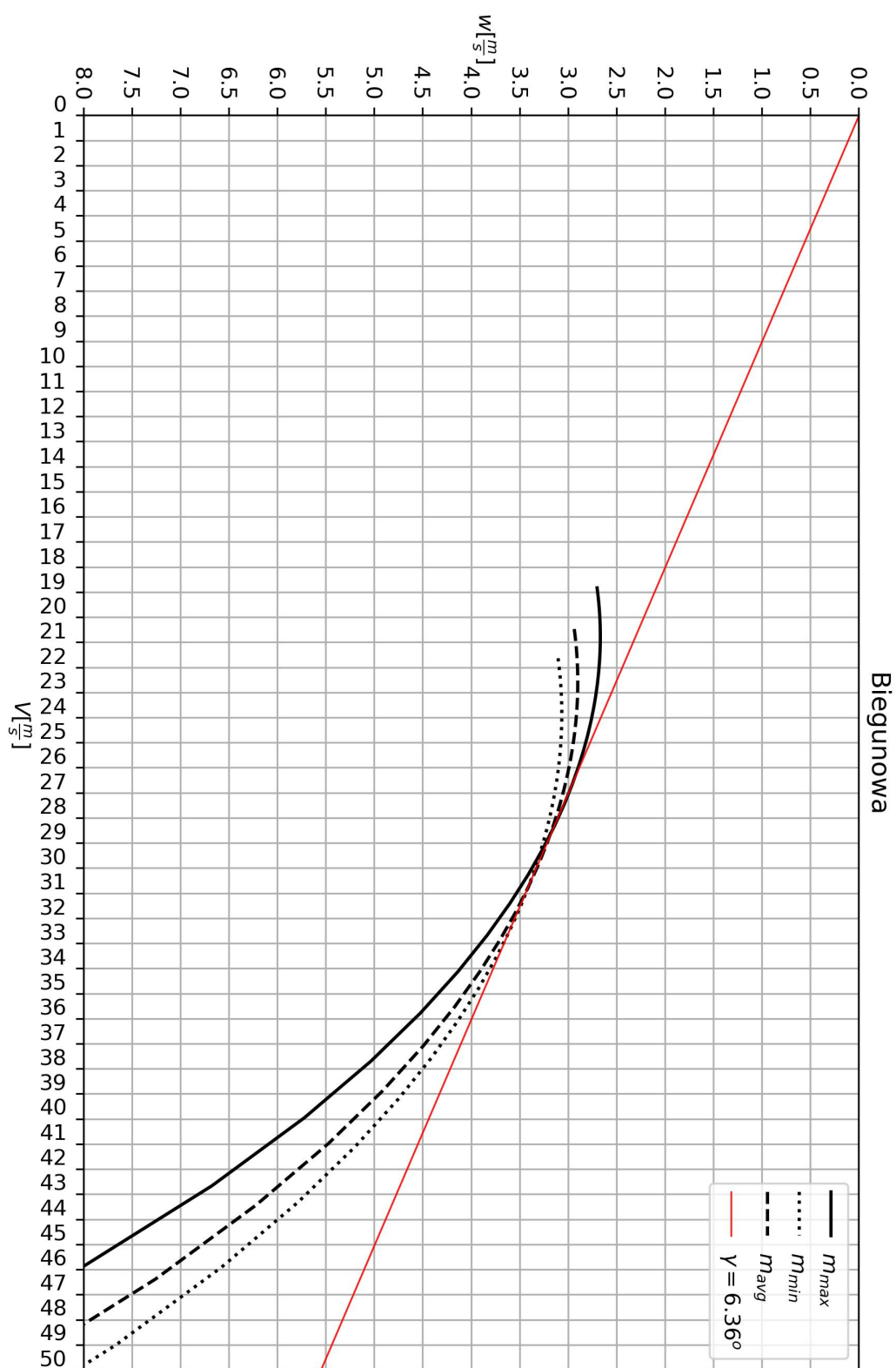
$$V = \psi_{min}(m) \cdot \Theta_1(C_z = 0.85, C_x = 0.0948) = 26.53 \cdot 1.0813 = 28.6874[m/s]$$

$$w = \psi_{min}(m) \cdot \Theta_2(C_z = 0.85, C_x = 0.0948) = 26.53 \cdot 0.1198 = 3.1796[m/s]$$

* zobaczyć rząd dla $C_z = 0.85$.

| Cz | Cx | Θ_1 | Θ_2 | γ | m_{min} | | m_{max} | | m_r | |
|------|--------|------------|------------|----------|-----------|---------|-----------|---------|---------|---------|
| | | | | | V | w | V | w | V | w |
| 1.80 | 0.2612 | 0.7415 | 0.1065 | 8.2570 | 19.6718 | 2.8251 | 21.6389 | 3.1076 | 20.4750 | 2.9405 |
| 1.75 | 0.2495 | 0.7521 | 0.1061 | 8.1126 | 19.9544 | 2.8159 | 21.9499 | 3.0975 | 20.7692 | 2.9309 |
| 1.70 | 0.2380 | 0.7633 | 0.1058 | 7.9707 | 20.2493 | 2.8079 | 22.2742 | 3.0887 | 21.0761 | 2.9225 |
| 1.65 | 0.2269 | 0.7749 | 0.1056 | 7.8313 | 20.5573 | 2.8011 | 22.6130 | 3.0812 | 21.3967 | 2.9155 |
| 1.60 | 0.2162 | 0.7870 | 0.1054 | 7.6949 | 20.8794 | 2.7957 | 22.9673 | 3.0753 | 21.7320 | 2.9099 |
| 1.55 | 0.2058 | 0.7997 | 0.1052 | 7.5617 | 21.2168 | 2.7920 | 23.3385 | 3.0712 | 22.0831 | 2.9060 |
| 1.50 | 0.1957 | 0.8131 | 0.1052 | 7.4321 | 21.5707 | 2.7902 | 23.7278 | 3.0692 | 22.4515 | 2.9041 |
| 1.45 | 0.1859 | 0.8271 | 0.1052 | 7.3063 | 21.9426 | 2.7905 | 24.1368 | 3.0696 | 22.8386 | 2.9045 |
| 1.40 | 0.1765 | 0.8418 | 0.1053 | 7.1849 | 22.3340 | 2.7934 | 24.5674 | 3.0727 | 23.2459 | 2.9074 |
| 1.35 | 0.1674 | 0.8574 | 0.1055 | 7.0684 | 22.7467 | 2.7991 | 25.0214 | 3.0790 | 23.6755 | 2.9134 |
| 1.30 | 0.1586 | 0.8738 | 0.1058 | 6.9573 | 23.1828 | 2.8081 | 25.5011 | 3.0889 | 24.1294 | 2.9228 |
| 1.25 | 0.1502 | 0.8912 | 0.1063 | 6.8523 | 23.6445 | 2.8210 | 26.0090 | 3.1031 | 24.6100 | 2.9362 |
| 1.20 | 0.1421 | 0.9097 | 0.1070 | 6.7542 | 24.1345 | 2.8385 | 26.5480 | 3.1223 | 25.1200 | 2.9544 |
| 1.15 | 0.1344 | 0.9293 | 0.1078 | 6.6639 | 24.6559 | 2.8612 | 27.1215 | 3.1473 | 25.6627 | 2.9780 |
| 1.10 | 0.1269 | 0.9503 | 0.1089 | 6.5824 | 25.2121 | 2.8901 | 27.7333 | 3.1791 | 26.2416 | 3.0081 |
| 1.05 | 0.1198 | 0.9727 | 0.1103 | 6.5111 | 25.8073 | 2.9264 | 28.3880 | 3.2191 | 26.8611 | 3.0459 |
| 1.00 | 0.1131 | 0.9968 | 0.1120 | 6.4515 | 26.4462 | 2.9715 | 29.0908 | 3.2687 | 27.5260 | 3.0929 |
| 0.95 | 0.1067 | 1.0228 | 0.1141 | 6.4054 | 27.1344 | 3.0272 | 29.8479 | 3.3299 | 28.2424 | 3.1508 |
| 0.90 | 0.1006 | 1.0508 | 0.1167 | 6.3752 | 27.8788 | 3.0956 | 30.6667 | 3.4052 | 29.0172 | 3.2220 |
| 0.85 | 0.0948 | 1.0813 | 0.1198 | 6.3635 | 28.6874 | 3.1796 | 31.5561 | 3.4976 | 29.8587 | 3.3094 |
| 0.80 | 0.0894 | 1.1146 | 0.1237 | 6.3740 | 29.5699 | 3.2828 | 32.5269 | 3.6111 | 30.7774 | 3.4168 |
| 0.75 | 0.0843 | 1.1511 | 0.1285 | 6.4110 | 30.5386 | 3.4099 | 33.5925 | 3.7509 | 31.7856 | 3.5492 |
| 0.70 | 0.0795 | 1.1914 | 0.1345 | 6.4802 | 31.6083 | 3.5673 | 34.7691 | 3.9240 | 32.8990 | 3.7130 |
| 0.65 | 0.0751 | 1.2362 | 0.1419 | 6.5889 | 32.7979 | 3.7634 | 36.0777 | 4.1398 | 34.1372 | 3.9171 |
| 0.60 | 0.0710 | 1.2865 | 0.1512 | 6.7471 | 34.1317 | 4.0101 | 37.5448 | 4.4111 | 35.5253 | 4.1738 |
| 0.55 | 0.0672 | 1.3434 | 0.1630 | 6.9682 | 35.6411 | 4.3239 | 39.2052 | 4.7563 | 37.0964 | 4.5005 |
| 0.50 | 0.0638 | 1.4085 | 0.1783 | 7.2707 | 37.3684 | 4.7292 | 41.1052 | 5.2022 | 38.8942 | 4.9223 |
| 0.45 | 0.0607 | 1.4840 | 0.1984 | 7.6815 | 39.3712 | 5.2626 | 43.3083 | 5.7889 | 40.9788 | 5.4775 |
| 0.40 | 0.0579 | 1.5730 | 0.2255 | 8.2407 | 41.7310 | 5.9814 | 45.9040 | 6.5795 | 43.4350 | 6.2256 |
| 0.35 | 0.0555 | 1.6798 | 0.2631 | 9.0105 | 44.5668 | 6.9798 | 49.0235 | 7.6778 | 46.3866 | 7.2648 |
| 0.30 | 0.0534 | 1.8116 | 0.3175 | 10.0934 | 48.0612 | 8.4229 | 52.8673 | 9.2651 | 50.0237 | 8.7668 |
| 0.25 | 0.0516 | 1.9792 | 0.4004 | 11.6704 | 52.5093 | 10.6216 | 57.7602 | 11.6838 | 54.6534 | 11.0553 |
| 0.20 | 0.0502 | 2.2022 | 0.5362 | 14.0918 | 58.4241 | 14.2249 | 64.2665 | 15.6473 | 60.8097 | 14.8057 |
| 0.15 | 0.0491 | 2.5171 | 0.7832 | 18.1276 | 66.7793 | 20.7773 | 73.4572 | 22.8550 | 69.5061 | 21.6257 |
| 0.10 | 0.0483 | 3.0005 | 1.3059 | 25.8000 | 79.6050 | 34.6466 | 87.5655 | 38.1112 | 82.8555 | 36.0613 |

TAB. 3: Wyliczone wartości



Rys. 1: Biegunowa wyliczona na podstawie danych zależności

2 Przybliżone wartości ekonomicznych i optymalnych warunków lotu szybowego

Prędkość ekonomiczna lotu i ekonomiczna opadania oraz prędkość optymalna lotu i optymalna opadania wynoszą:

$$V_{opt} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho S \sqrt{\pi} \Lambda_e C_{x0}}} = \psi_{min} \cdot \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\pi} \Lambda_e C_{x0}}} = \psi_{min} \cdot \xi$$

$$w_{opt} = \sqrt{\frac{8mg \sqrt{C_{x0}}}{\rho S (\sqrt{\pi} \Lambda_e)^3}} = \psi_{min} \cdot \sqrt{\frac{4 \sqrt{C_{x0}}}{(\sqrt{\pi} \Lambda_e)^3}} = \psi_{min} \cdot \xi$$

$$V_{ek} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho S \sqrt{3\pi} \Lambda_e C_{x0}}} = V_{opt} \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{3}}$$

$$w_{ek} = \sqrt{\frac{32mg \sqrt{C_{x0}}}{\rho S (\sqrt{3\pi} \Lambda_e)^3}} = w_{opt} \cdot \frac{2}{\sqrt{3\sqrt{3}}}$$

Przykładowe obliczenia dla m_{min} :

$$V_{opt} = 26.53 \cdot \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\pi 4.88 \cdot 0.05}}} = 26.53 \cdot 1.071 = 27.195 \frac{m}{s}$$

$$w_{opt} = 26.53 \cdot \sqrt{\frac{4 \sqrt{0.05}}{(\sqrt{\pi 4.88})^3}} = 26.53 \cdot 0.123 = 3.117 \frac{m}{s}$$

$$V_{ek} = V_{opt} \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{3}} = 27.195 \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{3}} = 20.664 \frac{m}{s}$$

$$w_{ek} = w_{opt} \cdot \frac{2}{\sqrt{3\sqrt{3}}} = 3.117 \cdot \frac{2}{\sqrt{3\sqrt{3}}} = 2.73 \frac{m}{s}$$

| masa | wartosc | ξ | odczytana [m/s] | obliczona [m/s] | błąd [%] |
|---------|-----------|-------|-----------------|-----------------|----------|
| min | V_{opt} | 1.071 | 27.466 | 27.195 | 0.995 |
| | w_{opt} | 0.123 | 3.044 | 3.117 | 2.347 |
| | V_{ek} | 0.814 | 18.830 | 20.664 | 8.876 |
| | w_{ek} | 0.142 | 2.600 | 2.735 | 4.942 |
| max | V_{opt} | 1.071 | 31.556 | 31.245 | 0.995 |
| | w_{opt} | 0.123 | 3.498 | 3.582 | 2.347 |
| | V_{ek} | 0.814 | 21.630 | 23.741 | 8.893 |
| | w_{ek} | 0.142 | 3.060 | 3.142 | 2.624 |
| średnia | V_{opt} | 1.071 | 29.859 | 29.565 | 0.995 |
| | w_{opt} | 0.123 | 3.309 | 3.389 | 2.347 |
| | V_{ek} | 0.814 | 20.450 | 22.464 | 8.966 |
| | w_{ek} | 0.142 | 2.910 | 2.973 | 2.133 |

TAB. 4: Uzyskane wyniki

3 Wnioski

W tym projekcie udało nam się ustalić biegunową prędkości dla różnych mas. Wyliczone przez nas wartości charakterystyczne lotu ślizgowego i prędkości opadania pokrywają się z tymi odczytanymi z wykresów. Błąd względny przekracza 8 % tylko dla prędkości ekonomicznej. Wszystkie inne wartości takie jak prędkość optymalna pokrywają się z tymi podanymi w [2]

Bibliografia

Przewodnik po zadaniach domowych z mechaniki lotu - tab1 Atmosfera wzorcowa

<https://www.cpaviation.com/images/downloads/CESSNA150POH.pdf>

Współczynnik na podstawie

Na podstawie przykładu ze strony 722 General Aviation Aircraft