



F6

**Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy**

Bakalářská práce

Aplikace pro výpočet výkonnostních charakteristik letounů General Aviation

Zbyšek Petřík

Technika a technologie v dopravě a spojích

Profesionální pilot

**Vedoucí práce: Ing. Vladislav Pružina, Ph.D.
doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.**

Praha 2019

K621 **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Zbyšek Petřík

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Aplikace pro výpočet výkonnostních charakteristik
letounů General Aviation**

Název tématu (anglicky): Application for Calculation of Performance Characteristics
of GA Airplanes

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řídte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Výkonnostní charakteristiky výcvikových letounů všeobecného letectví
- Běžný způsob výpočtu výkonnostních charakteristik
- Tvorba elektronické aplikace
- Ověření aplikace v provozu letecké školy a zpětná vazba

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: POH a AFM letounů všeobecného letectví: Tecnam, Cessna, Piper
Úřad pro civilní letectví: Předpis L8168, L6
Jeppesen: EASA ATPL Training - Performance Aeroplanes

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladislav Pružina, Ph.D.
doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

19. října 2018

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

26. srpna 2019

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Zbyšek Petřík
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 19. října 2018

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu práce panu Ing. Vladislavu Pružinovi, Ph.D. za skvělé vedení a cenné rady do letecké profese. Panu doc. Ing. Jakubu Hospodkovi, Ph.D. děkuji za korekce a přístup během celého studia na ČVUT. Velice vděčný jsem také panu Bc. Filipu Bartůňkovi, který mi byl nápomocen při řešení technické stránky práce a orientaci ve společnosti F AIR. S problematikou regresní analýzy mě ochotně seznámil pan doc. Ing. Vladimír Socha, Ph.D., za což mu děkuji.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 26. srpna 2019

.....

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem, implementací a testováním kompletního řešení multiplatformní aplikace, pro výpočet výkonnéstních charakteristik letounů všeobecného letectví používaných během leteckého výcviku.

Bakalářská práce vznikla ve spolupráci s F AIR spol. s r. o. Leteckou školou, která je partnerem Fakulty dopravní a v rámci bakalářského studia zajišťuje praktický výcvik na letounech.

Vývoj aplikace je založen na aktuálních nařízeních EU a je v souladu s provozní příručkou a standardními provozními postupy společnosti F AIR.

Klíčová slova: výkonnost letounu; aplikace webová, mobilní; HTML; JavaScript; regrese; implementace.

Abstract

The subject of this thesis is design, implementation and testing of complete multiplatform application solution for calculation of performance characteristics of general aviation aeroplanes used within flight training.

The bachelor thesis was created in cooperation with F AIR Ltd. flight school, which is a partner of Faculty of Transport Sciences and provides practical training on aeroplanes within bachelor's studies.

Developement of the application is based on current EU regulation and reflects Operational Manual as well as Standard Operating Procedures of F AIR company.

Keywords: aeroplane performance; web, mobile application; HTML; JavaScript; regression; implementation.

Title translation: Application for Calculation of Performance Characteristics of GA Airplanes

Obsah

1 Úvod	1
1.1 Motivace.....	1
1.2 Cíle	2
2 Výkonné charakteristiky letounů	3
2.1 Letecké předpisy, nařízení a definice	3
2.1.1 ICAO	3
2.1.2 EASA.....	4
2.1.3 EASA AIR OPS	6
2.1.4 Letadlo a letoun	6
2.1.5 Druhy provozu	7
2.1.6 Složité motorové letadlo ...	7
2.1.7 Výkonné třídy letounů	7
2.2 Působnost AIR OPS v provozu F AIR.....	8
2.2.1 Klasifikace výcvikových letounů	8
2.2.2 Druhy provozu v F AIR ...	8
2.3 Základní pojmy pro výpočty výkonnéosti.....	9
2.3.1 Prvky dráhových systémů.....	9
2.3.2 Vyhlášené délky	9
2.4 Analýza výkonnéosti dle fází letu	10
2.4.1 Vzletová výkonnost	10
2.4.2 Výkonnost na trati.....	10
2.4.3 Výkonnost pro přistání ..	11
2.5 Faktory ovlivňující výkonnost ..	11
2.5.1 Hustota vzduchu	11
2.5.2 Teplota vzduchu	11
2.5.3 Vítr	11
2.5.4 Povrch a stav RWY.....	11
2.5.5 Sklon RWY	11
2.5.6 Hmotnost letounu.....	12
2.5.7 Konfigurace letounu	12
2.6 Letová příručka letadla	12
3 Metody a nástroje pro výpočet výkonnéosti	13
3.1 Standardní metody dle AFM..	13
3.1.1 Grafy	13
3.1.2 Tabulky	14
3.2 Softwarové nástroje	16
3.2.1 Elektronická letová aktovka	16
3.2.2 Systémy v komerční letecké dopravě.....	17
3.2.3 Systémy pro všeobecné letectví	17
4 Realizace aplikace	19
4.1 Požadavky na aplikaci	19
4.2 Architektura aplikace	19
4.3 Volba technologií.....	20
4.4 Front-end	21
4.4.1 Uživatelské rozhraní	21
4.4.2 Grafický design	22
4.4.3 Dark mode	23
4.4.4 Export výsledků	24
4.5 Back-end	25
4.5.1 Implementace PWA.....	25
4.5.2 Manifest	27
4.5.3 Databáze letounů	28
4.5.4 Databáze letišť	29
4.5.5 Výpočetní modul.....	30
4.5.6 Výpočet tlakové výšky ...	30
4.5.7 Výpočet teploty ISA	30
4.5.8 Výpočet sklonu dráhy ...	30
4.5.9 Časové údaje	31
5 Uživatelské testování	33
5.1 Testování UX	33
5.1.1 System Usability Scale ..	33
5.1.2 Dotazník	34
5.1.3 Vyhodnocení	34
5.2 Testování výpočtů	34
5.2.1 Zvolená metoda	34
5.2.2 Dotazník	34
5.2.3 Vyhodnocení	34
6 Nedostatky a další směrování ..	35
6.1 Vyřešené nedostatky	35
6.1.1 Úprava GUI	35
6.1.2 Úprava volby RWY	35
6.2 Nevyřešené nedostatky	35
6.2.1 Export PDF na iOS	35
6.3 Další směrování	35
6.3.1 Kompletizace	35
6.3.2 Rozšíření informací o letounech	35
6.3.3 Implementace databázového systému	36

6.3.4 Risk analýza	36
6.3.5 Implementace do SOP a OM	36
7 Závěr	37
Shrnutí	37
Literatura	39
Zkratky a symboly	41
A Korespondence se spol. Gyro- nimo	44
B Průvodní zpráva uživatelského testování	45

Tabulky

- 3.1.** Tabulka TOD 15
- 4.1.** Poplatky Google Play, AppStores 20
- 5.1.** Likertova škála 33

Obrázky

- 2.1.** Schéma legislativy a dokumentů EASA 5
- 2.2.** Vyhlášené délky 10
- 3.1.** CAP 698 nomogram 14
- 3.2.** Graf TOD 15
- 3.3.** EFB v kokpitu A350 16
- 3.4.** Boeing OPT 17
- 3.5.** Airbus FlySmart 17
- 3.6.** Aplikace Gyronimo 18
- 3.7.** Aplikace 18
- 4.1.** Architektura aplikace 20
- 4.2.** Přehled technologií 21
- 4.3.** Vývojový diagram 22
- 4.4.** Program Illustrator 23
- 4.5.** Logo aplikace 23
- 4.6.** Ikona hangáru 23
- 4.7.** Ikona W&B 23
- 4.8.** Ikona Vzlet 23
- 4.9.** Ikona En-route 23
- 4.10.** Ikona Přistání 23
- 4.11.** PWA Lighthouse audit 27
- 4.12.** Splashscreen aplikace 28

Kapitola 1

Úvod

Bakalářská práce *Applikace pro výpočet výkonnéostních charakteristik letounů General Aviation*¹ je dílo prezentované v závěru studia bakalářského oboru Profesionální pilot vyučovaného na Fakultě dopravní ČVUT v Praze. Primární částí celé práce je tvorba pomocného výukového software pro využití v provozu letecké školy a sekundární část, čili tato publikace, představuje vypracování dokumentace pro průběh návrhu, implementace a testování této aplikace.

Vzhledem k mezinárodnímu prostředí v letecké škole a letectví jako takovém je předmětný software realizován v anglickém jazyce a s lokalizací do českého jazyka počítáno není. Ukázky z uživatelského prostředí prezentované aplikace, či výpisy zdrojového kódu jsou tedy z tohoto důvodu uvedeny v anglickém jazyce.

Publikace je strukturována chronologicky dle postupu autora od seznámení se s legislativou, tématikou výkonnosti a analýzou současných metod a nástrojů pro výpočty výkonnosti. Následující kapitoly se věnují prezentaci požadavků a implementaci samotné aplikace. Realizace aplikace je členěna na dvě dílčí části dle rozdělení na tvorbu uživatelského prostředí (front-end) a část s metodami pro výpočty a převody spolu s regresní analýzou (back-end).

Po implementační části následuje kapitola věnovaná uživatelskému testování mezi žáky a instruktory letecké školy a vyhodnocení získané zpětné vazby. V návaznosti na provedené testování jsou pak závěrečné části práce věnovány celkovému zhodnocení výsledku bakalářské práce, jejím nedostatkům a případnému budoucímu rozvoji.

1.1 Motivace

Analýza výkonnosti spolu s výpočty hmotnosti a vyvážení utváří jeden z pilířů předletové přípravy a velkou měrou se podílí na bezpečnosti už od počátku každého letu. Velitel letadla je za správnost těchto údajů přímo odpovědný a případná pochybení, či nedbalost mohou velice snadno vyústit v nehodu. Je tedy důležité výše zmíněné úkony provádět s poctivostí a nepodceňovat za žádných okolností i v případě „malého“ všeobecného létání.

V dnešní době soustředěně na časovou a ekonomickou efektivitu, se stále více spoláháme na elektronická zařízení, která nám usnadňují práci. V průběhu let byla tato zařízení vyvinuta na takovou úroveň, kdy umožňují integraci dříve složitých, oddělených systému a mnohdy je též plně nahrazují. Příkladem v letectví může být filozofie *Paperless Cockpit*, kdy dochází k eliminaci tištěných podob manuálů, příruček a dalších dokumentů na palubě letadla. Reakcí leteckého světa na takový vývoj je snaha o sjednocení a normalizaci elektronických zařízení. Za tímto účelem, tak vznikají ucelené publikace, které definují názvosloví a požadavky v tomto rychle se měnícím odvětví.

Rozšíření těchto systémů do kokpitů především dopravních letounů znamená nutnost se s takovými platformami naučit efektivně pracovat, tak aby přinášely skutečný pokrok

¹ Běžně užíváný termín označující všeobecné letectví.

a užitek. Je zřejmé, že především mladší generace letců s přechodem k elektronickým zařízením příliš závažné problémy mít nebude. Ostatně je v nadsázce často označována jako generace „digitálních pilotů“, nebo anglicky „*Children of the magenta line*“ v referenci na v navigaci stále častější využití GNSS. Tato zdánlivá výhoda mladých začínajících letců však neznamená, že je zbytečné se s podobnými systémy setkávat již během praktického výcviku.

Autor této studentské práce je žákem letecké školy, která mimo jiné vyniká začleněním pokročilých elektronických, především webových aplikací do provozu společnosti. Letecká škola F AIR, sídlící na letišti v Benešově, je tedy příkladem moderního přístupu k výuce létání, což je patrné i z letadlového parku.

Společnost se prezentuje na vizuálně propracovaném webu¹, který slouží také pro přístup do rezervačního a administrativního systému *Flynet*, portálu *E-learning* a *E-exam* a k nástrojům pro briefing letu. Další užitečné řešení je systém pro tracking letounů z flotily letecké školy a možnost následného vyhodnocení trajektorie. Výčet uzavírá v současnosti (květen 2019), již do provozu nasazený systém elektronického deníku žáka, který tak plně nahrazuje do nedávna používanou tištěnou papírovou podobu. Toto řešení je integrované do systému *Flynet*.

Vzhledem k pozitivnímu autorovu názoru na celkovou funkci výše zmíněných systémů letecké školy, byla možnost podílet se na rozvíjení dalších pomůcek pro výcvik i vzhledem k možnosti výběru tématu dle vlastního uvážení skvělou příležitostí, jak využít znalosti nabyté během studia a výcviku při práci na projektu s praktickým přínosem.

Tématem projektu se vzhledem k zájmům autora bez delšího přemýšlení stalo zavedení výukového software, který dle vzoru z komerční letecké dopravy umožní provádět výpočty výkonnosti při předletové přípravě takřka na „jedno kliknutí“.

1.2 Cíle

Cílem práce je, jak již z názvu vyplývá, realizace elektronické aplikace dle požadavků letecké školy, leteckých přepisů a příslušných manuálů pro vývoj takové aplikace. Výsledný produkt by měl představovat uživatelsky přívětivý systém, který by v případě úspěšné prezentace a pozitivních výsledků uživatelského testování byl přijat a zařazen do běžného provozu letecké školy.

Konkrétním záměrem projektu je systém, který minimálně ve svém začátku nebude plně nahrazovat papírovou podobu letových manuálů, myšleno tedy části obsahující data pro výpočty výkonnosti. Takový systém, který by plné nahrazení umožňoval by totiž dle předpisů pro provoz letadel musel již od počátku provozu striktně vyhovovat všem pravidlům a doporučením pro tzv. *elektronické letové aktovky* – EFB. Vzhledem k volnému přístupu k takovým pravidlům a manuálům by ale aplikace měla být s ohledem na možné budoucí použití jako EFB vyvinuta tak, aby v největší možné míře odpovídala příslušným nařízením a doporučením již v podobě prezentované v této práci. Použito, tak bude zejména publikace ICAO Doc 10020 – *Manual of Electronic Flight Bags (EFBs)*, annexů ICAO, Evropských regulací obsahujících případné specifické požadavky EU, či nezávazných materiálů uveřejňovaných od EASA.

Dalším z cílů práce je systém již od počátku vyvíjet modulárně s ohledem na možné modifikace a rozšíření. Příkladem takového rozšíření je například začlenění výpočtu hmotnosti a využití, které bylo do designu aplikace zahrnuto na základě konzultací s vedoucím práce, avšak v písemné části práce bude zmíněno pouze okrajově.

¹ <https://www.f-air.cz>

Kapitola 2

Výkonnostní charakteristiky letounů

Tato kapitola slouží jako úvod do problematiky výkonnostních charakteristik. Její obsah by měl přiblížit teoretické základy a také uplatňující se předpisy a nařízení jak na mezinárodní (světové) úrovni, tak i v regionu Evropské unie. I čtenář, který se jinak letecké tématice příliš nevěnuje, by tak na konci této kapitoly měl mít přehled dostatečný na to, aby pro něj byly navazující části práce bez problému srozumitelné.

Letectví je odvětví, ve kterém je jako málokde jinde tolik pozornosti věnováno bezpečnosti. I vzhledem ke značnému zájmu veřejnosti vyskytujícímu se při téměř libovolné události týkající se leteckého provozu je však takový přístup pochopitelný.

Častým předmětem diskuze je rizikovost jednotlivých fází letu, kdy je za kritickou fazí označováno přistání spolu s podobně hodnoceným vzletem. Takový závěr je téměř v souladu s definicí, kterou uvádí nařízení Komise Evropské unie č. 965/2012, regulující letový provoz, známé též jako EASA AIR OPS. Toto nařízení uvádí: „*Kritickou fazí letu se v případě letounů rozumí rozjezd, dráha letu při vzletu, konečné přiblížení, nezdařené přiblížení, přistání, včetně dojezdu a všechny ostatní fáze letu podle rozhodnutí velícího pilota nebo velitele letadla*“. Nařízení dále uvádí definici pro vrtulníky, která do kritické fáze zahrnuje i pojízdění a visení. Je tedy důležité myslet na všechna specifika uvažovaného provozu. V práci se, ale dále budeme zabývat výhradně malými letouny všeobecného letectví a jejich naležícími předpisy. [1]

Výše zmíněná fáze vzletu a přistání je dílkou součásti analýzy a výpočtů výkonnosti, kterou se tato práce zabývá. Pokud uvážíme zmíněnou rizikovost je zřejmé, že je nutné se na potlačení těchto rizik zaměřit při stanovení vhodných pravidel.

2.1 Letecké předpisy, nařízení a definice

Definice a předpisy zaměřené na ukotvení jednotlivých odvětví letectví, včetně zmíněných fází letu zajišťují organizace k tomu pověřené.

2.1.1 ICAO

Mezinárodní organizace pro civilní letectví je mezivládní organizace přidružená pod Organizaci spojených národů – OSN. Zřízena byla na základě Chicágské úmluvy o mezinárodním civilním letectví v prosinci roku 1944. V současné době zastřešuje spolupráci se všemi 193 státy OSN a zřízenými pracovními skupinami.

Založení této organizace za účelem sjednocení leteckých pravidel má jednoduché opodstatnění. Létání je aktivita, při které je běžné překonávat velké vzdálenosti a tedy i hranice států a kontinentů. Je tedy vhodné definovat sjednocená pravidla pokrývající co největší oblast, tak aby mohl být letecký provoz definovaný ve všech zemích podobně, byl přehledný a bezpečný.

Tato pravidla mají v případě ICAO podobu *annexů* (příloh) k Mezinárodní úmluvě o civilním letectví a dokumentů, které však samy o sobě nejsou závazné a přestavují spíše poradní materiál s doporučeními oficiálně označovaný jako SARP – Standardy a doporučené postupy. Pro studium pravidel týkajících se výkonnosti bude využit zejména

Annex 6 – Provoz letadel, část II. spolu s dalšími poradními materiály (ICAO docs). [2]

■ 2.1.2 EASA

Dne 28. 9. 2003 byla nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1592/2002 přijata společná pravidla v oblasti civilního letectví a Článkem 12 tohoto nařízení zřízena Evropská agentura pro bezpečnost letectví – EASA. EASA je nápomocna Evropské komisi při přípravě opatření, která mají být přijata pro provedení nařízení č. 1592/2002. Sídlem EASA je od 3. listopadu 2004 Kolín nad Rýnem. V současné době má EASA 32 členských států: 28 zemí Evropské unie a dále Švýcarsko, Norsko, Island a Lichtenštejnsko. Vrcholným představitelem organizace je výkonný ředitel EASA.

Mezi konkrétní činnosti agentury patří především dohled nad implementací a dodržováním legislativních požadavků ve členských státech. Dále pak certifikace letadel, pohonných jednotek a dohled nad výrobci a organizacemi pro údržbu. EASA od svého založení přijala několik rozšíření kompetencí. První rozšíření (Nařízením (ES) č. 216/2008) se týkalo oblasti způsobilosti leteckého personálu a leteckého provozu. V souvislosti s tím došlo i ke změně struktury prováděcích pravidel související s náruštěm regulovaných oblastí. Toto nařízení nahradilo nařízení zmíněné v předchozím odstavci. Druhé rozšíření pokrývá oblasti (nařízením (ES) č. 1108/2009) uspořádání letového provozu, letových navigačních služeb a letišť.

Z hlediska tvorby Evropské legislativy pro letectví rozlišujeme tři subjekty: Evropský parlament, Evropskou komisi a výkonného ředitele EASA. Nejprve je vydáno nařízení Evropského parlamentu, k němuž jsou prostřednictvím Evropské komise zveřejněna konkrétní prováděcí pravidla – Implementing rules (IR). Po vyhlášení v Úředním listu EU je nařízení závazné ve všech svých částech a bezprostředně použitelné (tj. přímo aplikovatelné) v každém členském státě – tzv. *Hard Law*. Nařízení má aplikační přednost před národními právními předpisy.

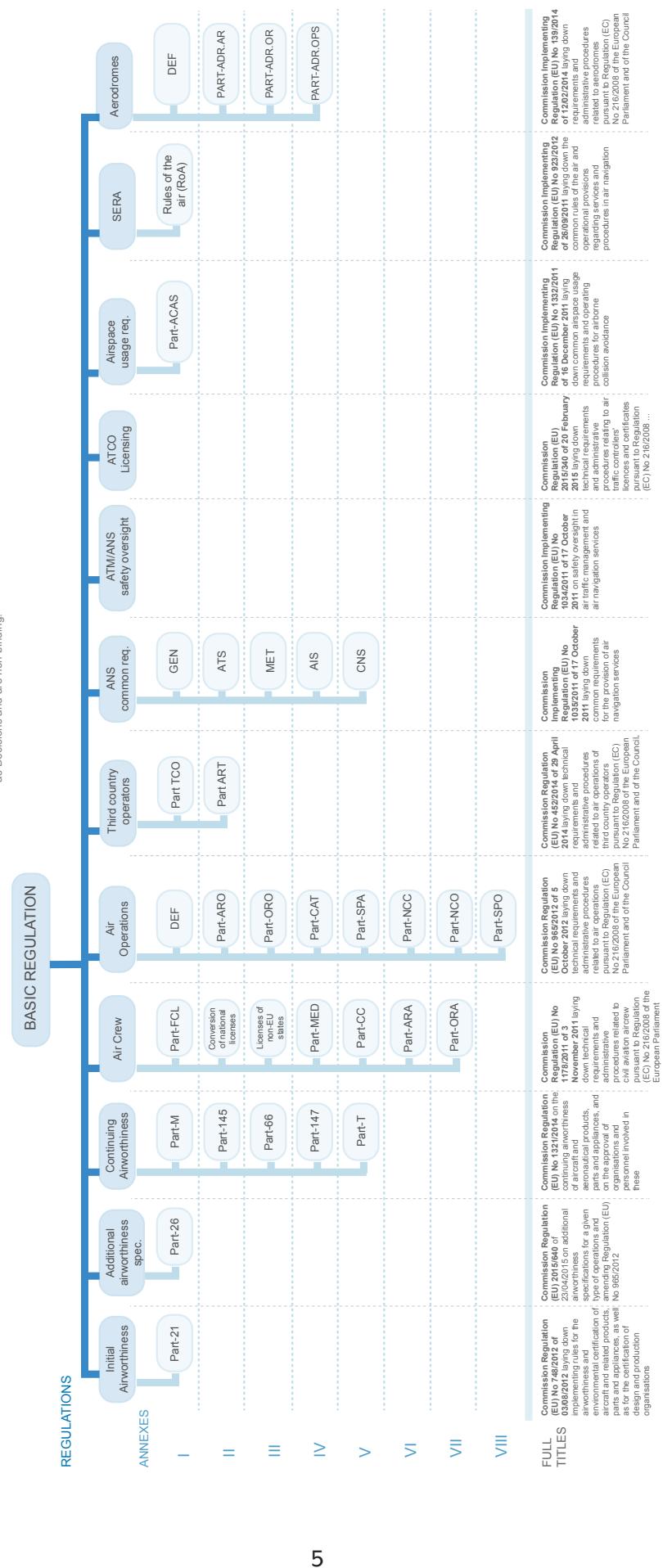
Výkonným ředitelem EASA jsou uveřejňovány přijatelné způsoby průkazu (AMC), výkladové materiály (GM) a certifikační specifikace (CS). Tyto materiály již nemají závazný charakter – tzv. *Soft Law* a představují souhrn pravidel sloužící ke snadnější orientaci v požadavcích. [3]

Náhled na strukturu legislativy nabízí infografika 2.1. Na jejím samotném vrcholu si všimněme Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139. Tento dokument, známý též jako *Základní nařízení* (Basic regulation) o společných pravidlech v oblasti civilního letectví a o zřízení Agentury Evropské unie pro bezpečnost letectví nahradil předchozí Nařízení (ES) č. 216/2008. Nařízení uvádí: „*Hlavním cílem tohoto nařízení je dosažení a udržení vysoké a jednotné úrovně bezpečnosti civilního letectví v Unii.*“ [4]

Mezi další cíle patří například:

- Přispívat k širší politice a výkonné civilního letectví v Unii.
- Za účelem konkurenčeschopnosti usnadnit volný pohyb zboží, osob, služeb a kapitálu a zajistit rovné podmínky.
- Přispívat k vysoké a jednotné úrovni ochrany životního prostředí.
- Podporovat výzkum a inovace, mimo jiné i v rámci procesů regulace, osvědčování a dozoru.
- Návázat spolupráci s třetími zeměmi a jejich leteckými úřady.
- Podporovat důvěru cestujících v bezpečné civilní letectví. [4]

Regulations Structure



■ 2.1.3 EASA AIR OPS

Nyní se opět zaměřme na schéma 2.1, konkrétně na opticky nejobsáhlejší část „Air Operations“. Jedná se o nařízení Komise (EU) č. 965/2012¹, o kterém jsme se již krátce zmínilí v úvodu kapitoly 2. Toto nařízení stanovuje technické požadavky a správní postupy týkající se letového provozu podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008. Konkrétně nařízení uvádí podrobná pravidla pro provoz letounů a vrtulníků v obchodní letecké dopravě (CAT) a provoz se zvláštním oprávněním (SPA). [1]

Častým, avšak chybáním předpokladem je, že se AIR OPS nevztahují na neobchodní provoz. Toto byla pravda pouze na přechodné období před uveřejněním pozměňovacího nařízení Komise (EU) č. 800/2013. Tímto krokem se požadavky AIR OPS rozšiřují o podrobná pravidla pro neobchodní provoz a podmínky a postupy pro prohlášení provozovatelů zabývajících se neobchodním provozem složitých motorových letadel (NCC) a letadel jiných než složitých motorových letadel (NCO). Začlenění pravidel pro zvláštní provoz letounů, vrtulníků, balonů a kluzáků (SPO) do AIR OPS přineslo nařízení Komise (EU) č. 379/2014. [1]

AIR OPS jsou vzhledem k rozsáhlé působnosti nařízením se značnou důležitostí a orientace v tomto nařízení by tak měla být samozřejmostí každého zodpovědného letce. Při vypracování této studentské práce tedy na toto nařízení bude kláden velký důraz.

Klíčové je vzhledem k několika skutečnostem:

- Určuje pravidla podle složitosti letadla.
- Uvádí kategorizaci letounů dle výkonnostních tříd.
- Dále určuje pravidla dle jednotlivých druhů provozu.
- Definuje pravidla pro vážení a výpočty hmotnosti a vyvážení.
- Určuje požadavky na výkonnost letounů v jednotlivých fázích letu. [1]

■ 2.1.4 Letadlo a letoun

Pro základní orientaci v předpisech a nařízeních je nutné si ujasnit, jakými létajícími prostředky se budeme zabývat. Definic můžeme čerpat například z Annex 2 – Pravidla létání, či Annex 6 – Provoz letadel.

- **Letadlo** (Aircraft) – je zařízení schopné vyvazovat síly nesoucí jej v atmosféře z reakcí vzduchu, které nejsou reakcemi vůči zemskému povrchu.
- **Letoun** (Aeroplane) – je letadlo těžší než vzduch s pohonem, vyvazující vztlak za letu hlavně z aerodynamických sil na plochách, které za daných podmínek letu zůstávají vůči letadlu nepohyblivé. [6]

Jak je již uvedeno v titulku této práce, zabývat se budeme výkonnostními charakteristikami **letounů**. Pro letecký výcvik jsou používány právě výhradně leteouny a definice dalších létajících prostředků tedy není třeba uvádět.

¹ Oficiálně označované IR-OPS, v práci dále jako AIR OPS dle terminologie užívané v materiálech EASA.

■ 2.1.5 Druhy provozu

AIR OPS svá pravidla kategorizují mimo jiné dle charakteru prováděných letů.

- Obchodním provozem je jakýkoliv provoz letadla za úplatu nebo jinou protihodnotu, jenž je přístupný veřejnosti, nebo pokud není přístupný veřejnosti, jenž je prováděn na základě smlouvy mezi provozovatelem a zákazníkem, přičemž zákazník nemá nad provozovatelem kontrolu.
- Provozem v obchodní letecké dopravě (CAT) je provoz letadel pro přepravu cestujících, nákladu nebo pošty za úplatu nebo jiné hodnotné protiplnění.
- Zvláštním obchodním provozem je jakýkoliv provoz mimo obchodní leteckou dopravu, kdy je letadlo použito pro zvláštní činnost, jako je zemědělství, výstavba, snímkování, průzkum, pozorování a hlídkování a letecká reklama.
- Neobchodním provozem rozumíme jakýkoliv provoz nespadající pod definici obchodního provozu. [1]

■ 2.1.6 Složité motorové letadlo

Za účelem stanovení vhodných pravidel pro provoz letounů jednoduchých, a oproti tomu letounů značně odlišných svou komplexností a velikostí byla zavedena klasifikace na složitý a nesložitý letoun. Tuto definici stanovuje Nařízení (ES) č. 216/2008, na které nutno referovat i přes platnost nového Základního Nařízení 2018/1139.

Složitým rozumíme letoun:

- S maximální certifikovanou vzletovou hmotností vyšší než 5 700 kg nebo
- s osvědčením pro maximální počet sedadel pro cestující vyšší než devatenáct nebo
- s osvědčením pro provoz s posádkou složenou nejméně ze dvou pilotů nebo
- vybavený proudovým motorem, či proudovými motory nebo více než jedním turbo-vrtulovým motorem.

Nesložitým je letoun nespadající do této definice. [7]

■ 2.1.7 Výkonnostní třídy letounů

V rámci analýzy výkonnosti je třeba rozlišovat tři kategorie, tak jak jsou definovány v AIR OPS:

- Letouny třídy výkonnosti **A** se rozumí vícemotorové letouny poháněné turbovrtulovými motory s MOPSC větší než 9 nebo s maximální vzletovou hmotností větší než 5 700 kg a dále všechny vícemotorové proudové letouny.
- Letouny třídy výkonnosti **B** se rozumí letouny poháněné vrtulovými motory s MOPSC 9 nebo méně a maximální vzletovou hmotností 5 700 kg nebo méně.

- Letouny třídy výkonnosti **C** se rozumějí letouny poháněné pístovými motory s MOPSC větší než 9 nebo s maximální vzletovou hmotností větší než 5 700 kg. [1]

2.2 Působnost AIR OPS v provozu F AIR

Je zřejmé, že společnost F AIR jakožto provozovatel letadel podléhá regulaci AIR OPS. Pro správnou implementaci všech pravidel a nařízení do zamýšleného softwarového nástroje, je nutné uvažovat správný druh provozu a k němu se uplatňující pravidla dle AIR OPS. V této kapitole budou shrnuta aplikující se části nařízení dle určeného druhu provozu a typů provozovaných letounů.

2.2.1 Klasifikace výcvikových letounů

Z hlediska složitosti a výkonného tříd letounů používaných v F AIR je nejjednodušší nejdříve určit provozovaný letoun s nejvyššími specifikacemi. Společnost F AIR provozuje letoun Piper Seneca, což je jednopilotní dvoumotorový vrtulový letoun s pístovými motory, MOPSC rovné pěti a MTOW 2 155 kg (7 750 lb).

Pokud tedy nyní chceme určit správné části AIR OPS, které se aplikují na lety s tímto letounem, musíme shrnout poznatky uvedené výše. Charakter letů v rámci praktického výcviku i přezkušování se řídí pravidly pro nekomerční provoz. Samotný let totiž není proveden za úplatu. Jedná se tedy o nekomerční provoz s letouny a pokud porovnáme specifikaci pro nás „kritického letounu“ s definicemi uvedenými v kapitole 2.1.6 a 2.1.7, dojdeme k závěru, že je tento typ klasifikován jako nesložitý letoun výkonné kategorie B. Do této „nejnižší“ klasifikace spadají i ostatní letouny ve flotile. Ze znalostí požadavků na výcvik mimo jiné výplývá, že jiný než nesložitý letoun pro výcvikové lety užit není. Na výcvikový provoz všech letounů v ATO F AIR, se tedy aplikují AIR OPS v části NCO – nekomerční provoz jiných než složitých motorových letadel a dále případná specifika pro výkonné třídu **B**.

2.2.2 Druhy provozu v F AIR

Výcvikové lety na letounech tedy, jak jsme si uvedli, spadají pod druh provozu NCO. Dalším typem provozu, který je v F AIR aplikován je SPO – zvláštní provoz. V souladu s AIR OPS Úřad pro civilní letectví (ÚCL) České republiky potvrdil přijetí prohlášení pro tyto činnosti v rámci provozu SPO:

- reklamní lety
- hlídkové, pozorovací, měřící a kontrolní lety
- lety pro letecké snímkování

Vyvíjená aplikace je určena pro použití v rámci výcviku, tedy musí respektovat požadavky části NCO. Dále se tak budeme zabývat pouze tímto druhem provozu.

■ 2.3 Základní pojmy pro výpočty výkonnosti

Problematika výkonnostní letadel je jedním z nejdůležitějších oborů letectví. Pro její pochopení je třeba základních znalostí aerodynamiky, hmotnosti a vyvážení a také například designu letišť a postupů pro přístrojové létání – konstrukce letových cest a zajištění rozstupu od překážek.

■ 2.3.1 Prvky dráhových systémů

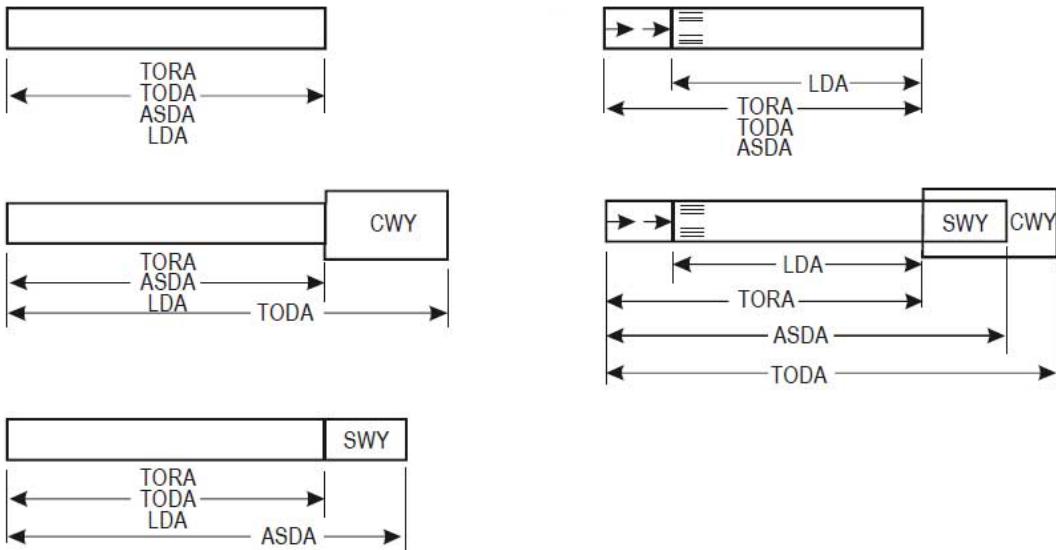
Z předpisu L14 – letiště, můžeme čerpat definic pro jednotlivé prvky konstrukce dráhových systémů.

- Dráha **RWY** – vymezená pravoúhlá plocha na pozemním letišti upravená pro přistání a vzlety letadel.
- Práh dráhy **THR** – začátek té části RWY, která je použitelná pro přistání.
- Předpolí **CWY** – pravoúhlá plocha na zemi nebo na vodě, vymezená pod dohledem ÚCL, vybraná nebo upravená jako použitelná plocha, nad níž může letoun provést část svého počátečního stoupání do předepsané výšky.
- Dojezdová dráha **SWY** – vymezená pravoúhlá plocha na zemi navazující na konec použitelné délky rozjezdu upravená tak, aby na ní mohlo letadlo zastavit při přerušeném vzletu.
- Posunutý práh dráhy **DTHR** – práh umístěný jinde než na začátku RWY. [8]

■ 2.3.2 Vyhlášené délky

Délky dráhových systémů jsou pro analýzu výkonnosti klíčové, jejich definice opět uvádí předpis L14. Názorně jsou vyhlášené délky pro dráhovou analýzu vyobrazeny na obrázku 2.2.

- Použitelná délka rozjezdu **TORA** – délka RWY, která je vyhlášená za použitelnou a vhodnou pro rozjezd letounu při vzletu.
- Použitelná délka vzletu **TODA** – použitelná délka rozjezdu zvětšená o délku předpolí, pokud je zřízeno.
- Použitelná délka přerušeného vzletu **ASDA** – použitelná délka rozjezdu zvětšená o délku dojezdové dráhy, pokud je zřízena.
- Použitelná délka přistání **LDA** – délka RWY, která je vyhlášena za použitelnou a vhodnou pro dosednutí a dojezd přistávajícího letounu. [8]



Obrázek 2.2. Vyhlášené délky pro vzlet a přistání – operace zleva doprava. [8]

2.4 Analýza výkonnosti dle fází letu

V kapitole jsou přiblíženy definice a požadavky dílčích částí analýzy výkonnosti. Použito je především AIR OPS, části NCO. V ustanoveních „Výkonnost letadla a provozní omezení“ pro NCO, AIR OPS uvádí: „*V každé fázi provozu musí naložení, hmotnost a poloha těžiště letadla (s výjimkou balonů), využívat všem omezením stanoveným v letové příručce letadla (AFM) nebo v rovnocenném dokumentu.*“

Obecná ustanovení pro výkonnost dále uvádějí: „*Velící pilot smí provozovat letadlo jen tehdy, pokud je výkonnost letadla přiměřená pro dodržení příslušných pravidel létání a jakýchkoli jiných omezení týkajících se letu, vzdušného prostoru nebo používaných letišť nebo provozních míst, přičemž vezme v úvahu přesnost všech používaných map.*“ [1]

2.4.1 Vzletová výkonnost

Délka vzletu je vzdálenost od bodu uvolnění brzd do bodu, kdy letadlo dosáhne předepsané výšky 50 ft. Musí být prokázáno, že skutečná délka vzletu nepřesáhne použitelnou délku vzletu TODA. Délka rozjezdu, tedy část délky vzletu, kdy letoun akceleruje na dráze pro dosažení rychlosti, kdy dochází k odpoutání, nesmí přesáhnout použitelnou délku rozjezdu TORA. Část NCO.POL dále nespecifikuje další požadavky, tedy například ke skutečné délce rozjezdu a vzletu připočítat bezpečnostní přídavky, tak jako je tomu u kategorie B provozované v obchodní letecké dopravě. [1, 9]

2.4.2 Výkonnost na trati

Po ukončení fáze vzletu je nutné zajistit výkonnost pro stoupání, tedy stoupavost a související gradient stoupání. Tato fáze nepodléhá specifickým nárokům ze strany AIR OPS, ale je zásadní pro dodržování publikovaných tratí a bezpečný odstup od překážek. [1, 9]

Další charakteristiky, které jsou důležité především pro plánování letu jsou spotřeba paliva, specifický dolet, celkový dolet a vytrvalost. Pro účely navigačních výpočtů je dále nutné znát pravou vzdušnou rychlosť TAS.

2.4.3 Výkonnost pro přistání

Délka přistání je délka měřená od přeletu bodu v definované výšce (screen height) do doteku a úplného zastavení. Počítáno je s výškou přistání z 50 ft. Je to minimální výška, kterou musí mít letoun na prahem dráhy. AIR OPS opět nedefinují přídavky pro délku přistání, tedy letoun musí v rámci provozu NCO přeletět práh dráhy minimálně v 50 ft a přistávací manévr ukončit zastavením v mezi použitelné délky přistání LDA. [1, 9]

2.5 Faktory ovlivňující výkonnost

Výkonnost letounu je závislá na mnoha faktorech, které se týkají vnitřního prostředí, tedy atmosféry a fyzikálních vlastností dráhy nebo samotného letounu v podobě jiné konfigurace či hmotnosti letounu.

2.5.1 Hustota vzduchu

Hustota negativně ovlivňuje výkon pohonné jednotky, protože nižší obsah kyslíku (méně molekul) v jednotce objemu vzduchu způsobuje horší spalování směsi ve spalovací komoře. Dalším efektem je snížené obtékání nosných ploch a tedy nižší vztlak. [10]

2.5.2 Teplota vzduchu

Teplota je faktorem, který může být velice proměnlivý a je tedy velice důležité dbát na její, převážně negativní vliv. Vysoká teplota způsobuje rozpínání plynů, tedy i vzduchu a snižuje tak jeho hustotu se všemi následky zmíněnými výše. [10]

2.5.3 Vítr

Vítr ovlivňuje parametry, které se týkají pohybu letounu relativně k zemi. Charakteristiky vztažené k zemskému povrchu jsou délky přistání a vzletu a také gradient stoupání vůči zemi (flight path gradient) důležitý pro odstup od překážek. Vzhledem k proměnlivosti větru je dle všech předpisů a certifikací pro výpočet výkonnosti na vzletu a přistání uvažováno maximálně 50% hlášené složky čelního větru (headwind – HW) a pro složku zadního větru (tailwind – TW) je nutné uvažovat 150% hlášeného větru. [10]

2.5.4 Povrch a stav RWY

Většina dat pro výkonnost publikovaných v příručkách je počítána pro zpevněné dráhy a pro provoz na travnatých površích je nutné aplikovat koeficienty, které degradují výkonnostní charakteristiky. Nezpevněný, většinou travnatý povrch dráhy totiž snižeje koeficient tření mezi kolem a povrchem, což má negativní vliv na brzdný účinek. Vysoká tráva působí značný odpor pohybu letounu a působí tak brzdným účinem, ale snížená efektivita brzd letounu stále převažuje. Podobný efekt jako tráva má také povrch s hustým kontaminantem jako je bláto, sníh nebo břečka a tedy zvětšují potřebné délky. Tyto kontaminanty spolu se stojatou vodou také mohou při překročení určité rychlosti zůsabit úplnou ztrátu kontaktu pláště s povrchem, kdy je účinek brzd nulový – aquaplaning. [10]

2.5.5 Sklon RWY

Pro dosažení rychlosti potřebné pro vzlet je nutné dostatečné akcelerace. Vzlet na stoupající RWY tak má za následek nižší akceleraci neboť část tahu a tady síly způsobující zrychlení působá proti tíze letounu. Je tedy nutné aplikovat publikované koeficienty

pro korekci a zvýšení potřebné délky vzletu. Při vzletu ze svažující se RWY fakticky dochází ke zkrácení potřebných vzdáleností, avšak pokud není faktorizace obsažena v certifikované příručce, není možné délky nijak zkracovat. [10]

2.5.6 Hmotnost letounu

Hmotnost (tíha) letounu působí proti složce vztlaku a při jejím zvýšení tak zvyšuje též potřebný vztlak. Vyššího vztlaku je většinou dosaženo vyšším úhlem náběhu nebo mechanizací letounu (klapky), které zvyšují odpor a degradují výkonné charakteristiky.

2.5.7 Konfigurace letounu

Mechanizace křídla sloužící pro snížení potřebných rychlostí při vzletu či přistání (nižší pádová rychlosť) způsobují vyšší odpor letounu a zhoršují výkonnost. Stejně se na výkonnosti projevuje také vysunutý podvozek. [10]

2.6 Letová příručka letadla

Pokud uvážíme předchozí poznatky o vlivu různých faktorů na výkonnost letounu je jasné, že mimo jiné musí být stanoveno jak velký vliv na konkrétní typ letounu mají. Za tímto účelem má každý certifikovaný letoun svou letovou příručku (AFM) obsahující data a informace pro bezpečný provoz a především pro tuto práci zásadní informace o výkonnosti.

Letový manuál je úzce spojený s certifikátem o letové způsobilosti a jako takový obsahuje omezení a další přesně definované informace. U určitých typů letounů se můžeme setkat s označením POH, tedy Provozní příručka pilota, která obsahuje část s certifikovaným AFM a dodatečné informace jako elektrická nebo hydraulická schémata a další pro samotný let již nezásadní data. S POH se můžeme setkat například u výcvikových letounů Cessna. V úvodu takové příručky však musí být informace, že je její součástí také certifikované AFM.

Typická struktura AFM se skládá z devíti sekcí: Obecné informace, Provozní omezení, Nouzové postupy, Normální postupy, Výkonnost, Hmotnost a využití + seznam vybavení, Popis systémů, Handling, Servis, Údržba a Dodatky. V případě, že je výrobcem publikována revize AFM či došlo k modifikaci letounu, je provozovatel zodpovědný za aktualizaci AFM konkrétního letounu a vložení případných dodatků.

Pokud se zaměříme na Annex 8 a požadavky na informace o výkonnosti, tento dokument uvádí, že publikovaná data musí zajistit dostatek informací pro bezpečný provoz letounu v rámci provozních podmínek a omezení. Je navíc důležité, aby pro dosažení publikovaných hodnot výkonnostních charakteristik nebylo zapotřebí nadprůměrných schopností posádky.

Kapitola 3

Metody a nástroje pro výpočet výkonnosti

Existuje několik přístupů jak v letových příručkách prezentovat data určující výkonnost pro jednotlivé fáze letu. S postupem času byly navíc, především v komerční dopravě, zavedeny elektronické systémy pro výpočet výkonnosti.

3.1 Standardní metody dle AFM

Data publikovaná v tištěných příručkách mají společný jmenovatel a to potřebu manuálních výpočtů či vynášení čar, které velice ovlivňují přesnost výsledné výkonnostní charakteristiky. Je tak nutné dbát pokynů pro tyto metody a výpočty provádět pečlivě. I malá odchylka na začátku výpočtu může způsobnit značně zkreslený či dokonce úplně nepoužitelný výsledek.

3.1.1 Grafy

Graficky prezentovaná data obsahují jednoduché grafy závislostí veličin či složené rozsáhlé grafy. Tyto na první pohled komplikované grafy se odborně nazývají nomogramy a pro účely rozmanitých výpočtů byly využívány již od počátku vývoje výpočetních nástrojů. Příkladem těchto analogových pomůcek mohou být již téměr nepoužívaná logaritmická pravítka. Nomogramy užívané v leteckví jsou v podstatě soustavou několika provázaných graficky prezentovaných funkcí. Příklad nomogramu pro vzletové charakteristiky jednomotorového pístového (SEP) letounu je uveden na obrázku 3.1.

Pro tento nomogram můžeme psát rovnici o několika funkčích přestavujících vstupní veličiny ovlivňující výkonnost.

$$f(t) + g(p) + h(m) + i(w) = j(TOR)$$

t ... teplota

p ... tlaková výška

m ... hmotnost

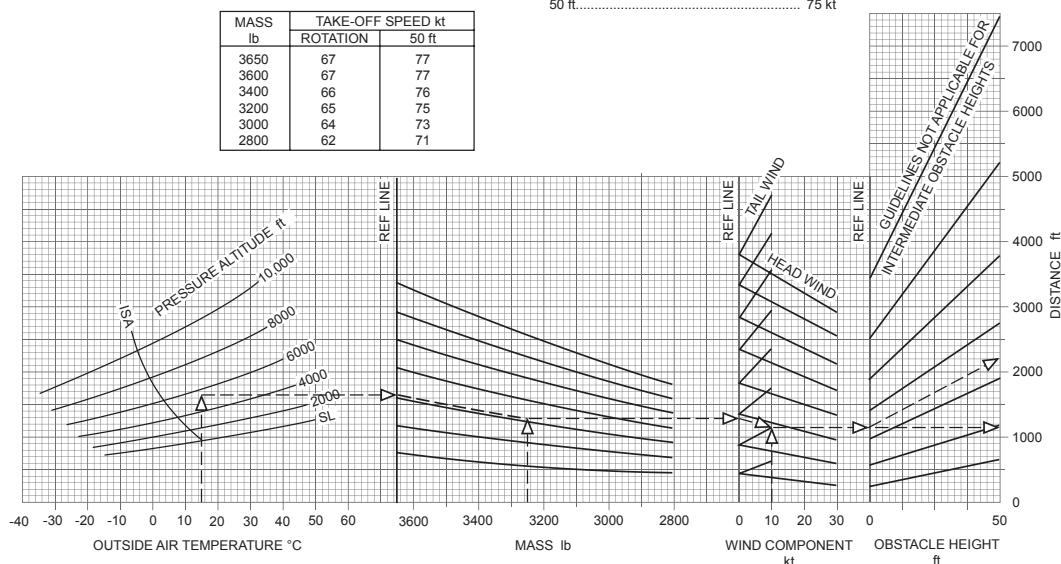
w ... vítr

TOR ... délka rozjezdu

Nevýhodou této analogové početní pomůcky je chyba způsobená například poškozením či špatnou kvalitou tištěného nomogramu. Značnou chybu také může vnášet nepřesnost při interpolaci linií. Výstup této metody je tak velice závislý na zručnosti obsluhy.

ASSOCIATED CONDITIONS	
POWER.....	TAKE-OFF POWER SET BEFORE BRAKE RELEASE
MIXTURE.....	FULL RICH
FLAPS.....	APPROACH
LANDING GEAR.....	RETRACT AFTER POSITIVE CLIMB ESTABLISHED
COWL FLAPS.....	OPEN
RUNWAY.....	PAVED, LEVEL, DRY SURFACE

EXAMPLE	
OAT.....	15°C
PRESSURE ALTITUDE.....	5653 ft
TAKE-OFF MASS.....	3250 lb
HEAD WIND COMPONENT.....	10 kt



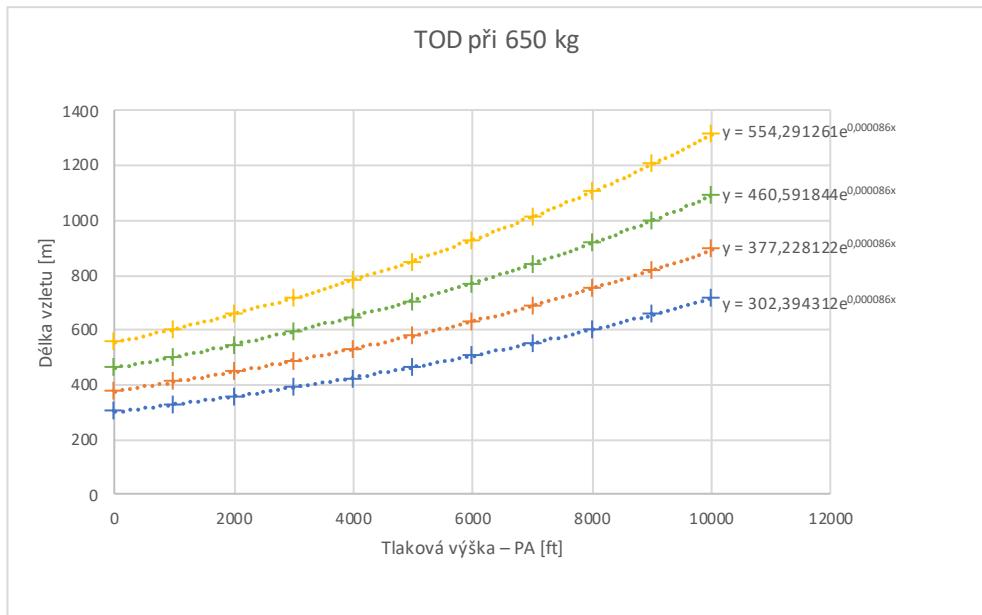
Obrázek 3.1. Nomogram vzletové výkonnosti pro SEP letoun [11]

3.1.2 Tabulky

Modernějším přístupem je publikování již předpočítaných tabulovaných hodnot výkonnostních charakteristik. Tato data jsou v AFM publikována pro několik vybraných hodnot vstupních veličin typicky ohraničených provozním rozsahem letounu. Výhodou metody je poměrně rychlý zběžný přehled o výkonnosti letounu. Nevýhodou je pro přesnější výsledky nutná často nekolikanásobná interpolace mezi hodnotami. Tuto interpolaci je možné provést pomocí mentálního výpočtu či s využitím kalkulátoru. Takové operace jsou však poměrně časově náročné a některé typy grafů z důvodu nelinearity dat interpolaci ani nepřipouští. Příklad tabulovaných hodnot je uveden v tabulce 3.1 a mírná nelinearita těchto hodnot prezentována vykreslením v grafu a proložením exponentiální funkci na obrázku 3.2. Graf vykresluje hodnoty pro délku vzletu (TOD – at 50ft AGL) pro čtyři publikované teploty.

<u>Weight = 650 kg</u>		Corrections				
Flaps: T/O		Headwind: - 5 m for each kt (16 ft/kt)				
Speed at Lift-Off = 50 KIAS		Tailwind: + 15 m for each kt (49 ft/kt)				
Speed Over 50ft Obstacle = 61 KIAS		Paved Runway: - 10% to Ground Roll				
Throttle Levers: Full Forward		Runway slope: + 7% to Ground Roll for each +1%				
Runway: Grass						
Pressure Altitude		Distance [m]				
[ft]		Temperature [°C]			ISA	
S.L.	Ground Roll	-25	0	25	50	207
	At 50 ft AGL	304	379	463	557	428
1000	Ground Roll	157	198	245	297	222
	At 50 ft AGL	330	412	503	605	458
2000	Ground Roll	172	216	267	324	238
	At 50 ft AGL	359	448	547	658	490
3000	Ground Roll	188	236	292	354	256
	At 50 ft AGL	391	487	595	717	525
4000	Ground Roll	205	258	319	387	275
	At 50 ft AGL	425	530	648	780	562
5000	Ground Roll	224	283	349	423	295
	At 50 ft AGL	463	578	706	850	603
6000	Ground Roll	246	309	381	463	318
	At 50 ft AGL	505	630	770	927	646
7000	Ground Roll	269	339	418	507	342
	At 50 ft AGL	551	687	840	1011	693
8000	Ground Roll	295	371	458	555	368
	At 50 ft AGL	601	750	917	1104	744
9000	Ground Roll	323	407	502	609	397
	At 50 ft AGL	657	819	1002	1205	800
10000	Ground Roll	354	446	551	668	428
	At 50 ft AGL	718	895	1095	1318	859

Tabuľka 3.1. Tabuľované hodnoty vzletové výkonnosti letounu P2008JC – data z: [12]



Obrázek 3.2. Závislost délky vzletu na tlakové výšce letounu P2008JC – data z: [12]

3.2 Softwarové nástroje

Elektronická zařízení mají nespočet využití a postupem času tak začala nahrazovat původní metody a tištěné manuály s grafy a tabulkami. V komerční dopravě jsou taková řešení často vyvíjena již výrobcem letounu. Rozšíření tabletů a dalších snadno dostupných platform však tyto vymoženosti přinesly i do všeobecného sportovního letectví.

3.2.1 Elektronická letová aktovka

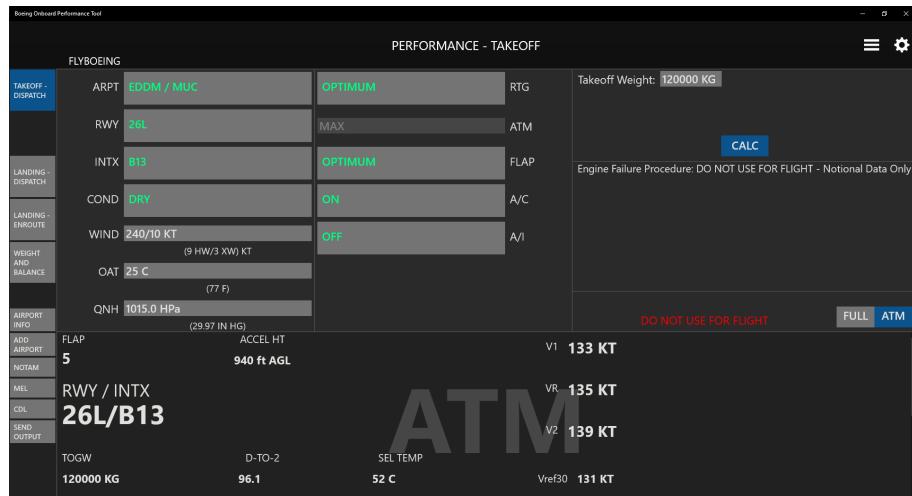
Vzhledem k rychlému vývoji elektronických zařízení a jejich poměrně značnému vlivu na provoz letounů bylo zavedeno několik definic a pravidel. AIR OPS uvádí: *Elektronickou letovou aktovkou (electronic flight bag, EFB) se rozumí elektronický informační systém sestávající z vybavení a aplikací pro letovou posádku, jenž umožňuje uchovávat, aktualizovat, zobrazovat a zpracovávat funkce EFB na podporu letového provozu či letové služby.* Tyto systémy mohou být přesnosné či instalované, kdy jsou již součástí certifikované přístrojové výbavy letounu.

Dále je definován pojem EFB aplikace: *Aplikací EFB se rozumí softwarová aplikace, která je nainstalována na hostingové platformě EFB, jež zastává jednu nebo více specifických provozních funkcí, jež podporují letový provoz.* EFB aplikace jsou dále děleny na tři typy. Aplikace typu A u které její nesprávná činnost nebo nesprávné použití nemají žádné dopady na bezpečnost letu. U typu B je již nesprávná činnost považována jako nezávažný poruchový stav. Tyto aplikaci již mohou nahrazovat tištěné manuály nebo sloužit pro výpočty výkonnosti či hmotnosti a vyvážení. Typ C již umožňuje například zobrazovat polohu vlastního letounu na mapových podkladech.

Veškerá elektronická zařízení, která nejsou součástí přístrojového vybavení letounu jsou také klasifikována jako přenosná elektronická zařízení (PED). Mezi tato zařízení tedy patří i přesnosné EFB. Nejmodernější letouny jsou již od prvního návrhu určené pro provoz EFB. Airbus A380 nebo A330 umožňuje konfiguraci s instalovaným EFB, které umožňuje mimo jiné výpočty výkonnosti. Takové EFB je již propojené se systémy letounu, a umožňuje tak výměnu dat například s FMS. Letoun A350 oproti tomu využívá konfiguraci, kdy je součástí přístrojové výbavy pouze palubní informační systém (OIS), zobrazující standardní a nouzové postupy (checklisty) a dále například provozní letový plán. Pro výpočty výkonnosti a další úkony je již v kokpitu od výroby příprava pro instalaci přenosného EFB, viz obrázek 3.3.



Obrázek 3.3. EFB na platformě Thales v kokpitu letounu Airbus A350 [13]



Obrázek 3.4. EFB aplikace Boeing OPT [14]



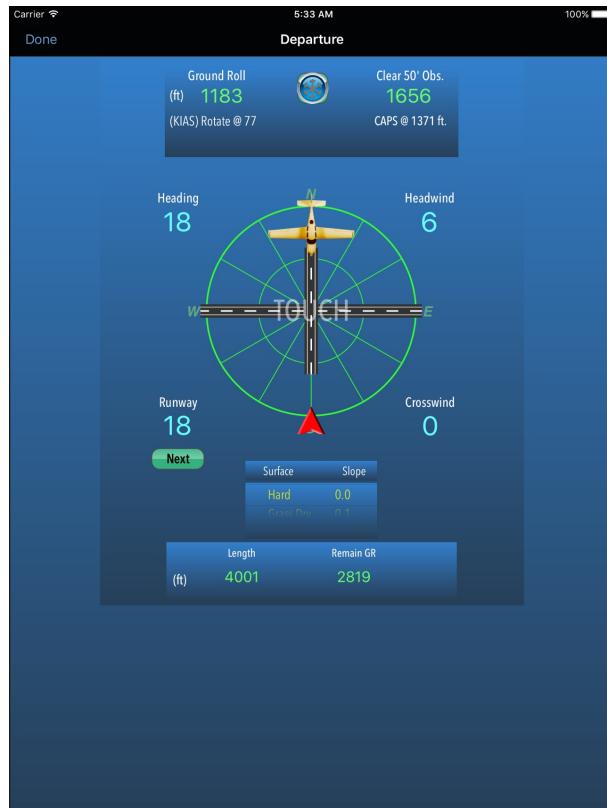
Obrázek 3.5. EFB aplikace Airbus FlySmart [15]

3.2.2 Systémy v komerční letecké dopravě

3.2.3 Systémy pro všeobecné letectví



Obrázek 3.6. Aplikace Gyronimo [16]



Obrázek 3.7. Aplikace ProFlite [17]

Kapitola 4

Realizace aplikace

Tato kapitola popisuje samotný návrh a implementaci aplikace dle požadavků ATO F AIR a příslušných předpisů a nařízení. Vzhledem k faktu, že se autor práce nepovažuje za odborníka na vývoj software, je kapitola psána velice obecně a nemá představovat ideální postup řešení, který by naopak použil v oboru zkušený jedinec. Samotné dělení na Front-end a Back-end je použito pro zjednodušení orientace v postupu řešení, neboť se správně z hlediska terminologie v informatice celá práce zabýva pouze částí Front-end, tedy veškerý chod aplikace probíhá u uživatele bez jakékoliv interakce se serverem.

4.1 Požadavky na aplikaci

Abychom mohli dosáhnout výsledků zmíněných v kapitole 1.2 je nutné určit konkrétní požadavky na funkci aplikace. Na základě konzultací s vedoucím práce v rámci ATO F AIR i osobních poznatků byly určeny tyto požadavky:

- Přesné a rychlé výpočty
- Spojité zadávání vstupních veličin
- Soulad s leteckými předpisy
- Respektování SOP a OM
- Export výsledků
- Předvolby konfigurací
- Multiplatformní funkčnost
- Spolehlivost
- Udržitelnost a aktuálnost
- Uživatelská přívětivost
- Příjemný grafický design
- Rozšiřitelnost o nové funkcionality

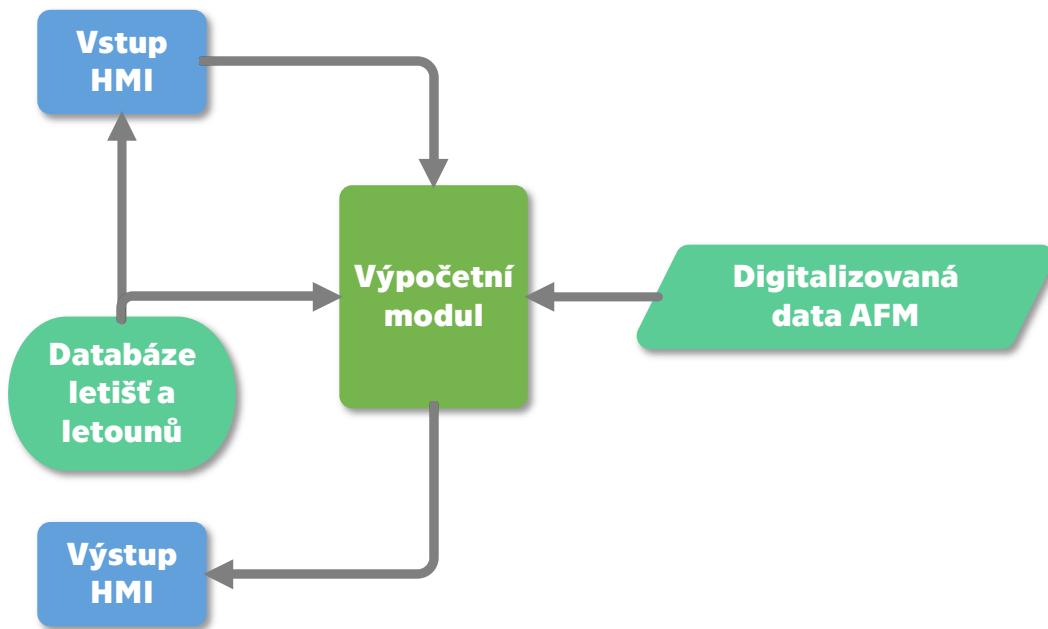
4.2 Architektura aplikace

Každý software musí mít definovaný rámec nebo filozofii, kterou je nahlíženo na celkovou stavbu aplikace, tedy architekturu. Pro tyto účely je vhodné využívat již existující příručky a návody. Vzhledem k určení vyvíjeného nástroje je nejvhodnější příručkou ICAO Doc 10020 – *Manual of Electronic Flight Bags (EFBs)*. Tato příručka obsahuje soubor základních požadavků a postupů pro elektronické letové aktovky a jejich vývoj. Vzhledem k tomu, že se jedná o materiály sestavované odborníky, je příručka logicky strukturovaná a ve své podstatě zrcadlí zvyklosti a postupy pro vývoj obecného software. Pro vývoj předmětné aplikace je tak ideálním zdrojem informací i přes fakt, že jako oficiální EFB vyvíjena není.

Nejdůležitější sekcí příručky pro tyto účely je příloha A, obsahující informace podadenského rázu týkající se přímo aplikací pro výpočet výkonnosti nebo hmotnosti a vyvážení. Uvádí členění architektury aplikace a funkci jednotlivých modulů. Pro účely

vyvíjené aplikace bylo vyváženo upravené schéma dle této příručky. Prezentováno je na obrázku 4.1.

Schéma uvádí pět základních částí. Vstup rozhraní člověk–stroj (HMI) představuje uživatelem navolené vstupní hodnoty pro zamýšlený výpočet. Pro tento blok je již nutné získat data z databáze letišť, dostupných typů letounů a jejich konkrétních registrací tak, aby si uživatel mohl zvolit požadovanou RWY a svůj letoun. Dále je nutné definovat meteorologické podmínky. Následný proces představuje výpočet ve výpočetním modulu do kterého vstupují uživatelské hodnoty spolu s hodnotami z databáze letišť a letounů a pomocí dat z AFM pro daný typ letounu (transformovaných do rovnic) je proveden samotný výpočet a případné korekce opět dle digitalizovaného AFM. Výsledek kalkulace je pro zobrazení odeslán do HMI, kde je prezentován číselně a případně i v GUI v podobě grafu nebo jiného prvku. [18]



Obrázek 4.1. Architektura aplikace pro výkonnost dle EFB příručky

4.3 Volba technologií

Abychom splnili funkční požadavky z kapitoly 4.1, je již od začátku vývoje nutné pracovat se správnými technologiemi a postupy.

Platforma	Google Play	AppStore
Veřejný účet	25 \$	99 \$ / rok
Korporátní účet	25 \$	299 \$ / rok

Tabulka 4.1. Přehled poplatků za vývojářský účet pro distribuci aplikací.



Obrázek 4.2. Přehled základních technologií

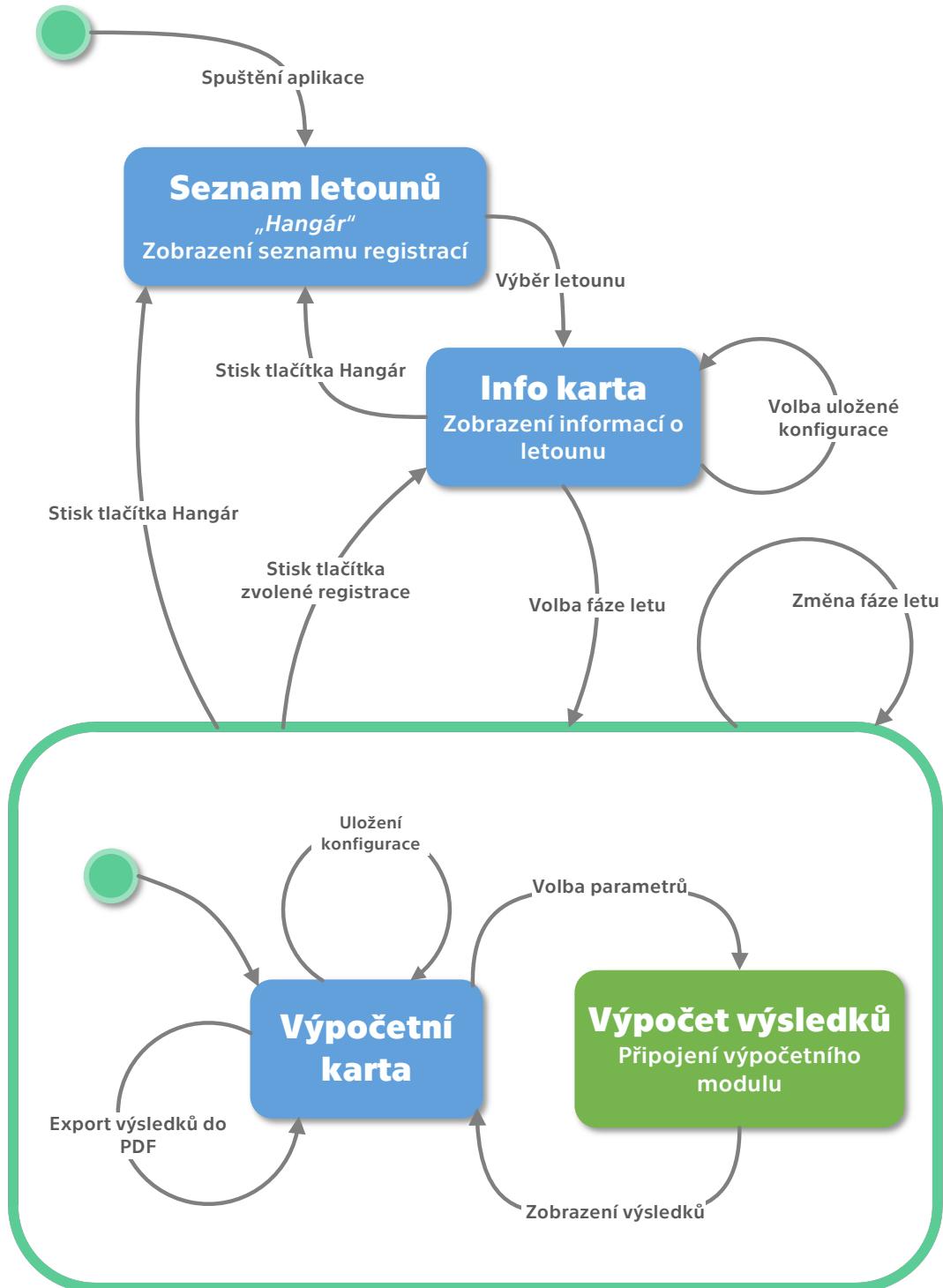
4.4 Front-end

Tato část práce popisuje provedený návrh a realizaci všech prvků uživatelského uživatelského prostředí aplikace. Jedná se o prvky se kterými uživatel přímo pracuje, tedy rozhraní člověk–stroj (HMI).

4.4.1 Uživatelské rozhraní

Výběr letounu na stránce „Hangár“. Karta „Info“ s ilustračním fotografií a specifikacemi daného typu, konfigurace a konkrétní registrace.

Zaokrouhlování na bezpečnou stranu. Barevné kódování.

**Obrázek 4.3.** Vývojový diagram – uživatelský průchod aplikací

■ 4.4.2 Grafický design

Pro správnou funkci každého uživatelského prostředí je důležitý vhodný přístup ke grafickému zpracování, který zajistí snadnou orientaci a příjemnou práci s nástrojem. Základním zdrojem informací a inspirace byly především již existující systémy provozované v F AIR. Zejména webové stránky, plakáty, manuály a další tiskoviny, ale například i barevná schémata letounů.

Aby byla použitá grafika kvalitní a umožňovala responzivní design, tedy provoz na zařízeních s různým rozlišením, je důležité použít vektorovou grafiku, která si při zvětšování zachovává kvalitu.

Oproti rastrové grafice, kde je obrázek popsán pomocí hodnot jednotlivých bodů (pixelů) je vektorová grafika sestavena z matematických útvarů jako jsou přímky, křivky a mnohoúhelníky. Takový zápis informace také často zabírá méně místa na uložišti, což je pro rychlé načítání aplikace důležité. Pro tvorbu ikon a dalších ilustrací bylo použito programu Adobe Illustrator 4.4 a výsledné soubory exportovány ve formátu svg.



Obrázek 4.4. Prostředí programu Adobe Illustrator

Vytvořena byla ikona aplikace s logem společnosti F AIR a dále prvky uživatelského prostředí pro navigaci v aplikaci. Jednotlivé části výpočtů mezi kterými se přepíná na spodní, vždy viditelné kartě, jsou znázorněny odpovídajícími obrázky. Pro fáze letu byly vytvořeny ilustrace se stylizovaným letounem Tecnam P2006T, který je vlajkovou lodí školy.



Obrázek 4.5. Logo



Obrázek 4.6. Hangár



Obrázek 4.7. W&B



Obrázek 4.8. Vzlet



Obrázek 4.9. En-route



Obrázek 4.10. Přistání

■ 4.4.3 Dark mode

Tmavý režim je dnes již téměř standardní vlastnost uživatelských rozhraní. Při jeho implementaci uživateli umožňuje přepnutí do vzhledu s nižším jasem barev. V postateč-

dojde k inverzi barev, kdy bílé pozadí nahradí tmavé tóny šedé, či černá barva. Takové barevné schéma snižuje intenzitu vyzařovaného světla a tudíž méně unavuje oči a šetří baterii mobilních zařízení. Většina ploch tedy obsahuje tmavé tóny při zachování dostatečnoho kontrastu důležitého pro filozofii Material Design. K jeho implementaci bylo využito již integrovaného řešení v rámci komponent Vuetify respektující Material Design, viz zdrojový kód. Pro přepínání tmavého režimu v GUI bylo využito menu plovoucího tlačítka. Navolený stav je uložen v prohlížeči na zařízení uživatele, kde je uchován v java-scriptovém úložišti localStorage. Nastavení je tak vázáno na konkrétní zařízení. Po restartu aplikace je informace vyzvednuta z úložiště a v kódu reprezentována proměnnou *darkMode*. Tato proměnná nabývá hodnoty true (1 = režim zapnut), či false (0 = režim vypnuto). Ve zdrojové kódu jsou dále nastaveny atributy pro konfiguraci barev. Barevné schéma odpovídá tmavému režimu v Apple iOS či aplikaci Messenger.

```
darkModeSwitch(darkMode) {
  this.$vuetify.theme.dark = darkMode;
  let metaThemeColor = document.querySelector("meta[name=theme-color]");
  metaThemeColor.setAttribute("content", darkMode ? "#1c1c1e" : "#FFFFFF");
  metaThemeColor = document.querySelector(
    "meta[name=apple-mobile-web-app-status-bar-style]"
  );
  metaThemeColor.setAttribute(
    "content",
    darkMode ? "black-translucent" : "default"
  );
  document.body.style.backgroundColor = darkMode ? "#1c1c1e" : "#FFFFFF";
}
```

4.4.4 Export výsledků

Jedním z nejdůležitějších funkčních požadavků na aplikaci patří implementace exportu výsledků a pokud možno i na uživateli nezávislá archivace.

Vzhledem k využití v letecké škole je předpoklad pro využití výstupu z exportu především v rámci předletové přípravy studenta – briefingu. Takovým výstupem z aplikace může být prostý text s výpisem zjištěných hodnot například v podobě jednoduchého textového souboru, který je vhodný z důvodu kompatibility a přenositelnosti. Nevýhoda takového řešení by spočívala v možné nechtemené modifikaci textového souboru.

Formátem, který nelze snadno pozměnit, ale zároveň již i podle názvu splňuje kritérium přenosnosti je PDF, tedy něco s čím se v informatice setkáváme téměř denně. Pro implementaci bylo využito řešení britských vývojářů Parallax. Jejich JS knihovna *jsPDF* pro generování PDF, je velice povedené řešení. [19]

```
let printPDF = (data, plane, BEW) => {
    let temp
    let newPage = false;
    let doc = new jsPDF();
    let d = new Date();
    doc.setDocumentProperties({
        title: plane + "-" + FlyCalc.dateToString(d)
    });
    doc = renderTemplate(doc, d, plane, newPage);
}
```

```
let y = 45;

if (Object.keys(data.LD.results).length > 0) {
    if (newPage) {
        doc = renderTemplate(doc, d, plane, true);
    } else {
        newPage = true;
    }
    doc.setTextColor("#000000");
    doc.setFontSize(16);
    doc.setFontType("bold");
    doc.text("Landing performance", 15, y);
    doc.setFontSize(11);
    y += 8;
    temp = exportRWY(doc, y, data.LD.rwy, "LD")
    doc = temp[0]
    y = temp[1]
    temp = exportMeteo(doc, y, data.LD.meteo)
    doc = temp[0]
    y = temp[1]
    doc.setFontType("bold");
    doc.text("Summary", 20, y);
    doc.setFontType("normal");
    y += 8;
    doc.text(LD: ${data.LD.results.LD} m, 25, y);
    y += 8;
    doc.text(LR: ${data.LD.results.LR} m, 25, y);
    y = 45;
}
doc.save(plane + "-" + FlyCalc.dateToString(d) + ".pdf");
}
```

4.5 Back-end

Druhá část implementace se zaměřuje na funkce a metody použité pro výpočty probíhající „v pozadí“ aplikace. Dále je popsáno zavedení všech funkcí aplikace typu PWA.

4.5.1 Implementace PWA

Pro využití technologie PWA je nutné provést všechny úkony spojené s modifikací běžné webové aplikace na tento standard. Nejdůležitější částí implementace je generování tzv. Service Workers, které se starají například o funkce aplikace jako je instalace aplikace na plochu. Využito bylo modulu Workbox, který poskytuje společnost Google.

```
pwa: {  
  name: "FlyCalc",  
  themeColor: "#063761",  
  msTileColor: "#063761",  
  appleMobileWebAppCapable: "yes",
```

```
appleMobileWebAppStatusBarStyle: 'default',
workboxPluginMode: 'GenerateSW',
workboxOptions: {
  navigateFallback: "/",
  exclude: [],
  include: [/\^.html$/, /\.js$/, /\.css$/, /\.json$/, /\.*plane\.png$/,
            /\.*share\.png$/, /\.jpg$/, /\.svg$/],
}
}
```

Progressive Web App

These checks validate the aspects of a Progressive Web App. [Learn more.](#)

Fast and reliable

- Page load is fast enough on mobile networks
- Current page responds with a 200 when offline
- start_url responds with a 200 when offline

Installable

- Uses HTTPS
- Registers a service worker that controls page and start_url
- Web app manifest meets the installability requirements

PWA Optimized

- Redirects HTTP traffic to HTTPS
- Configured for a custom splash screen
- Sets an address-bar theme color
- Content is sized correctly for the viewport
- Has a `<meta name="viewport">` tag with `width` or `initial-scale`
- Contains some content when JavaScript is not available
- Provides a valid `apple-touch-icon`

Additional items to manually check (3) — These checks are required by the baseline [PWA Checklist](#) but are not automatically checked by Lighthouse. They do not affect your score but it's important that you verify them manually.

Runtime Settings

URL	https://flycalc.web.app/
Fetch time	Aug 13, 2019, 8:51 PM GMT+2
Device	No emulation
Network throttling	150 ms TCP RTT, 1,638.4 Kbps throughput (Simulated)
CPU throttling	4x slowdown (Simulated)
User agent (host)	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/76.0.3809.100 Safari/537.36
User agent (network)	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/76.0.3809.100 Safari/537.36
CPU/Memory Power	684

Obrázek 4.11. Hlášení z auditu PWA aplikace nástrojem Lighthouse [20]

4.5.2 Manifest

Pro správný chod aplikace a využití všech možností PWA je důležité, aby součástí kořenového adresáře byl také soubor manifest.json obsahující strukturu nejdůležitějších informací o aplikaci. Díky těmto základním informacím tak prohlížeč na uživatelském zařízení získá data potřebná ke spuštění aplikace. Součástí je také seznam ikon, které systém využije při uložení aplikace na domovskou stránku, plochu zařízení či záložky. Pro načítání aplikace je vytvořen tzv. Splashscreen, viz obrázek 4.12

```
{  
  "short_name": "FlyCalc",  
  "name": "FlyCalc",  
  "background_color": "#063761",  
  "theme_color": "#063761",  
  "start_url": "/",  
  "display": "standalone",  
  "orientation": "portrait",  
  "icons": [  
    {  
      "src": "img/icons/icon-72x72.png",  
      "sizes": "72x72",  
      "type": "image/png"  
    },  
  ]  
}
```



Obrázek 4.12. Načítací obrazovka (Splashscreen) aplikace

4.5.3 Databáze letounů

```
"OK-DME": {  
    "plane": "P2008JC",  
    "config": "GT",  
    "img": "/img/planes/P2008JC.jpg",
```

```

"info": {
    "Propeller": "GT",
    "Suited for": "VFR, VFR night",
    "Serial number": "1017"
},
"weight": {
    "MTOW": {
        "value": 650,
        "unit": "kg"
    },
    "BEW": {
        "value": 420,
        "unit": "kg"
    },
    "BEWarm": {
        "value": 1.8779,
        "unit": "m"
    }
}
}

```

4.5.4 Databáze letišť

```

"LUKV 11": {
    "direction": 110,
    "TORA": 2150,
    "TODA": 2350,
    "ASDA": 2150,
    "LDA": 2010,
    "THR ELEV": {
        "TO": 1981,
        "LD": 1988
    },
    "DER ELEV": 1985,
    "AD ELEV": 1989,
    "SURFACE": "Paved"
}

```

```

"LKBE 06": {
    "direction": 60,
    "TORA": 730,
    "TODA": 760,
    "ASDA": 730,
    "LDA": 730,
    "THR ELEV": 1293,
    "DER ELEV": 1312,
    "AD ELEV": 1322,
    "SURFACE": "Grass"
}

```

■ 4.5.5 Výpočetní modul

Ústředním prvkem aplikace je zjištění samotné výkonnostní charakteristiky. Jedná se o nejdůležitější část aplikace, která určuje přesnost a tedy užitnost celé aplikace. Vstupními veličinami ovlivňujícími výkonnostní charakteristiky jsou atmosferický tlak reprezentovaný tlakovou výškou, teplota, hmotnost, sklon RWY, vítr a také druh a stav RWY. Tyto veličiny je nutné před aplikováním digitalizovaných dat z AFM zjistit příslušnými rovnicemi a funkcemi, které jsou popsány v následujících částech. Tato část však popisuje samotnou digitalizaci dat z AFM. Výsledkem digitalizace je rovnice o několika proměnných, které reprezentují již zmíněné vstupní veličiny. Regresní analýza a zjištování rovnice pro výpočty výkonnosti je v kapitole prezentována na letounu Tecnam P2008JC, který v ATO F AIR představuje typ letounu pro základní výcvik a je tedy velice vytěžovaný. Jedná se také o jednoduchý letoun bez stavitelné vrtule či nastavení směsi a z tohoto důvodu jsou i data v AFM jednoduchá a tedy pro prvotní seznámení a analýzu vhodná.

- Analýza dat výkonnosti

Jak již bylo ukázáno v kapitole , data pro výkonnostní charakteristiky letounu P2008JC jsou obsažena v AFM a z většiny jsou publikována v předpočítaných tabulkách. Tyto tabulované hodnoty je tedy vhodné

- Regresní analýza
- Pojmy ze statistiky
- Curve-fitting
- Regrese

■ 4.5.6 Výpočet tlakové výšky

Pro zjištění této veličiny byla vytvořena funkce *pressureAltitude*, které přijímá parametr nadmořská výška – ELEV a tlak – QNH. Funkce vrací hodnotu tlakové výšky zjištěné z rozdílu standardního tlaku na hladině moře a QHN vloženého uživatelem. Pro výpočet byla zvolena hodnota vertikální složky tlakového gradientu $27\text{ft}/1\text{hPa}$, která odpovídá nízkým hladinám, ve kterých výcvikové letouny létají. [21]

```
pressureAltitude(ELEV, QNH) {
    return ELEV + 27 * (1013.25 - QNH);
},
```

■ 4.5.7 Výpočet teploty ISA

Funkce pro výpočet teploty ve standardní atmosféře pro určitou tlakovou výšku sestává z rovnice předpokládající změnu teploty dle ISA $2^\circ\text{C}/1000\text{ft}$.

```
ISA(pressureAltitude) {
    return 15 - (pressureAltitude / 1000) * 2;
}
```

■ 4.5.8 Výpočet sklonu dráhy

Sklon dráhy je vypočítán pomocí goniometrické funkce *tg*. Funkce přijme parametr nadmořské výšky prahu dráhy a výšky protějšího konce dráhy, tedy odletového konce

DER. Rozdílem těchto hodnot je získáno průměrné převýšení konkrétní RWY a podle ním této hodnoty délkou dráhového systému, tedy v případě vzletu TORA a v případě přistání LDA je získána hodnota $tg(\alpha)$. Tato hodnota vyjádřená v procentech je funkcí vrácena pro další zpracování aplikací.

```
RWY_SLOPE(DER_ELEV, THR_ELEV, distance)
{
    let slope = DER_ELEV - THR_ELEV;
    slope /= distance / 0.305;
    slope *= 100;
    if (isNaN(slope)) return "";
    return Math.round(slope * 100) / 100;
}
```

4.5.9 Časové údaje

```
stringToSecond: function (string) {
    let splitArray = string.split(":");
    let seconds = +splitArray[0] * 3600;
    seconds += +splitArray[1] * 60;
    return +seconds;
},
secondsToString: function (seconds) {
    let string = "";
    string += Math.floor(seconds / 3600);
    seconds -= Math.floor(seconds / 3600) * 3600;
    string += ":";

    let num = Math.round(+seconds / 60);
    let result = ("0" + num).substr(-2);
    string += result;
    return string;
},
dateToString(date) {
    let months = [
        "JAN",
        "FEB",
        "MAR",
        "APR",
        "MAY",
        "JUN",
        "JUL",
        "AUG",
        "SEP",
        "OCT",
        "NOV",
        "DEC"
    ];
    let output = ("0" + date.getUTCDate()).substr(-2);
    output += " ";
    output += months[date.getUTCMonth()];
    output += " ";
}
```

```
    output += date.getUTCFullYear();
    output += " ";
    output += ("0" + date.getUTCHours()).substr(-2);
    output += ":";  
    output += ("0" + date.getUTCMinutes()).substr(-2);
    output += " UTC";
    return output;
}
```

Kapitola 5

Uživatelské testování

Testování vyvážené aplikace bylo rozděleno do dvou fází. První fáze, provedená za účelem testování uživatelského prostředí sestávala z dotazníku obsahujícího otázky pro určení použitelnosti systému – SUS. Druhá část testování, již obsáhlejší, se zaměřila na porovnání výpočtu provedeného standardně z AFM oproti identickému výpočtu v aplikaci. Porovnána byla nejen přesnost kalkulací, ale také uplynulý čas potřebný pro jednotlivé výpočty.

5.1 Testování UX

Za účelem otestování použitelnosti aplikace a kvality návrhu uživatelského prostředí byl vytvořen elektronický dotazník v online službě Google Docs. Dotazník obsahoval SUS testování a doplňující informace o respondentovi. Po sběru odpovědí následovalo vyhodnocení použitelnosti a určení možných úprav uživatelského rozhraní dle zpětné vazby.

5.1.1 System Usability Scale

Český škála použitelnosti systému je metoda pro testování téměř libovolného systému, pro který potřebujeme zjistit, jak se uživatelům používá a jaký z něj mají pocit – User Experience (UX). Vytvořil ji v roce 1986 John Brook za účelem rychlého a robustního otestování použitelnosti. Původně nebyla určena k širokému použití, ale vzhledem ke své jednoduchosti se s ní stal standard. [22]

SUS definuje sadu těchto deseti otázek:

- Rád/a bych systém používal/a opakovaně.
- Systém je zbytečně složitý.
- Systém se snadno používá.
- Potřeboval/a bych pomoc z technické podpory, abych mohl/a systém používat.
- Různé funkce systému jsou dobře začleněny.
- Systém je příliš nekonzistentní.
- Řekl/a bych, že většina lidí se se systémem naučí pracovat rychle.
- Systém je příliš neohrabaný.
- Při práci se systémem se cítím jistě.
- Musel/a jsem se hodně naučit, než jsem se systémem dokázal/a pracovat.

K zaznamenání odpovědi na tato tvrzení je užito Likertovy škály, která se používá pro určení míry stupně souhlasu, či nesouhlasu. Podstata této škály je uvedena v tabulce 5.1

Tvrzení	1 – Rozhodně nesouhlasím	2	3	4	5 – Rozhodně souhlasím
---------	--------------------------	---	---	---	------------------------

Tabulka 5.1. Likertova škála [23]

5.1.2 Dotazník

Dotazník byl vytvořen v elektronické formě ve službě Google Docs a respondentům rozeslán prostřednictvím mailové korespondence v rámci F AIR. Z důvodu, že část instruktorského týmu i studenti ATO pochází ze zahraničí, byla zpráva s průvodním textem a rovněž dotazník s instrukcemi a otázkami šířeny v anglickém jazyce. Primární část, tedy SUS, vyžaduje pro správnou metodiku bezprostřední vyplnění po seznámení se s aplikací, případně po provedení určitého úkolu tak, aby odrážela skutečné pocity bez přílišného přemýšlení. Respondenti tedy v průvodní zprávě, viz příloha B, obdrželi hypertextový odkaz na testovanou aplikaci spolu s odkazem na elektronický dotazník.

5.1.3 Vyhodnocení

Výstupem z instruktorům a žákům předloženého formuláře bylo získáno 16 vyplněných dotazníků.

Kritický prvek UI je zadávání RWY.

5.2 Testování výpočtů

5.2.1 Zvolená metoda

5.2.2 Dotazník

5.2.3 Vyhodnocení

- Participant 1
 - Participant 2
 - Participant 3
 - Participant 4
 - Participant 5

Z výstupu dotazníkového šetření bylo získáno ...

Kapitola 6

Nedostatky a další směřování

6.1 Vyřešené nedostatky

6.1.1 Úprava GUI

Zpětná vazba v rámci testování přinesla návrhy na zlepšení a zpřehlednění především v navigaci uživatelským prostředím. Nejdůležitější byly poznatky týkající se návratu do seznamu letounů a návratu ze stránky výpočtů do stránky s informacemi o letounu a jeho ilustrační fotografií. Za tímto účelem byla přepracována ikona „Hangár“, která možnost návratu do výběru letounů indikuje šipkou umístěnou do ikony. Pro první seznámení s nejdůležitějšími prvky bylo využito komponenty „Snackbar“, která zobrazí vhodné instrukce k prvkům UI.

6.1.2 Úprava volby RWY

Nejpodstatnějším poznatkem ze zpětné vazby byl jistě komentář týkající se volby RWY při výpočtu výkonného vzletu a přistání. Dle poznatku byl proveden re-design celého prvku a nově je tak naprostě zřejmá možnost definování vlastní uživatelské dráhy pomocí položky „Custom“ v rolovacím menu RWY. Po zvolení položky „Custom“ je uživateli zobrazeno nové textové pole do kterého navolí směr dráhy pomocí dvou číslic, či po kliknutí na symbol šipek pomocí tří číslic pro zvýšení přesnosti výpočtů větru a tedy i celkovou přesnost výpočtu.

6.2 Nevyřešené nedostatky

6.2.1 Export PDF na iOS

Nejpodstatnějším a v době psaní práce stále nevyřešeným problémem je špatná podpora exportu výsledků v PDF v systému iOS. Tento oficiálně nahlášený a společností Apple řešený problém se vyskytuje jen v standalone verzi, tedy pokud aplikaci spustíme na instalovanou na ploše iOS zařízení. Pro aktuální informace a možnost testování opravy bude aplikace průběžně testována na zařízení s vývojářskou beta verzí nové aktualizace systému na iOS 13. V této verzi by již dle předběžných informací měla být zvýšena podpora PWA a funkce stahování nebo sdílení PDF by tak již neměla představovat problém.

6.3 Další směřování

6.3.1 Kompletizace

6.3.2 Rozšíření informací o letounech

■ 6.3.3 Implementace databázového systému

Archivace probíhající „v pozadí“ pro uživatele okamžitý přínos nemá, a tak byla během vývoje nejprve upřednostněna implementace exportu z aplikace do zařízení uživatele a ukládání předvolených konfigurací s uložením opět na zařízení uživatele. Funkce archivace dle filozofie EFB je ale užitečným nástrojem pro zpětnou kontrolu, či analýzu provozu v rámci ATO. Takový prvek by však musel zahrnovat implementaci databázového systému v pravém smyslu slova. V databázi by tedy byla uchovávána data z provedených výpočtů. Takové řešení by také umožňovalo zjednodušení správy uložených letišť a letounů, kdy by bylo možné databázi upravovat například ve správcovské aplikaci. Jednalo by se tedy o skutečné back-end řešení s využitím serveru. Pro zavedení této funkce by však bylo nejdříve nutné provést rešerši již využívaných databázových systémů v ATO F AIR.

6.3.4 Risk analýza

6.3.5 Implementace do SOP a OM

Kapitola 7

Závěr

Následující texty kapitoly obsahují shrnutí, poznatky a subjektivní názory autora. Kapitola je tedy na rozdíl od osatních částí práce psána v první osobě. V žádném případě také text nemá vyjadřovat oficiální postoje a názory ATO F AIR spol s r.o.

Shrnutí

Musím i ze své zkušenosti přiznat, že se při předletové přípravě občas zanedbá důkladnější analýza výkonnosti a někdy i výpočty hmotnosti a vyvážení. Mnohdy je to způsobeno rozptýlením, kdy se student soustředí na stav počasí, aktivované prostory, přípravu map, a také tráví čas vyřízováním různých povolení, koordinací letu s řízením provozu, či validací letového plánu. Zejména pokud se přidají ještě další neočekávané faktory, na které je letectví mimořádně štědré, může se stát, že student nevědomky zcela opomene výpočty provést. Opět samozřejmě čerpám i z vlastních chyb, zkušeností a ponaučení.

Aby se takové situace nestávaly, má letecká škola F AIR vypracované SOP tak, aby studenta vedly k bezpečnému a efektivnímu létání. Součástí je mimo jiné *matici přípravy* (matrix) s předletovými úkony, vedoucí k rozhodnutí o provedení, či neprovedení letu. Jednou z položek je provedení výpočtu hmotnosti a vyvážení, se zapsáním vypočítaných hodnot. Dále pak úkon výpočtu výkonnosti, který je nutné opět potvrdit jako provedený. Podpisem stvrzený štítek s maticí se před letem odevzdá dispečinku. Kopii výpočtu výkonnosti i hmotnosti a vyvážení si pak dle provozních postupů musí pilot vzít s sebou na palubu letounu.

I z dat získaných dotazníkovým šetřením však dále vyplývá, že alespoň stručná analýza výkonnosti pro každý let, není u všech z dotazovaných samozřejmá a nejedná se tak o jednorázové opomenutí. Toho jsem si byl vědom po celý praktický výcvik a v okamžiku, kdy jsem dostal příležitost přijít s něčím novým, situaci měnícím, jsem neváhal.

Důvody častého opomíjení analýzy výkonnosti a mnohy i hmotnosti a vyvážení, mi byly od počátku jasné. Výpočty dle AFM jsou nepřehledné a často také zdlouhavé, unavující. Čas a mentální kapacitu, tak student raději věnuje předletovým činnostem, které pro něj mají alespoň z jeho pohledu větší důležitost.

Mým cílem tedy bylo poskytnout nástroj, který by proces několikanásobně urychlil a zpřehlednil. Určitě však nechci snižovat důležitost letové příručky. Student, či jakýkoliv letec, by se v letové příručce svého letadla měl vyznat a být schopen výpočty kvalitně provést. Myslím si však, že je na čase, aby se i výrobci sportovních a výcvikových letadel přeorientovali na řešení poplatná době a nebránili se interaktivním manuálům a aplikacím, které by již byly součástí certifikace letadla.

Další důvod, proč se výkonnosti sportovních a výcvikových letounů často neklade pozornost, je názor, že u takto malých letounů to nemá příliš velký význam, tedy aplikování přístupu „*ono to vždy vychází*“. Oproti velkým dopravním letounům, u kterých mohou být mezi jednotlivými lety obrovské rozdíly ve vzletové hmotnosti i časté změny vnějších podmínek při přeletech do různých podnebí, a tedy značně proměnlivé hodnoty

výkonnostních charakteristik, jsou malé letouny a jejich proměnlivost výkonů, například hodnot pro vzlet, opravdu méně kritické. I tato odlišnost je jeden z důvodů rozdělení na komplexní a nekomplexní letouny, které používá AIR OPS.

Jsou však situace ve kterých může být nedbalá příprava a výpočty značným problémem, větším než si někdo s laxnejším přístupem může myslet. Důležité výkonnostní charakteristiky jsou totiž také ty, které se týkají stoupavosti, dostupu a dalších parametrů důležitých na trati. Gradient stoupání, dostup a podobné parametry jsou velice důležité pro bezpečný odstup od překážek a dodržování publikovaných tratí, například SID.

Během přístrojového létání v rámci výcviku jsem tak pochopil, jak zásadní je důkladná příprava a poctivé počítání. Důležitá z mého pohledu je především fáze nezdařeného přiblížení nebo odlet, kdy je nižší výkonnost výcvikových letounů opravdu značná. Odlet z náročnějšího letiště, jako je například Innsbruck, se tak při nedostatečné výkonnosti může stát velice nepříjemnou zkušeností. Pilot, který by se nedostatečně připravil, by totiž neměl pro pohodlné vyřešení situace dostatečné situační uvědomení (SITAW), a o to mi od začátku šlo především.

Má představa byla taková, že pokud zajistím celkové zpřístupnění dané tématiky a poskytnu pilotovi snadno dostupné informace, bude lépe připravený, což se promítne právě na zvýšeném situačním uvědomění. Pozitivní vliv na psychické rozpoložení také bude mít fakt, kdy do letadla vstoupí s vědomím, že poctivě provedl všechny úkony spojené s přípravou letu.

Již během úvodních měsíců práce na projektu jsem získával pozitivní reakce na zvolené téma, kdy by většina studentů zamýšlenou aplikaci vřele uvítala a ráda používala již dříve, neboť si něco podobného přestavovali již během předchozích částí výcviku, a nyní by se tak konečně dočkali. Osobně si myslím, že podobný systém opravdu mohl vzniknout již dříve. Pro jeho vývoj je však nutné mít přehled nejen v letectví, ale také jisté technické základy týkající se programování. Těch se mi dostalo během předchozího studia na chomutovské průmyslové škole a bez kterých bych se do tohoto tématu jistě neodvážil.

Až během práce na projektu jsem začal postupně zjišťovat, jak moc všeobecnou technologií webové aplikace a především PWA jsou. Příkladem může být v době finalizování práce čerstvě oznámené rozšíření podpory PWA v prohlížeči Google Chrome. Aplikace vytvářené dle této pokrokové technologie, je tedy již možné instalovat do standalone režimu i na desktop zařízeních Chrome OS, Linux, Mac a samozřejmě i Windows. Nástroj prezentovaný v této práci, tak v případě nasazení do provozu bude opravdu multiplatformní a instalovatelný pro použití bez internetového připojení, při zachování identického vzhledu a ovládání. Počáteční risk, kdy jsem se odvážil pro použití ne úplně běžných a prozkoumaných technologií se tedy vyplatil.

Pro úspěšné dokončení práce bylo potřebné nastudovat mnoho materiálů a naučit se pracovat s postupy a dalšími technickými záležitostmi, se kterými jsem měl poměrně málo nebo i žádné zkušenosti. Poprvé jsem si také vyzkoušel akademické psaní odborných prací, které mi velice usnadnila tato plainTEX šablona od pana RNDr. Petra Olšáka. Myslím si tak, že se mi desetiměsíční práce na projektu i díky podpoře rodiny, přátel a odborných vedoucích vydařila.

Literatura

- [1] EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY. *Commission Regulation (EU) No 965/2012 on air operations and associated EASA Decisions.* 1. vyd. European Aviation Safety Agency, 2019 [vid. 12. 7. 2019]. Dostupné též na <https://easa.europa.eu/document-library/general-publications/easy-access-rules-air-operations>.
- [2] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. [vid. 15. 7. 2019]. Dostupné též na <https://icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>.
- [3] EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY. [vid. 16. 7. 2019]. Dostupné též na <https://easa.europa.eu/the-agency/the-agency>.
- [4] EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE. *Nařízení Evropského Parlamentu a Rady 2018/1139.* 2018 [vid. 16. 7. 2019]. Dostupné též na <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1566420518927&uri=CELEX:32018R1139>.
- [5] EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY. *Regulations.* [vid. 16. 7. 2019]. Dostupné též na <https://easa.europa.eu/regulations>.
- [6] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. *Annex 6 – Rules of the Air.* 10. vyd. International Civil Aviation Organization, 2005 [vid. 29. 7. 2019]. ISBN 978-92-9231-459-0.
- [7] EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE. *Nařízení Evropského Parlamentu a Rady (ES) č. 2008/216.* 2008 [vid. 16. 7. 2019]. Dostupné též na <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32008R0216>.
- [8] MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. *LETECKÝ PŘEDPIS L14 – LETIŠTĚ.* Letecká informační služba. [vid. 14. 7. 2019]. Dostupné též na <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>.
- [9] SKYBRARY. *Aircraft Performance.* [vid. 17. 7. 2019]. Dostupné též na https://skybrary.aero/index.php/Aircraft_Performance.
- [10] CAE OXFORD AVIATION ACADEMY. *Mass and balance, Performance.* CAE Oxford Aviation Academy, 2014 [vid. 20. 7. 2019].
- [11]
- [12] COSTRUZIONI AERONAUTICHE TECNAM S.P.A. *Aircraft Flight Manual – TECNAM P2008 JC.* 2. vyd. Costruzioni Aeronautiche TECNAM S.P.A., 2019 [vid. 2. 8. 2019].
- [13] S.A.S, Airbus. *A350 EFB Mounting Device.* [vid. 10. 8. 2019]. Dostupné též na <https://services.airbus.com/en/flight-operations/system-upgrades/electronic-flight-bag/a350-efb-mounting-device.html>.
- [14] JEPPESEN BOEING COMPANY. *Microsoft Store – Boeing Onboard Performance Tool.* [vid. 1. 8. 2019]. Dostupné též na

- <https://microsoft.com/en-us/p/onboard-performance-tool/9nblggh4vcs5?activetab=pivot:overviewtab>.
- [15] NAVBLUE AIRBUS COMPANY. *Flysmart+*. [vid. 1. 8. 2019]. Dostupné též na <https://navblue.aero/product/flysmart-plus/>.
- [16] GYRONIMO. [vid. 17. 8. 2019]. Dostupné též na <https://gyronimo.com>.
- [17] PROFLITE. [vid. 1. 8. 2019]. Dostupné též na <http://boburschel.com/page1/index.html>.
- [18] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. *Doc 10020, Manual on Electronic Flight Bags (EFBs)*. 2. vyd. International Civil Aviation Organization, 2018 [vid. 12. 7. 2019]. ISBN 978-92-9249-887-0.
- [19] PARALLAX. [vid. 15. 8. 2019]. Dostupné též na <https://parall.ax/products/jspdf>.
- [20] GOOGLE. *Lighthouse tool*. [vid. 2. 8. 2019]. Dostupné též na <https://developers.google.com/web/tools/lighthouse/>.
- [21] SKYBRARY. *Altimeter Pressure Settings*. [vid. 14. 8. 2019]. Dostupné též na https://skybrary.aero/index.php/Altimeter_Pressure_Settings.
- [22] SAURO, Jeff. *MEASURING USABILITY WITH THE SYSTEM USABILITY SCALE (SUS)*. MeasuringU, 2011 [vid. 19. 7. 2019]. Dostupné též na <https://measuringu.com/sus/>.
- [23] BROOKE, John. *SUS - A quick and dirty usability scale*. [vid. 19. 7. 2019]. Dostupné též na <https://hell.meiert.org/core/pdf/sus.pdf>.

Zkratky a symboly

AD	Letiště, letištní – Aerodrome
AFM	Letová příručka letadla – Aircraft flight manual
AIP	Letecká informační příručka – Aeronautical information publication
AMC	Přijatelné způsoby průkazu – Acceptable means of compliance
AMSL	Nad střední hladinou moře – Above mean sea level
API	Rozhraní pro programování aplikací – Application programming interface
APP	Aplikace (mobilní) – Application (mobile)
ARP	Vztažný bod letiště – Aerodrome reference point
ASD	Délka přerušeného vzletu – Accelerate-stop distance
ASDA	Použitelná délka přerušeného vzletu – Accelerate-stop distance available
ATO	Schválená organizace pro výcvik – Approved training organisation
BEW	Základní prázdná hmotnost – Basic empty weight
CAT	Obchodní letecká doprava – Commercial air transport
CG	Těžiště – Centre of gravity
CS	Certifikační specifikace – Certification specifications
CSS	Jazyk kaskádových stylů – Cascading style sheets
CSV	Hodnoty oddělené čárkami – Comma-separated values
CWY	Předpolí – Clearway
ČR	Česká republika – Czech Republic
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze – Czech Technical University in Prague
DER	Odletový konec dráhy – Departure end of the runway
EASA	Evropská agentura pro bezpečnost letectví – European aviation safety agency
EFB	Elektronická letová aktovka – Electronic flight bag
ES	Evropské společenství – European communities
EU	Evropská unie - European union
FMS	Systém pro řízení a optimalizaci letu – Flight management system
FPM	Stopa za minutu – Feet per minute
ft	Stopa (měrová jednotka) – Feet (dimensional unit)
ft/min	Stopa za minutu – Feet per minute
GA	Všeobecné letectví – General aviation
gal	US galon – US gallon
GM	Poradenský materiál – Guidance material
GNSS	Globální navigační družicový systém – Global navigation satellite system
GUI	Grafické uživatelské rozhraní – Graphical user interface
GW	Celková hmotnost – Gross weight
HMI	Rozhraní člověk–stroj – Human-machine interface
hPa	Hektopascal – Hectopascal
HTML	Textový značkovací jazyk – Hypertext markup language
HW	Čelní vítr – Headwind

IAS	Indikovaná vzdušná rychlosť – Indicated airspeed
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví – International civil aviation organization
IDE	Integrované vývojové prostředí – Integrated development environment
IFR	Pravidla pro let podle přístrojů – Instrument flight rules
IR	Prováděcí pravidla – Implementing rules
ISA	Mezinárodní standardní atmosféra – International standard atmosphere
JS	JavaScript
JSON	Java-scriptový objektový zápis – Java script object notation
kg	Kilogram – Kilogram
kt	Knot, Uzel – Knot
L/h	Spotřeba paliva za hodinu – Fuel consumption per hour
LD	Délka přistání – Landing distance
LDA	Použitelná délka přistání – Landing distance available
LR	Délka dojezdu – Landing roll
LW	Přistávací hmotnost – Landing weight
m	Metr (měrová jednotka) – Metre (dimensional unit)
MAC	Střední aerodynamická tětiva – Mean aerodynamical chord
MAP	Plnící tlak – Manifold pressure
MLW	Maximální přistávací hmotnost – Maximum landing weight
MOPSC	Maximální provozní konfigurace sedadel pro cestující – Maximum operational passenger seating configuration
MRW	Maximální hmotnost na stojánce – Maximum ramp weight
MSL	Střední hladina moře – Mean sea level
MTOW	Maximální vzletová hmotnost – Maximum take-off weight
NM	Námořní míle – Nautical mile
NM/L	Námořní míle na litr paliva – Nautical mile per liter of fuel
OAT	Venkovní teplota vzduchu – Outside air temperature
OIS	Palubní informační systém – Onboard information system
OM	Provozní příručka – Operations manual
OSN	Organizace spojených národů – United Nations (UN)
PA	Tlaková nadmořská výška – Pressure altitude
PDF	Přenosný formát dokumentů – Portable document format
PED	Přenosné elektronické zařízení – Portable electronic device
POH	Provozní příručka pilota – Pilot's operating handbook
PWA	Progresívna webová aplikace – Progressive web application
QNH	Atmosferický tlak redukovaný na MSL – Atmospheric pressure adjusted to MSL
ROC	Stoupavost – Rate of climb
RPM	Otačky za minutu – Revolutions per minute
RWY	Vzletová a přistávací dráha – Runway
SARP	Standarty a doporučené postupy – Standards and recommended practices
SITAW	Situaciní uvědomění – Situational awareness
SOP	Standardní provozní postupy – Standard operating procedures
SUS	Škála použitelnosti systému – System usability scale
SWY	Dojezdová dráha – Stopway
TAS	Pravá vzdušná rychlosť – True airspeed
THR	Práh dráhy – Threshold
TOD	Délka vzletu – Take-off distance

TODA	■ Použitelná délka vzletu – Take-off distance available
TOR	■ Délka rozjezdu – Take-off run
TOA	■ Použitelná délka rozjezdu – Take-off run available
TOW	■ Vzletová hmotnost – Take-off weight
TW	■ Zadní vítr – Tailwind
ÚCL	■ Úřad pro civilní letectví – Civil aviation authority
URL	■ Uniform resource locator
UX	■ Uživatelská zkušenost – User experience
VFR	■ Pravidla pro let za viditelnosti – Visual flight rules
\$	■ Americký dolar (USD) – American Dollar (USD)
%	■ Procento (gradient) – Percent (gradient)
°C	■ Stupeň Celsia – Degree Celsius

Příloha A

Korespondence se spol. Gyronimo



Zbysek Petrik <zbysek.petrik@gmail.com>

Performance, UNI thesis

Počet zpráv: 3

Zbysek Petrik <zbysek.petrik@gmail.com>
Komu: info@gyronimo.com

15. července 2019 0:18

Dear Gyronimo,
I am a university apl(a) student working on my bachelor thesis focused on performance calculations. My task is to develop simple tool for students, so they can do their m&b and perf calculations of Tecnam fleet we use. During my research for the thesis I've found your company and your great iPad solutions. The requirement for the tool though is multiplatform use as only minority of students can afford iPad device for the training here in CZ. I would like to kindly ask you if I can mention your company and apps in research section of my thesis. Also my big concern is whether there is a chance of obtaining tabulated perf data for Piper aircraft (we use one PA28 for IFR training) or this must be done in some kind of software graphical computing out of AFM charts.
Have a nice day!

Yours sincerely,

Zbysek Petrik
CTU in Prague

info@gyronimo.com <info@gyronimo.com>
Komu: Zbysek Petrik <zbysek.petrik@gmail.com>

16. července 2019 16:53

Dear Zbysek,

Thank you very much for your email. Yes, you can mention us in your research, we would be delighted.
Unfortunately we can not provide the requested performance data, since we keep them for our product exclusively.
We will soon launch a new app called 'Flight Pad' that also integrates Tecnam aircrafts (2006, 2008, 2010)
Once our new Flight Pad is online we will send you a redeem code so you can test the app free of charge,
it would be great to hear your feedback.

Thank you very much, all the best for your thesis
Stephanie

GYRONIMO, LLC
iPad & iPhone Apps for Weight & Balance and Performance

Stephanie Ahlen, Operations Manager
6424 E Greenway Pkwy
Suite 100
Scottsdale, AZ 85254
info@gyronimo.com
www.gyronimo.com
[Citovaný text by skryt]

Zbysek Petrik <zbysek.petrik@gmail.com>
Komu: "info@gyronimo.com" <info@gyronimo.com>

17. července 2019 11:09

Dear Stephanie,

Thank you for your kind reply. I will mention you in the best meaning of course as a great product.
I would be pleased to have the opportunity of testing your app.
Have a nice day and best wishes with your new products!

Yours Sincerely,
Zbysek Petrik

Příloha B

Průvodní zpráva uživatelského testování



Zbysek Petrik <zbysek.petrik@gmail.com>

Testing of performance and W&B calculation app

Zbysek Petrik <zbysek.petrik@gmail.com>
Komu: Bartůnek Filip <Bartunek@f-air.cz>

13. srpna 2019 2:32

Dear students and instructors,

hereby presented application aims to deliver new comprehensive tool for pre-flight briefing within F AIR school. It is designed to be easy to use and time-saving solution.
Application which is presently in testing phase however needs to be evaluated by future users to eliminate potential flaws.

I kindly ask you to try out the app and fill in the related questionnaire afterwards. Your feedback is highly appreciated. Current version contains fully working example of P2008JC aircraft.
Presently known flaw is presence of "non-smooth" animations on android devices which will be solved once update of internal design library is available.

> Application < > questionnaire <

Development is a part of bachelor thesis at ČVUT.

Thank you,

Zbyšek Petřík