

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Optimalizace režimu doplňování pohonných hmot
do letadel

Optimization of Aircraft Refueling Process

Student:

Ondřej Musil

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vojtěch Graf

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Musil**

Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy

Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy

Téma: **Optimalizace režimu doplňování pohonných hmot do letadel**
Optimization of Aircraft Refueling Process

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretická východiska řešení
3. Analýza vstupních dat pro optimalizační výpočet
4. Návrh řešení
5. Zhodnocení dosažených výsledků
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. EISLER, J.: Úvod do ekonomiky dopravy. Praha: CODEX Bohemia s.r.o., 1998. ISBN 80-85963-54-X
2. PRŮŠA, J. A KOL.: Svět letecké dopravy. Praha: Galileo CEE Service ČR s.r.o., 2007. ISBN 978-80-239-9206-9

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vojtěch Graf**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

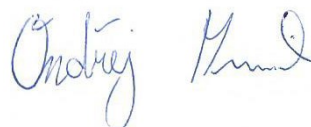


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2015

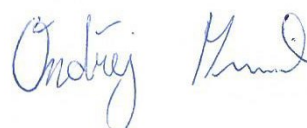
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ondřej Kůrka', written in a cursive style.

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2015



Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce

Ondřej Musil

Adresa trvalého pobytu autora práce

Velká Strana 30

Háj ve Slezsku 747 92

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MUSIL, O. *Optimalizace režimu doplňování pohonných hmot do letadel*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2015, 72 s., Vedoucí práce: Graf, V.

Cílem předložené bakalářské práce je popsat a porovnat metody výpočtu tankování optimálního množství paliva na nejvýhodnějším letišti.

Úvod práce bude věnován charakteristice používaných pohonných hmot, provozním nařízením, omezením a dalším faktorům ovlivňujícím let.

Další část této práce bude zaměřena na optimalizaci plánování paliva pro let. Bude zde popis programu, který se využívá při plánování letů a také zde bude popsána metoda tankering.

V závěru práce bude specifikován využitý letoun a rovnice metody tankering. Dále zde budou prezentovány výsledky získané v praktické části založeny na experimentech provedených v plánovacím programu LIDO a manuálních výpočtech potřebného množství paliva.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MUSIL, O. *Optimization of Aircraft Refueling Process*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2015, 72 p., Thesis head: Graf, V.

The aim of bachelor thesis is to describe and compare calculation methods of tanking optimal amount of fuel at the most efficient airport.

The introduction of this thesis will be dedicated to characteristic of the currently used fuel, operational regulations, limitations and other factors affecting flight.

Next part of the thesis will be focused on the optimization of fuel planning. There will be description of software, which is used for flight planning and description of tankering method as well.

In the end of thesis will be specified the aircraft and equations of tinkering method. Further there will be presented results achieved in practise part, based on the experiments made in planning software LIDO and manual calculations of required amount of fuel.

Obsah

Obsah.....	6
Seznam použitých zkratek.....	9
1. Úvod.....	14
2. Pohonné hmoty pro leteckou dopravu.....	16
2.1 Výroba	16
2.2 Vlastnosti leteckých pohonných hmot.....	17
2.3 Letecký petrolej	19
2.3.1 JET A-1	20
2.3.2 JET A.....	21
2.3.3 JET B.....	21
2.3.4 TS – 1	22
2.4 Letecký benzín.....	22
2.5 Nafta.....	23
2.6 Alternativní druhy paliv	23
2.6.1 Syntetická paliva	23
2.6.2 Obnovitelná letecká paliva	23
2.6.3 Další alternativní paliva.....	24
3. Faktory ovlivňující let.....	25
3.1 Odmrazování.....	26
3.2 Cost index	28
3.3 Dostup letounu.....	28
3.4 Spotřeba	29
3.5 Cena leteckých pohonných hmot.....	29
4. Provozní omezení a nařízení	32
4.1 Hmotnostní limity a omezení.....	32

4.1.1	Základní prázdná hmotnost (Basic Empty Weight, BEW)	32
4.1.2	Prázdná hmotnost (Empty Weight, EW)	32
4.1.3	Prázdná provozní hmotnost (Dry Operating Weight, DOW)	32
4.1.4	Prázdný operativní index (Dry Operating Index, DOI)	33
4.1.5	Provozní hmotnost (Operating Weight, OW)	33
4.1.6	Provozní náklad (Traffic Load, TL)	33
4.1.7	Prázdná hmotnost letounu (Zero Fuel Weight, ZFW)	33
4.1.8	Hmotnost před zahájením pojiždění (Taxi Weight, TW)	33
4.1.9	Vzletová hmotnost (Take-off Weight, TOW)	34
4.1.10	Přistávací hmotnost (Landing Weight, LW)	34
4.2	Publikované délky drah jsou:	34
4.2.1	TORA (Take Off Run Available)	34
4.2.2	TODA (Take Off Distance Available)	35
4.2.3	LDA (Landing distance Available)	35
4.2.4	ASDA (Accelerate Stop Distance Available)	35
4.3	Výpočet paliva a povinné zákonné rezervy	35
4.3.1	Palivo na pojiždění – Taxi Fuel	36
4.3.2	Trat'ové palivo – Trip Fuel	36
4.3.3	Palivo pro nepředvídatelné okolnosti – Contingency Fuel	36
4.3.4	Palivo pro let na náhradní letiště – Alternate Fuel	37
4.3.5	Konečná záloha paliva – Final Fuel Reserve	37
4.3.6	Minimální dodatečné palivo – Minimal Additional Fuel	37
4.3.7	Mimořádné palivo – Commander Fuel	38
4.3.8	Tank extra	38
5.	Plánování a optimalizace paliva pro let	39
5.1	Systém pro plánování letů LIDO	39
5.2	Tankering	43

5.2.1	Přínos metody tankering.....	43
6.	Praktická část	45
6.1	Specifikace letounu	45
6.2	Základní výpočet paliva potřebného na let.....	47
6.2.1	Stoupání (Climb)	47
6.2.2	Let v hladině (Cruise).....	49
6.2.3	Sestup (Descent).....	50
6.2.4	Vyčkávání (Holding).....	52
6.3	Algoritmus výpočtu tankeringu	54
6.3.1	1. Krok o rozhodnutí, zda je výhodné použít tankering	54
6.3.2	2. Krok – generovaný zisk nebo ztráta	55
6.3.3	3. Krok – Konečné úspory	56
6.4	Výpočet.....	57
6.4.1	Elektronické výpočty.....	57
6.4.2	Manuální výpočet paliva pro let a užití tankeringu.....	59
7.	Přepočty leteckých jednotek na jednotky SI	65
8.	Závěr	66
9.	Seznam použité literatury.....	68
	Seznam použitých obrázků.....	71
	Seznam použitých tabulek.....	72

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Anglický název	Český název
ADDT _{BAS}		Základní dodatečné palivo (kg)
ADDT _{TANK}		Dodatečné palivo při metodě tankering (kg)
AFM	Aircraft Flight Manual	Letová příručka
AFQRJOS	Aviation fuel quality requirements for jointly operated systems,	Požadavky na kvalitu leteckého paliva pro společně provozované systémy
ALT _{BAS}		Základní palivo potřebné na let na záložní letiště (kg)
ALT _{TANK}		Palivo potřebné na let na záložní letiště při využití metody tankering (kg)
ASDA	Accelerate Stop Distance Available	Délka použitelná při přerušeném vzletu (m)
ASTM	American Society for Testing and Materials	Americká společnost pro testování a materiály
B	Benefit	Benefit, prospěch (USD)
BEW	Basic Empty Weight	Základní prázdná hmotnost (kg)
BF	Block Fuel	Využitelné palivo (kg)
BTL	Biomass To Liquid	Biomasa na kapalinu
CG	Center of Gravity	Těžiště
CI	Cost Index	Index nákladů
CONT _{BAS}		Základní Záložní palivo potřebné na let (kg)
CONT _{TANK}		Palivo potřebné pro nepředvídatelné události při využití metody tankering (kg)
CT	Cost of Transport	Cena přepravy nadbytečného paliva (USD)
CTL	Coal To Liquid	Zkapalňování uhlí

ČSA		České aerolinie, a. s.
DEF STAN	Defence standard	Označení palivových standardů v Anglii
DH	Decision Height	Výška rozhodnutí (m)
DOI	Dry Operating Index	Index prázdné provozní hmotnosti
DOW	Dry Operating Weight	Prázdná provozní hmotnost (kg)
ETOPS	Extended-range Operational Standards	Twin-engine Performance Standards Rozšířené provozní výkonnostní standardy pro let na dlouhé vzdálenosti pro dvoumotorové letounu.
EW	Empty Weight	Prázdná hmotnost (kg)
F		Množství paliva (kg)
F _{BENEFIT}	Fuel Benefit	Benefit na palivu (kg)
FCOM	Flight Crew Operational Manual	Provozní manuál pro letovou posádku
F _{FLOW}		Průměrná spotřeba paliva (kg·h ⁻¹)
FL	Flight Level	Letová hladina
FRSV _{BAS}		Základní konečná rezerva paliva potřebná na let (kg)
FRSV _{TANK}		Konečná rezerva paliva při užívání metody tankering (kg)
FS	Final Savings	Konečné úspory (USD)
ft	Feet	Stopa
GTL	Gas To Liquid	Plyn na kapalinu
Hod.		Hodina
HOLD _{BAS}		Základní palivo potřebné na vyčkávání (kg)
HOLD _{TANK}		Palivo potřebné na vyčkávání při využití tankeringu (kg)
HRJ	Hydrotreated Renewable Jet	Hydrogenované obnovitelné palivo
IAS	Indicated Air Speed	Indikovaná vzdušná rychlost (kt)

IATA	International Air Transport Association	Mezinárodní sdružení leteckých dopravců
ICAO	International Civil Organization Organization	Mezinárodní organizace pro leteckou dopravu
ISA	International Standard Atmosphere	Mezinárodní standardní atmosféra
IT		Informační technologie
KOH		Hydroxid draselný
L	Loss	Ztráta ($\text{USD}\cdot\text{t}^{-1}$)
LDA	Landing Distance Available	Délka použitelná pro přistání (m)
LIDO	Lufthansa Integrated Dispatch Operation	Plánovací software
LPH		Letecké pohonné hmoty
LW	Landing Weight	Přistávací hmotnost (kg)
m		metr
MDA	Minimum Decision Altitude	Minimální nadmořská výška rozhodnutí (m)
MJ		Mega Joule
MRW	Maximum Ramp Weight	Maximální přípustná hmotnost před zahájením poježdění (kg)
MSLW	Maximum Structural Landing Weight	Maximální konstrukční přistávací hmotnost (kg)
MSTOW	Maximum Structural Take-off Weight	Maximální konstrukční vzletová hmotnost (kg)
MZFW	Maximum Zero Fuel Weight	Maximální přípustná hmotnost bez paliva (kg)
N		Newton
N1		Nastavení otáček kompresoru (%)
NATO	North Atlantic Treaty Organization	Severoatlantická aliance
NOTAM	Notice to Airman	Poznámka pro letce
OFP	Operational Flight Plan	Operační letový plán
OW	Operating Weight	Provozní hmotnost (kg)

P_{DEP}		Cena paliva na letišti vzletu (USD·USG ⁻¹)
P_{DEST}		Cena paliva v destinaci (USD·USG ⁻¹)
PD_R	Price Differential Required	Požadovaný cenový rozdíl (USD·kg ⁻¹)
PD_{REAL}	Price Differential Real	Reálný cenový rozdíl (USD·kg ⁻¹)
P_{FUEL}	Price Fuel	Cena za palivo (US centy/libru)
PL	Pay Load	Obchodní zatížení (kg)
pS		Piko Siemens
P_{TIME}	Price Time	Cena času (USD·hod ⁻¹)
RW	Ramp Weight	Hmotnost na odbavovací ploše (kg)
RWY	Runway	Vzletová a přistávací dráha
S	Savings	Úspory (USD)
S_{MIN}		Minimální úspory (USD·t ⁻¹)
T	Block Time	Doba letu (hod.)
TAF	Terminal Aerodrome Forecast	Předpověď počasí pro letiště
TAS	True Air Speed	Pravá vzdušná rychlost (kt)
TF	Trip Fuel	Palivo na let (kg)
TODA	Take-off Distance Available	Délka použitelná pro vzlet (m)
TORA	Take-off Run Available	Délka použitelná pro rozjezd při vzletu (m)
TOW	Take-off Weight	Vzletová hmotnost (kg)
Trip _{BAS}		Základní množství paliva spotřebované na let (kg)
Trip _{TANK}		Množství paliva spotřebované na let při využití tankeringu (kg)
TW	Taxi Weight	Hmotnost při pojíždění (kg)
UL	Useful Load	Užitné zatížení (kg)
US	United States	Spojené státy
USA	United States of America	Spojené státy americké

USD	United States Dolar	Americký dolar
USG	United States Galon	Americký galon
UTC	Universal Time Coordinated	Světový koordinovaný čas
ZFWFact		ZFW hmotnost letounu v tunách vydělená hodnotou 1000
	Cost viewer	Přehled nákladů
	Distance	Vzdálenost (m, km)
	FUEL	Palivo (kg)
	Handling	Odbavení
	IDLE	Volnoběh
	Loadsheel	Nákladový list
	Low Cost	Nízkonákladový
	Retail Factor	Faktor nadměrného opotřebování
	TIME	Čas
	Trip time	Doba letu (s)

1. Úvod

V počátcích létání, tedy po roce 1903 a následně při prvotním vývoji letadel, který zaznamenal největší rozmach v období světových válek, nehrála cena leteckého paliva nijak významnou roli, jelikož lety byly prováděny hlavně experimentálně, anebo pod záštitou armády. Největší rozvoj letectví nastal při 1. a 2. světové válce, protože se jednalo o nový způsob válčení. Všechny strany měly zájem, aby vzdušnému prostoru dominovaly a byly vždy o krok před nepřítelem. To mělo za následek velký přísun finančních zdrojů ze strany vlády státu, určených pro vývoj nových letadel a následné létání v těchto strojích. Problémy, kde a za jakou cenu se palivo nakoupí, se v této době nebraly v potaz.

Po ukončení 2. světové války a ustálení komerčního civilního provozu se začalo objevovat čím dál více dopravců, kteří přicházeli na trh za účelem provozování letecké přepravy osob či jiného nákladu za úplatu. Letectví se stalo dostupnější a jeho využitelnost se posunula blíže širší veřejnosti. Jelikož se jednalo o nové odvětví, otevřené pro všechny, rychle se zvyšovala i konkurence mezi nově vzniklými leteckými společnostmi.

V průběhu let se vyvíjely různé metody pro získávání nových zákazníků nebo vzájemného konkurenčního boje o stávající zákazníky. Většina z těchto konkurenčních nástrojů byla přínosem pro cestující. Jako příklad může sloužit zlepšování komfortu letadel zvyšováním pohodlí sedadel, instalací klimatizačních systémů, omezení hlučnosti v kabině, zvyšováním bezpečnosti, poskytováním různých doplňkových služeb jak na palubě, tak i na letišti např. prodej občerstvení, dárkových předmětů, suvenýrů a také velmi podstatné snižování cen přepravy.

Snižování cen není jednoduchá záležitost a je možné pouze v určitých případech, závislých na mnoha faktorech. Jedním z nich, nejvíce proměnlivým je cena a efektivní využití paliva. V dnešní době je tento problém velmi často řešen, a to hlavně u Low Cost dopravců, pro které jsou nízké náklady nezbytné pro fungování na trhu. Efektivní využívání paliva zaručí letecké společnosti ekonomičtější provoz, a tím i následné snižování nákladů.

V současnosti se pro velká dopravní letadla používá převážně letecké palivo JET A-1, jehož ceny se na různých letištích a u různých poskytovatelů, kterých je mnoho, podstatně liší. Důležité je pro provozovatele tedy uvážit kde, jaké množství a za jakou cenu bude palivo tankovat, aby dosáhl co nejvyšší možné úspory a mohl tím aktivně snižovat celkové náklady na let. K řešení tohoto problému se používají různé optimalizační procesy, které jsou nezbytné k docílení správného výsledku. Při využití různých metod, např. tankeringu je

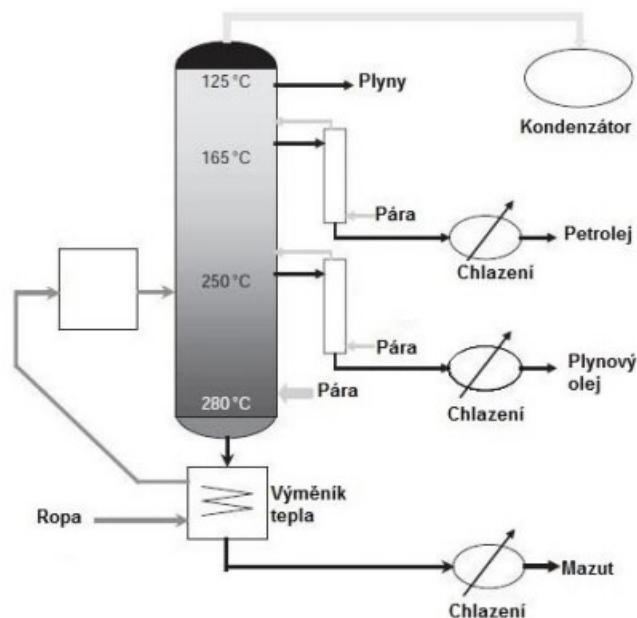
možno dosáhnout poměrně velkých úspor, proto soudobé letecké společnosti operující na trhu věnují těmto otázkám dostatečnou pozornost.

2. Pohonné hmoty pro leteckou dopravu

V současné době se v letectví využívají dva základní druhy paliva a to letecký petrolej a letecký benzín. Existuje mnohem více druhů, avšak většina z nich je stále vyvíjena, testována, anebo používána v menší míře, hlavně k experimentálním účelům. Takovým palivem je například Wide-cut, určený výhradně pro pozemní turbíny. V současné době jsou snahy o využívání alternativních paliv, jakými mohou být např. zkapalněný vodík, zkapalněný zemní plyn a paliva s vysokým obsahem ethanolu.

2.1 Výroba

Převážné množství leteckých paliv užívaných v současné době se vyrábí destilací z ropy. Pomocí frakční destilace se provádí oddělování jednotlivých složek ropy, které lze vidět na obr. č. 2.1. Tyto složky se liší hlavně teplotou varu.



Obr. č. 2.1 Destilační kolona [1]

Produktem destilace jsou petrolejová frakce (petrolej), benzínová frakce, uhlovodíkové plyny (propan, butan), plynový olej (motorová nafta) a destilační zbytek (mazut).

Letecký petrolej a letecký benzín se následně získávají pomocí úpravy petrolejové a benzínové frakce.

Po vyrobení je palivo opatřeno certifikátem, který ho doprovází při jeho přepravě [1].

2.2 Vlastnosti leteckých pohonných hmot

Během letu je letoun a tedy i palivo vystavováno velkým změnám podmínek okolní atmosféry, jako například teplotě a atmosférickému tlaku vzduchu. Proto se v průběhu 40. let 20. století začaly vytvářet nařízení a požadavky na vlastnosti a kvalitu leteckých pohonných hmot, dnes známé například jako požadavky DEF STAN 91-91 (Jet A-1), ASTM specifikace D1655 (Jet A-1), IATA Guidance Material (Kerosene Type), NATO kód F-35. Tyto požadavky jsou vydávány státními a mezinárodními organizacemi. Tato myšlenka se objevila poprvé ve 40. letech 20. století.

Hlavní parametry ovlivňující kvalitu LPH:

Mechanické nečistoty ($mg \cdot l^{-1}$) – v palivu se mohou vyskytovat v podobě usazenin, prachu ze stěn cisterny, vláken, mikroorganismů apod. Nebezpečí při výskytu těchto nečistot je ohrožení funkce a také riziko poškození některé části palivové soustavy (ucpání palivových filtrů), což má za důsledek snížení dodávky paliva a to může vést až k úplnému vysazení pohonných jednotek.

V rafinérii má palivo ideální kvalitu, kterou často ztrácí při přepravě. Z důvodu minimalizace výskytu mechanických nečistot, působení vnějších vlivů (vysoká okolní teplota), je třeba dbát na skladovací technologie a čerpací zařízení.

Množství nečistot se stanovuje za pomoci vakuové filtrace, kdy se použije filtrační papírek, který se následně vysuší a z něj se změří množství zachycených mechanických nečistot [2].

Celková kyselost ($mg KOH \cdot g^{-1}$) – kyselost paliv je snaha snižovat, protože čím vyšší je kyselost, tím je i vyšší korozivní napadání vnitřních částí motoru [3].

Obsah aromatů (%) – je cílem tuto veličinu snižovat, protože díky obsahu aromatů v palivě se tvoří saze a tím působí erozivně na turbínu [4].

Celkový obsah síry (%) – letecké palivo nesmí způsobovat korozi. Problém je přítomnost síry v palivu, která způsobuje korozi. Síra je primárně odstraňována již při výrobě paliva, nicméně existují sloučeniny, jako např. sirovodík (H_2S), které vznikají za činnosti mikroorganismů [2].

Bod vzplanutí ($^{\circ}C$) – teplota, při které jsou páry nad vzorkem tak koncentrované, že při kontaktu se zkušebním plamínkem dočasně vzplanou. Tato teplota se určuje na základě

normovaných postupů, které se liší jak provedením, tak i použitým zařízením (bod vzplanutí v uzavřeném/ otevřeném prostoru).

Tento parametr je základním kritériem popisujícím náchylnost ropných produktů ke vznícení a také pro řazení látek do tříd hořlavosti [5].

Hustota ($kg\cdot m^{-3}$) – vyjadřuje hmotnost objemové jednotky paliva. Hustota je veličina, která se u paliva výrazně mění při změně teploty. Na hustotě je dále závislý také objem paliva [1].

Bod krystalizace ($^{\circ}C$) - teplota látky, při které se v celé vrstvě látky začnou vytvářet krystalky parafínů.

Bod tuhnutí ($^{\circ}C$) – je teplota, při které je daná látka za podmínek stanovených normou natolik pevná, že přestane téci. Teplota přeměny ze skupenství kapalného ve skupenství pevné je závislá na chemickém složení a čistotě měřené látky

V palivu jsou obsaženy různé řetězce uhlovodíků, které se liší svým bodem tuhnutí. Proto palivo nezamrzne při jedné konkrétní teplotě, ale tuhne postupně. Se snižující se teplotou kapalné palivo zprvu zhoustne a stane se z něho mazlavá hmota, která může celá zamrznout [6].

Viskozita ($N\cdot s\cdot m^{-2}$) – charakterizuje vnitřní tření kapalin a užívá se pro vyjádření míry tekutosti paliva. Tento údaj ovlivňuje snadnost rozprašování a čerpatelnost paliva. Doplňující informace může být vyjádření této veličiny při různých teplotách [1].

Výhřevnost ($MJ\cdot kg^{-1}$) – jedná se o energetický parametr paliva. Výhřevnost je závislá na poměru uhlovodíků, ze kterých jsou nejvíce vyhovující alkany a cykloalkany. Nejméně vyhovující jsou aromáty, které se omezují z důvodu sazí, vznikajících při jejich spalování [2].

Teplotní (termická) stabilita (*normovaná stupnice*) – vyjadřuje odolnost paliva vůči působení různých teplot. Při vysokých teplotách palivo oxiduje a stává se z něho mazlavá hmota tvořící usazeniny, nastává tzv. tepelný rozklad.

Znalost termické stability látek je velmi důležitá hlavně pro výrobu, skladování a transport chemických produktů [1].

Reakce paliva s vodou (*bodová stupnice*) – jedná se o změnu objemu vodní vrstvy, vzhledu fázového rozhraní a stupně rozdělení fází na dvě fáze [7].

Elektrická vodivost ($pS \cdot m^{-1}$) – je snaha snižovat vodivost paliv za účelem zamezení nebezpečí výbuchu par z paliv, který může být způsoben elektrostatickým výbojem.

Obsah antioxidantů ($mg \cdot t^{-1}$) - antioxidační přísady jsou přidávány za cílem omezení termálního a katalytického rozkladu [3].

Obsah antistatické přísady ($mg \cdot t^{-1}$) – Antistatická přísada se přidává za účelem úpravy vodivosti paliva. Cílem je zamezení možnosti výbuchu par paliva, který je způsobený kumulací elektrostatického náboje [8].

Těkavost – tato vlastnost popisuje, náchylnost s jakou se látka mění z kapalného skupenství na skupenství plynné. Palivo s vysokou těkavostí se mění na skupenství plynné rychle a naopak palivo s nízkou těkavostí se mění pomalu. Na tuto veličinu má také vliv tenze par dané látky. Tenze par určuje změnu tlaku v uzavřeném prostředí při vypařování dané látky. Při stejných atmosférických podmínkách se látka s vyšší tenzí vypařuje rychleji než látka s nižší tenzí [1],[9].

Bod varu ($^{\circ}C$) – teplota, při níž se palivo začíná přecházet do plynného skupenství. Tato vlastnost se vyvíjí v závislosti na změně okolního tlaku (s klesajícím tlakem klesá hodnota bodu varu) [1].

Obsah vody (%) – množství vody v palivu je důležitý údaj, protože je nebezpečí, že při nízkých teplotách bude voda zamrzat a vylučovat se v podobě ledu. Ochranou právě před tvorbou ledu jsou vyhřívané palivové filtry, minimálně na teplotu $5^{\circ}C$.

Problém je také hydroskopická povaha leteckého petroleje, což znamená, že velmi ochotně váže vodu. Existují různé normy pro různá paliva. Například u leteckého petroleje nesmí obsah vody v něm překročit hodnotu 0,003% [2].

2.3 Letecký petrolej

Nejrozšířenějším palivem pro proudové motory turbínového typu je letecký petrolej. Získává se frakční destilací z ropy při teplotě $150 - 275^{\circ}C$.

Existuje celá řada jeho specifikací, avšak používají se výhradně značení vydané AFQRJOS (Aviation Fuel Quality Requirements for Jointly Operated Systems), která představuje nejpřísnější požadavky podle DEF STAN 91-91 (specifikace speciálně pro Spojené království) a ASTM D 1655 (vytvořeno organizací ASTM - American Society for Testing and Materials – mezinárodní organizace, která vytváří a doporučuje standardy pro širokou škálu odvětví).

Letecký petrolej je do jisté míry podobný naftě, která je používána v arktických oblastech, avšak jsou na něj kladeny mnohem vyšší kvalitativní požadavky. Při jeho kontrolách se posuzuje čistota paliva, nízkoteplotní a těkavé vlastnosti, kontaminace nežádoucími příměsemi a stabilita. Při výrobě musí být každá šarže opatřena certifikátem o splnění výše uvedených vlastností.

Nejčastějším typem používaným pro civilní letectví je letecký petrolej JET A-1, popř. JET B-1, který má vyšší odolnost proti nízkým teplotám. Pro vojenské účely se potom používá palivo JP-8.

Dle požadavků se při výrobě mohou přidávat do paliva různá aditiva. Jedná se především o antioxidanty, antistatické, antikorozi, biocidy, mazivostní přísady a aditiva chránící palivo před promrznáním.

2.3.1 JET A-1

Používá se jako pohonná látka letadel vybavených proudovými motory, pro dosahování podzvukových i nadzvukových rychlostí. Na výrobu tohoto druhu paliva se kladou vysoké technické požadavky, které musí vyhovět přísným bezpečnostním standardům letecké dopravy.

Vzhled je čirý, jasný, bez viditelné vody a mechanických nečistot. Bod vzplanutí tohoto paliva je 38 °C a krystalizuje při teplotě -47 °C. V následující tabulce č. 2.1 jsou specifikovány vlastnosti zmíněného paliva [10].

Parametr		JET A-1
Vzhled		čirý, jasný, bez viditelné vody a mechanických nečistot při teplotě okolí
Mechanické nečistoty, mg/l	(max.)	1,0
Celková kyselost, mg KOH/g	(max.)	0,015
Obsah aromátů, % (V/V)	(max.)	25,0
Celkový obsah síry, % (m/m)	(max.)	0,30
Obsah merkaptanu, % (m/m)	(max.)	0,0030
Destilační křivka, °C	(max.)	205,0
Bod vzplanutí, °C	(min.)	38,0
Hustota, kg/m ³		775 - 840
Bod krystalizace, °C	(max.)	-47,0
Viskozita/ -20 °C	(max.)	8000,0
Výhřevnost	(min.)	42,80
Výška nečadivého plamene (VNP)	(min.)	25,0
Koroze na mědi (2h při 100°C)	(max.)	třída 1
Termická stabilita JFTOT při 260°C: tlaková diference na filtru úsadky (vizuálně)	(max.) (max.)	25 <3, žádné červené nebo abnormální barvy úsad
Skutečné pryskyřice, mg/100 ml	(max.)	7,0
Reakce s vodou, fázové rozhraní	(max.)	1 b
MSEP paliva s antistatickou přísadou	(min.)	70,0
Elektrická vodivost, pS/m		50 - 600
Mazivost, BOCLE wsd, mm	(max.)	0,85
Obsah antioxidantu, mg/l		17,0 - 24,0
Obsah antistatické přísady, mg/l	(max.)	3,0

Tab. č. 2.1 Vlastnosti paliva JET A-1 [10]

2.3.2 JET A

Hlavním rozdílem mezi palivem JET A a jeho vylepšené verze JET A-1 je nižší bod tuhnutí. Tento parametr se využívá při dálkových letech, avšak s rostoucí kvalitou roste i cena, proto se např. na krátkých regionálních tratích v USA využívá levnější palivo JET A. Dostupnost paliva JET A je omezená hlavně na USA a Kanadu, proto se v ostatních místech na světě používá výhradně JET A-1. V palivu JET A-1 jsou dále navíc přidána antistatická aditiva.

2.3.3 JET B

Toto palivo se vyznačuje odolností proti nízkým teplotám. Jeho bod krystalizace je – 60 °C, avšak používá se jen zřídka, hlavně v oblastech s nízkými teplotami, kde by palivo JET A-1 nebylo dostačující. Dalším uživatelem jsou některá vojenská letadla. Jedná se o

palivovou směs, která obsahuje přibližně z 30% kerosinu a 70% benzínu. Nevýhodou je vysoká hořlavost, čímž stoupá riziko při manipulaci, proto se z bezpečnostních důvodů upřednostňuje používání JET A-1, pokud to klimatické podmínky dovolují [1].

2.3.4 TS – 1

Palivo pro proudové motory, které je dostupné hlavně v Rusku a zemích Společenství nezávislých států. Jedná se o typ kerosinového paliva s mírně vyšší těkavostí (bod vzplanutí při 28°C) a nižším bodem tuhnutí (<-50°C) v porovnání s palivem JET A-1.

Dále existují paliva, která nejsou příliš často využívána, avšak většina palivových systémů je na ně přizpůsobena, jelikož se svými vlastnostmi příliš neliší. Jsou to paliva např. JP 8, JP 5, RT a JP 4 [11].

Rozšířenými poskytovateli LPH na evropském trhu jsou např. LUKOIL, SHELL. Licenci na prodej LPH mohou vlastnit také letiště samotné.

2.4 Letecký benzín

V případě menších letadel, která jsou vybavena zážehovými pístovými motory, se jako palivo používá letecký benzín. Ve své podstatě se od klasického automobilového benzínu velmi neodlišuje. Mezi hlavní používané druhy patří letecký benzín, který neobsahuje antidetonační látky, s oktanovým číslem minimálně 80 a olovnatý typ, který má oktanové číslo přesahující 100 jednotek. V nedávné době se začal využívat typ s oktanovým číslem 91. Typy benzínu s nižším oktanovým číslem se používají u menších a výkonově slabších letadel.

Největšími rozdíly, kterými se letecký benzín liší od automobilového, jsou nižší těkavost, vyšší teplota začátku destilace a nižší teplota konce destilace. U leteckého benzínu je kladen vyšší důraz a požadavky na jeho čistotu.

V průběhu vývoje leteckého benzínu došlo ke snížení obsahu olova v palivech. V minulosti se používal benzín s obsahem až 2,11 g·kg⁻¹ paliva. Tato hodnota se v průběhu vývoje snížila až na 0,75 g·kg⁻¹ paliva. Důvodem snížení byly negativní dopady olova na životní prostředí. Olovo sloužilo jako ochrana sedel ventilů před erozí. Tato funkce byla nahrazena jinými, šetrnějšími aditivami.

Letecký benzín je velice těkává a hořlavá látka s bodem vzplanutí okolo – 46 °C. Produkuje velké množství par a při smíchání s okolním vzduchem je schopen vytvořit zápalnou směs [10].

2.5 Nafta

Ačkoli v letecké dopravě převažuje využívání zážehových motorů, najdou se i letouny, které využívají motory vznětové. V těchto motorech se využívá klasická automobilová nafta.

2.6 Alternativní druhy paliv

Převážná většina v současnosti používaných paliv jsou tzv. uhlíková paliva. Tyto paliva se vyrábějí z ropy, zemního plynu, případně olejnatých břidlic, ale jelikož tyto zdroje jsou omezeny, je nutné se snažit najít a využít jiné, alternativní zdroje energie.

Dalším důvodem hledání alternativních paliv je velká spotřeba leteckých motorů. Proto je snaha nalezení buďto levnějšího, nebo efektivnějšího paliva. Důležitým faktorem je však využití těchto alternativních paliv v soudobých leteckých motorech, které nemusejí být konstruovány pro dané druhy pohonných hmot.

2.6.1 *Syntetická paliva*

Jednou ze skupin jsou syntetická paliva, která jsou vyráběná metodou Fischer-Tropsch. Tyto paliva je možno vyrábět z uhlí (Coal To Liquid; CTL), z plynu (Gas To Liquid; GTL) nebo biomasy (Biomass To Liquid; BTL). Výhodou těchto alternativních druhů paliv je, že jsou volně mísitelná se současnými používanými druhy paliv. Syntetická paliva vynikají svými výbornými vlastnostmi, kterými někdy převyšují právě využívaná paliva.

Vývoj u některých firem zašel již tak daleko, že získali certifikaci těchto paliv, což je nejtěžší krok při výrobě nového druhu paliva.

Ovšem stále se jedná o výrobu z neobnovitelných zdrojů (uhlí, zemní plyn), proto není tato metoda považována za udržitelnou a dlouhodobě perspektivní, protože příliš nesnižuje dopad na globální oteplování.

2.6.2 *Obnovitelná letecká paliva*

Na rozdíl od předcházejících paliv výzkum směřuje k vývoji biologického paliva. Tento druh je z hlediska emisí uhlíku neutrální, neboť je vyráběn z rostlin, které odstraňují z atmosféry CO₂. Při jejich spalování nevznikají žádné další skleníkové plyny.

Velký potenciál mají obnovitelná letecká paliva (Hydrotreated Renewable Jet; HRJ), která jsou vyráběná z bio-olejů. Tato skupina je stále ve vývoji, na kterém se podílí firmy i různé univerzity. Cílem je dosáhnout úplné mísitelnosti s konvenčními palivy.

Patří zde i paliva získávaná pyrolýzou zkapalněné biomasy, příkladem je bio-diesel. Jako další jsou paliva na bázi alkoholu, která jsou získávána hydrolýzou a fermentací. Tato

paliva jsou vyhovující pro malé sportovní letadla a měla by být plně mísitelná s konvenčními palivy.

Paliva vyráběná z rostlinných olejů jsou v současné době až 2 krát dražší než klasický kerosin, což je pro dopravce velmi neefektivní. Další problém představuje pěstování plodin pro výrobu těchto paliv (řepka olejka, palma olejná). Je nutné pěstovat tyto plodiny na velkých plochách, což má za následek snížení užitého prostoru a vytlačování plodin sloužících k zajištění potravinové soběstačnosti člověka. Pozitivem těchto paliv je, že snižují uhlíkovou stopu až o 60%.

Velká příležitost by mohla být v nevyužitých odpadech zemědělských plodin, tedy slámy, popř. dřevěné drtě. Z těchto zdrojů je možno vyrábět tekuté palivo, které by bylo plně kompatibilní s kerosinem, cena by byla příznivá a zatěžování životního prostředí minimální, ovšem toto palivo 2. generace je stále ve vývoji, který již velmi přesahuje cenu kerosinu. Proto se jako přístupnější a konkurenčně schopnějším palivem ukazuje směs biomasy a kerosinu. Nejznámějším takovýmto produktem je Biotyfuel.

2.6.3 *Další alternativní paliva*

Do této skupiny patří hlavně vodík, který je považován za palivo budoucnosti, ovšem pro využití by pravděpodobně byla potřeba nové infrastruktury, protože paliva na bázi vodíku jsou neslučitelná s konvenčními palivy.

Jako zdroj pro výrobu vodíku by mohla sloužit elektrolýza vody, popř. v budoucnu jaderná fúze. Nevýhoda této skupiny paliva je, že vyžaduje nové motory a novou techniku plnění a transportu. Z tohoto důvodu se v dnešní době experimentuje s používáním vodíkových pohonů pro pohyb letounu po zemi. V takových případech je teoreticky možno ušetřit denně např. na letišti Frankfurt až 40 tun kerosinu.

Výhodou vodíku je, že má až 3x větší energetickou hodnotu, než kerosin, nicméně z důvodu jeho nízké hustoty je obtížné ho skladovat [1].

3. Faktory ovlivňující let

Jedním z hlavních faktorů, který má vliv na let, jsou meteorologické podmínky. Patří zde hlavně bouřky, sněžení, vítr a také jet streamy, což jsou silné vzdušné proudy ve vyšších letových hladinách. Velmi důležitý jev jsou také mlhy, které ovlivňují dohlednost.

Faktor, který má velký vliv na vzlet, hlavně v tropických oblastech je teplota a tlak vzduchu. Naopak v chladnějších oblastech jsou komplikace zapříčiněny například námrazou. Jako velmi nevyzpytatelná se jeví také sopečná činnost, která může omezit letový prostor.

Letový prostor může být dále také omezen hustotou a využitelností tratí, především v letním období, kdy jsou plně nasyceny kapacity hlavních letových tras.

Mimo meteorologické podmínky mohou mít vliv na let i podmínky geografické, jedná se hlavně o vysoké pohoří v případě, že letoun má nedostatečný přístup. V kombinaci se špatnou viditelností může docházet k velmi nebezpečným situacím.

Veličiny, které definitivně ovlivňují let, jsou charakteristiky samotného letounu. Zde se řadí spotřeba, stáří letounu, technické prohlídky, typ motorů, velikost nádrží, přístrojové vybavení, naložení letounu, požadavky na posádku nebo speciální vybavení letounu, cestující a jejich zavazadla apod.

V dnešní době je také nutno přihlížet k politické situaci ve světě. Na tuto situaci mají mimo jiné velký vliv i lokální válečné konflikty, což může zapříčinit omezení nebo úplné zastavení provozu letišť, či částí vzdušného prostoru v oblasti probíhajícího konfliktu.

Vzdušné prostory některých států mohou být omezeny nebo zde mohou být v platnosti rozličné zákony a jiné legislativní normy.

Organizace ICAO do jisté míry také ovlivňuje let. Existuje řada předpisů např. o rozdělení vzdušného prostoru, rozestupech, tankování paliva apod.

Další vliv je ze strany organizací řízení letového provozu, které si účtují poplatky za využívání služeb řízení letového provozu a poplatky za využití vzdušného prostoru. Dále mohou měnit naplánované tratě z různých opodstatněných důvodů, např. vytížení sektorů.

Do celkových vlivů je zásadní zahrnout podmínky na letištích, jako je vytížení, spolehlivost, vybavení, poplatky, možnost využít využitelné náhradní letiště v okolí nebo zda je pro lety na toto letiště potřebný speciální výcvik. Velmi proměnlivým faktorem na letištích je cena a dostupnost pohonných hmot.

Dále budou podrobně rozpracovány podmínky, které mají přímý vliv na metodu tankering.

3.1 Odmrazování

Důležitým jevem při počítání nákladů na let je odmrázování a o to více, když se využívá metody tankering.

Při využívání zmíněné metody není do letounu po každém přistání natankováno nové ohřáté palivo, ale v nádržích zůstává palivo z předcházejícího letu. Toto palivo je ovšem vlivem nízkých teplot ve vysokých výškách letu podchlazeno, a proto jsou při vlhkých podmínkách na letištích ještě příhodnější podmínky pro vznik námrazy.

Přesné rizika vzniku námrazy tohoto typu není možné s jistotou určit. Z tohoto důvodu se využívají formuláře, které se vyplní v elektronickém systému a ten následně určí, zda je potenciální riziko vzniku námrazy. Na obrázku č. 3.1 je zobrazen formulář, který za tímto účelem využívá společnost ČSA.

29.4.2015 9:29 UTC		TANKERING vs. DEICING			
UPPER WING FROST / COLD SOAKED FUEL FROST					
DISPATCH - decision making process for RECOMMENDATION: TO DO / NOT TO DO TANKERING					
CREW - actual conditions REPORT from destination					
Dispatch Recommendation: choose FLT and insert TRIP TIME				Example of Selected option: <input checked="" type="radio"/> NO	
1. OFP		OFP / DISP			
1.	2.	FLIGHT NUMBER	START HERE		
	3.	DEST	...		
	4.	DE-ICING SERVICE	...		
	5.	TRIP TIME	0:00		
	6.	AVG ISA	- °C		
	7.	TANKERING SAVINGS	- USD		
2. FUEL DATA				ACTUAL / CREW	
8.	9.	ARR FUEL	- kg		kg
	10.	AVG OUTER TANK TEMP	-		°C
	11.	AVG INNER TANK TEMP	-		°C
3. WEATHER CONDITIONS		(TEMPO is not considered)		TAF / DISP	
12.	13.	RA and T ≤ 5 °C	NO	YES	NO
	14.	(FZ) RA or RASN or SN	NO	YES	NO
	15.	(FZ) FG or (FZ) DZ	NO	YES	NO
4. DESTINATION		wunderground.com / DISP		ACTUAL / CREW	
16.	17.	OAT	- °C		°C
	18.	DEW POINT	- °C		°C
	19.	DEW POINT DEFICIT	##### °C		-
	20.	TIME OF ARRIVAL	-		UTC
5. DE-ICING				ACTUAL / CREW	
21.	22.	AFTER LANDING UWF / CSFF	-	YES	NO
	23.	DE-ICING REQUIRED	-	YES	NO
	24.	DUE TO UWF / CSFF	-	YES	NO
	25.	START OF DE-ICING AT	-		UTC

Use the form and hand back together with a Fuel Delivery Sheet and Journey Log to Administration & Support Department.
If Tankering sector to PRG, please, fill in the items 1-4 and leave visibly in the aircraft for a next crew completion (item 5).
Remarks and Comments - feel free to use the back-page. Thank you for your participation and feedback.

Obr. č. 3.1 Formulář pro tvorbu námrazy [12]

Pomocí tohoto formuláře se vyhodnocuje riziko vzniku námrazy na horní části křídla, popř. na celé ploše křídla vlivem podchlazení paliva za letu. K vyhodnocení je nutno vyplnit následující údaje:

Do první části (1.) jsou doplňovány údaje o operačním letovém plánu, tedy číslo letu (2.), cílová destinace (3.), druh služby odmrazování na destinaci (4.), doba letu (5.), průměrné odchylky hodnoty teploty od ISA (6.) a hodnota, kterou provozovatel ušetří při využití tankeringu (7.).

V druhé části (8.) se vyplňují data o palivu a to ve dvou sloupcích, kdy první sloupec označuje předpokládanou a druhý aktuální hodnotu paliva při přiletu do destinace (9.), průměrnou teplotu paliva ve vnější (10.) a vnitřní (11.) nádrži.

Třetí část tabulky (12.) je věnována údajům o počasí, kdy dočasné podmínky nejsou zvažovány. Tato část je opět rozdělena na 2 sloupce, první hodnoty pro TAF a druhý pro hodnoty aktuální, zaznamenané posádkou. Specifikace týkající se počasí jsou déšť a zároveň teplota menší nebo rovná 5°C (13.), mrznoucí déšť nebo déšť se sněhem, popř. sníh (14.) a mlha nebo mrholení (15.).

V předposlední části tabulky (16.) jsou údaje o destinaci, tedy cílovém letišti, opět ve dvou sloupcích pro předpokládané a aktuální hodnoty. První údaj této části tabulky se týká venkovní teploty vzduchu (17.) dále pak následuje teplota rosného bodu (18.), rozdíl mezi teplotou venkovního vzduchu a teplotou rosného bodu (19.) a jako poslední se zde uvádí čas přiletu (20.).

Do poslední části této tabulky se vyplňují informace týkající se požadavků na odmrazování letadla (21.). Nachází se zde rozhodnutí, zda se bude vlivem podchlazeného paliva po přistání vytvářet námraza na křídlech (22.), dále vyhodnocení, zda bude požadováno odmrazování (23.) a zda to bude z důvodu uvedeného v poli 22. (24.) a následně v jaký čas UTC bude odmrazování zapotřebí (25.). [10]

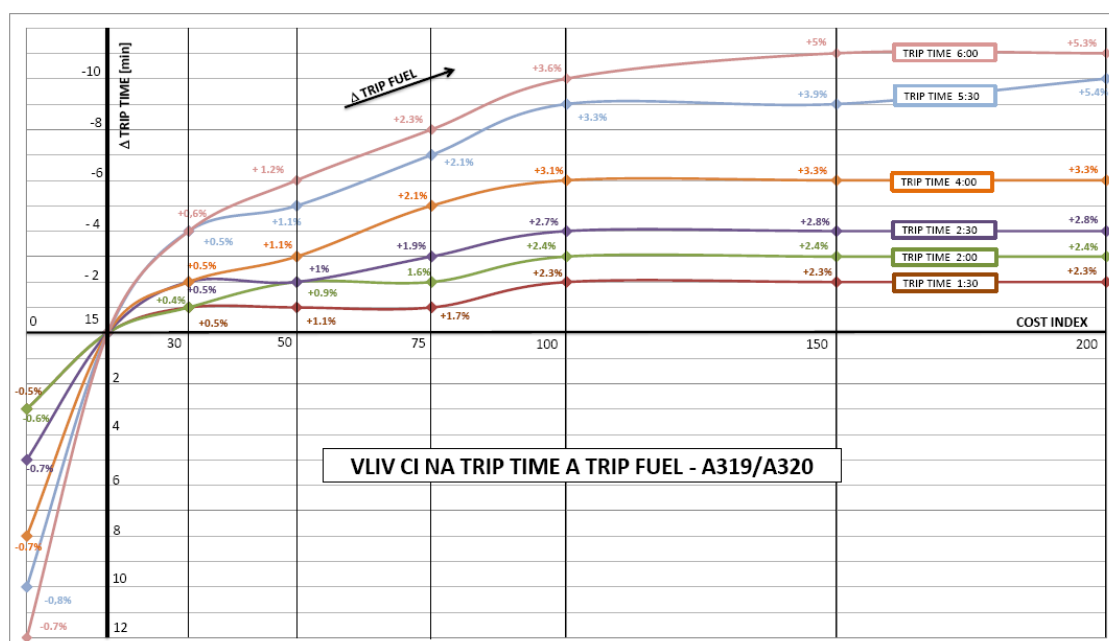
Riziko vzniku námrazy se povětšinou nevyskytuje při vysokých teplotách nebo letech trvajících kratší dobu, například do jedné hodiny. Naopak při velmi nízkých teplotách se riziko zvyšuje, ale nepředstavuje tak velkou ztrátu, jelikož odmrazování se provádí i pokud letadlo nadměrné množství paliva nepřeváží. Nejhorší jsou proto teploty nízké, blízké nule a zároveň vysoká vlhkost vzduchu, kdy riziko námrazy na křídlech, způsobené podchlazeným palivem stoupá.

3.2 Cost index

Jedná se o veličinu, která porovnává cenu letu a délku letu. Je určena výpočtem:

$$CI = \frac{P_{\text{TIME}}}{P_{\text{FUEL}}}$$

V grafu je znázorněn průběh závislosti délky letu na hodnotě Cost indexu. Při zvyšování cost indexu – tedy vyšší ceny se zkracuje délka letu a naopak.



Obr. č. 3.2 Vliv CI na čas a palivo potřebné pro let [13]

Pro snižování nákladů na palivo je optimální držet nízký Cost index, avšak prodlužování letu může zapříčinit zvyšování nákladů závislých na poplatcích řízení letového provozu, protože se prodlužuje délka letu jednotlivými oblastmi spadajícími pod různá centra řízení letového provozu.

3.3 Dostup letounu

Tento parametr letounu je opět ovlivňován množstvím paliva za letu. Dopravní letouny mají povětšinou omezený dostup do výšek přibližně 12 000 m. Důvodem tohoto omezení je malá hustota vzduchu, která má za následek nedostatečný tah motorů. Čím je hmotnost letou vyšší, tím je potřeba i většího tahu, a pokud ten je nedostatečný pro určitou výšku, tak tam letoun nevystoupá.

Toto opět negativně ovlivní ekonomiku letu, jelikož ve vyšších výškách je nižší hustota provozu a také, jak již bylo zmíněno, nižší hustota vzduchu, z čeho následně vyplývá i nižší odpor.

3.4 Spotřeba

Spotřeba letounu je významně ovlivňována hmotností letounu, jelikož motory potřebují vytvářet větší tah, aby byly schopny vyvinout dostatek energie pro pohyb letounu. Proto užití metody tankering, tedy natankování více paliva než je nezbytně nutné pro let, bude mít poměrně zásadní vliv na spotřebu během letu.

3.5 Cena leteckých pohonných hmot

Velmi proměnlivým faktorem v civilní letecké dopravě je právě cena pohonných hmot. Tato veličina se vyvíjí velmi dynamicky a to hlavně v závislosti na politické a hospodářské situaci ve světě i jednotlivých státech, dále závisí na požadavcích a předpisech mezinárodních organizací IATA, ICAO, ceně ropy, množství poskytovatelů a konkurenci mezi nimi. Významnou roli také hrají daňové systémy a zákony jednotlivých států.

Čas, kdy probíhá tankování, může také ovlivnit cenu paliva. Pokud se tankuje ve špičce, mohou být ceny s dalšími příplatky, avšak pokud se počká 2 – 3 hodiny, cena se může snížit. Tato řešení ovšem nejsou možná, pokud je dopravce závislý na pasažérech a na publikovaném letovém řádu. Další problém mohou představovat příplatky za servis, při tankování, jelikož prezentovaná cena za palivo může být nízká, avšak dopravce platí další poplatky spojené s procesem tankování (doprava paliva, obsluha personálem). Existují také letiště, kdy je podmínka tankování minimálního množství paliva. V případě, že dopravce nebude tankovat ani toto minimální množství, může si provozovatel letiště účtovat poplatky. Toto minimální množství je často určeno jako 1 000 kg paliva.

Je potřeba zmínit, že dopravci mívají různé tarify, ceny a mnohdy i slevy u některých poskytovatelů LPH. Ceny a slevy se zde odvíjí od dohod a smluv uzavřených mezi oběma stranami a mění se často i několikrát denně. Ceny se často odvíjí od množství odebíraného paliva od daného poskytovatele. Tento faktor má významný vliv u velkých aerolinií, které tímto způsobem mohou ušetřit podstatné množství financí. Tato okolnost bude v této práci opomíjena a budou využity ceny, které jsou prezentovány prostřednictvím veřejně dostupných webových serverů.

V následující tabulce č. 4.1 je možné vidět srovnání cen paliva za uplynulé 3 měsíce.

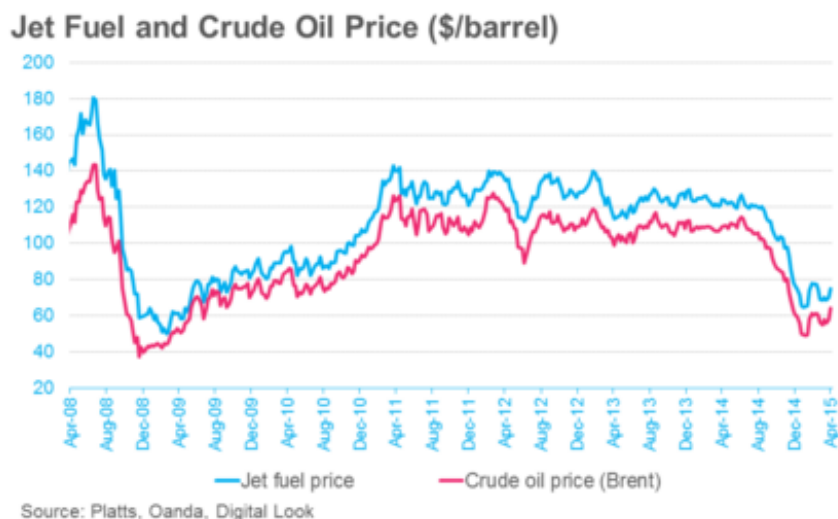
Destinace	Letiště	26. 11. 2014	18. 2. 2015
		Cena JET A1 USD/USG	Cena JET A1 USD/USG
Egypt	HURGHADA	2,66	1,92
	TUNIS	2,66	1,92
Rakousko	VIENNA	2,94	2,2
Bulharsko	SOFIA	2,48	1,74
	BOURGAS	2,57	1,83
Kypr	LARNACA	2,57	1,83
Česká Republika	BRNO	5,01	4,27
	PRAGUE	3,23	2,49
	OSTRAVA	4,91	4,17
Francie	PAIRS - CH. THE G.	2,19	1,45
	LYON	2,94	2,2
Řecko	ATHENS	2,48	1,74
	RHODOS	2,48	1,74
	HERAKLION	2,48	1,74
Itálie	ROME FIUMICINO	2,66	1,92
	FLORENCE	2,76	2,02
	NAPLES	2,76	2,02

Tab. č. 4.1 Ceny JET A-1 na zvolených letištích [14]

Z této tabulky lze usoudit, že místo tankování paliva je nutno velmi pečlivě zvážit, neboť cena na daných letištích se může lišit až dvojnásobně. Tato cena se také velmi dynamicky mění v čase, proto se stále mění také efektivnost plánování paliva např. při použití metody tankering. Je velmi pravděpodobné, že ceny paliv, které byly pro výpočet použity, nebudou platit další den, proto je vždy zásadní mít aktuální výpočty za využití přesné ceny paliva. V případě zanedbání aktuální ceny paliva by tato metoda mohla mít opačný efekt a náklady na let by se mohly zvýšit.

Na následujícím grafu lze vidět, jak se cena paliva vyvíjela v průběhu delšího období, konkrétně sedmi let. Na cenu ropy opět působí mnoho faktorů, kterými jsou např. politická situace, války, vyčerpávání zdrojů v určitých lokalitách, světová ekonomika apod.

Z grafu lze také vyčíst, že cena LPH kopíruje cenu surové ropy. Pro přesnější představu o vzájemném vývoji je zde uvedena také červená křivka reprezentující vývoj ceny surové ropy.



Obr. č. 3.3 Vývoj ceny leteckého petroleje a surové ropy [15]

4. Provozní omezení a nařízení

Existuje celá řada zákonů a požadavků, které kladou velké mezinárodní organizace na dopravce. Jedná se v převážném množství o předpisy zajišťující bezpečnost a plynulost provozu.

4.1 Hmotnostní limity a omezení

Určitý problém při používání metody tankering mohou představovat hmotnosti letounu. Jeden problém může nastat z důvodu, že každý letoun je limitován jak velikostí nádrží, tak hmotnostním zatížením, což znamená, že při plném naložení letounu je možné, že nezbyde dostatečná volná kapacita pro plné natankování nádrží. Část těchto údajů je vyobrazena na obrázku č. 6.1.

Další problém může představovat hmotnost letounu při přistání, kdy vzletová a přistávací dráha nemusí být konstruována na dané zatížení a tím zapříčinit omezení množství tankovaného paliva. Tyto parametry jsou jedny ze zásadních, které by se měly brát v úvahu při snaze o aplikaci metody tankeringu v dané síti linek. Tyto hmotnostní omezení se následně musí prověřit i pro záložní letiště.

Jednotlivé definované hmotnosti jsou dále rozpracovány.

4.1.1 Základní prázdná hmotnost (*Basic Empty Weight, BEW*)

Tato hodnota obsahuje hmotnost letadla, včetně provozních kapalin tedy i nevyčerpatelného paliva, olejů, hydrauliky. Tento údaj je deklarován výrobcem. Hmotnost letounu představuje hmotnost draku, motorů, vybavení včetně systémů a výstroje, které jsou nedílnou součástí dané konfigurace letadla. Údaj o této hmotnosti je také uveden v letové příručce (Aircraft Flight Manual, AFM).

4.1.2 Prázdná hmotnost (*Empty Weight, EW*)

Tato hmotnost je rovna hodnotě BEW letounu navýšené o doplňkové vybavení provozovatele. To představuje např. vybavení palubní kuchyně, sedačky. EW je uvedena v poslední verzi Diagramu hmotností a vyvážení. V tomto diagramu je vypsáno naložení letounu, rozpoložení zatížení nákladem, poloha těžiště atd.

4.1.3 Prázdná provozní hmotnost (*Dry Operating Weight, DOW*)

Tento údaj reprezentuje celkovou hmotnost letounu, který je připravený pro určitý typ letu. Následně je v této hmotnosti zahrnuta minimální posádka pro let, zavazadla posádky, catering, vyjímatelné vybavení pro obsluhu cestujících a vybavení nezbytné pro let, pitná

voda a chemikálie na toalety. Není zde však zahrnuto použitelné palivo a dopravní zatížení (cestující, náklad atd.).

4.1.4 Prázdný operativní index (Dry Operating Index, DOI)

Tento parametr zavádí výrobci letadel. Jedná se o bezrozměrné číslo, které vyjadřuje moment podělený danou konstantou při provozní hmotnosti bez paliva. Důvodem vzniku bylo působení poměrně velkých hmotností na poměrně dlouhých ramenech velké momenty. Výpočty centráže by se jinak pohybovaly v relativně velkých číslech.

4.1.5 Provozní hmotnost (Operating Weight, OW)

Je prázdná provozní hmotnost navýšená o vzletové palivo bez dopravního zatížení.

4.1.6 Provozní náklad (Traffic Load, TL)

Jinými slovy také nazýván dopravní zatížení a zahrnuje celkovou hmotnost zboží, pošty, cestujících, veškerých zavazadel, i zatížení, u kterého není přeprava zpoplatněna, balast a vybavení pro údržbu. Obchodní zatížení (Payload, PL), je zatížení, u kterého je přeprava zpoplatněna a představuje hmotnost cestujících, jejich zavazadel, zboží a pošty. Následně, pokud dopravní zatížení doplníme o využitelné palivo (Block fuel) tvoří užité zatížení (Useful Load, UL).

4.1.7 Prázdná hmotnost letounu (Zero Fuel Weight, ZFW)

Je to prázdná provozní hmotnost navýšená o vzletové palivo bez dopravního zatížení a je uvedena v Loadsheat. Tato hmotnost je omezena maximální hmotností bez paliva (Maximum Zero Fuel Weight, MZFW). Tento údaj určuje maximální přípustnou hmotnost letounu s nevyčerpatelným palivem.

4.1.8 Hmotnost před zahájením poježdění (Taxi Weight, TW)

V tomto případě je možné použít výraz hmotnost na odbavovací ploše (Ramp Weight, RW). V tomto údaji je zahrnuta hmotnost bez paliva a hmotnost využitelného paliva pro daný let (Blockfuel).

Tato hmotnost nesmí překročit maximální vzletovou hmotnost a je navíc omezena údajem o maximální hmotnosti před zahájením poježdění (Maximum Ramp Weight, MRW). Tento údaj je závislý na konstrukci letounu a lze ho nalézt v letové příručce.

4.1.9 Vzletová hmotnost (Take-off Weight, TOW)

V tomto případě se jedná o hmotnost letounu bez paliva navýšenou o hmotnost paliva pro vzlet. Jinými slovy lze tuto hmotnost popsat jako hmotnost před zahájením poježdění snížená o hmotnost paliva, které je spotřebováno při spouštění motorů, na stojance a při pohybu letounu vlastní silou z odbavovací plochy na místo vzletu.

Dále se také určuje maximální konstrukční vzletová hmotnost (Maximum Structural Take-off Weight) a je považována za konstrukční omezení. Pokud bereme v úvahu např. dráhové parametry, meteorologické podmínky a různé překážky na letišti vzletu, atd. tak se jedná o výkonová omezení vzletové hmotnosti. V případě, že by nastala situace, při které bude hmotnost před zahájením poježdění vyšší než maximální vzletová hmotnost, nesmí být vzlet letounu zahájen.

4.1.10 Přistávací hmotnost (Landing Weight, LW)

Tato hmotnost se určí jako vzletová hmotnost a od ní odečtená hmotnost paliva spotřebovaného během letu (Trip Fuel), tedy zahrnující fázi vzletu, letu v hladině a přistání. Tato hmotnost je také omezena konstrukčními a výkonovými parametry a technickým stavem letadla.

Konstrukční omezení LW se vyjadřuje údajem o hodnotě maximální konstrukční přistávací hmotnosti (Maximum Structural Landing Weight). Toto omezení je zapříčiněno pevnostním omezením konstrukce, hlavně přistávacího zařízení. Následně jsou i zde výkonová omezení přistávací hmotnosti, řadí se zde například sklon a délka vzletové a přistávací dráhy, meteorologické podmínky v místě přistání, vlastnosti terénu v prostoru přistání, nezdařeného přiblížení atd.

Z důvodů legislativních změn se při vyjádření slova hmotnost používají výrazy buď Mass (M) nebo Weight (W). Význam obou těchto výrazů je v těchto podmínkách stejný.

Vždy je zásadní, aby parametry dráhové únosnosti převyšovaly hmotnost letounu.

Se zvyšující se hmotností letounu se také zvyšuje jeho setrvačnost pohybu. S tímto efektem je třeba počítat při volbě cílového i záložního letiště. [16] Mohlo by dojít k situaci, kdy délka přistání bude delší než samotná délka přistávací dráhy.

4.2 Publikované délky drah jsou:

4.2.1 TORA (Take Off Run Available)

Jedná se o délku dráhy použitelnou pro rozjezd při vzletu.

4.2.2 *TODA (Take Off Distance Available)*

Je délka dráhy použitelná pro rozjezd při vzletu plus délka předpolí (Clearway).

4.2.3 *LDA (Landing distance Available)*

Je délka dráhy, která je použitelná pro dojezd při přistání.

4.2.4 *ASDA (Accelerate Stop Distance Available)*

Zde se jedná o délku dráhy použitelnou při přerušném vzletu. [17]



Obr. č. 5.1 Znárodnění publikovaných délek [17]

4.3 Výpočet paliva a povinné zákonné rezervy

Provozovatel je povinen vypracovat zásady pro určování množství paliva. To musí zahrnovat i výpočet paliva pro vzlet, které musí být na palubě na základě plánovacích kritérií.

Množství paliva v letounu musí dovolit:

a) let na letiště plánovaného přistání a potom alespoň 45 minut letu v obvyklé cestovní nadmořské výšce, pokud je let prováděn v souladu s pravidly letu podle přístrojů a náhradní letiště určení není požadováno, nebo

b) let z letiště plánovaného přistání na náhradní letiště určení a potom alespoň 45 minut letu v obvyklé cestovní nadmořské výšce, pokud je let prováděn v souladu s pravidly letu podle přístrojů a náhradní letiště určení je požadováno, nebo

c) let na letiště plánovaného přistání a potom alespoň 30 minut letu v obvyklé cestovní nadmořské výšce, pokud je let prováděn v souladu s pravidly letu za viditelnosti ve dne, nebo

d) let na letiště plánovaného přistání a potom alespoň 45 minut letu v obvyklé cestovní nadmořské výšce, pokud je let prováděn v souladu s pravidly letu za viditelnosti v noci. [19]

Použitelné množství paliva na palubě pro odlet se skládá z několika částí, kterými jsou: palivo na pojiždění, traťové palivo, palivo pro nepředvídatelné okolnosti, palivo pro let na

náhradní letiště, konečná záloha paliva, minimální dodatečné palivo, mimořádné palivo, tank extra.

4.3.1 Palivo na pojiždění – Taxi Fuel

Tato hodnota paliva se určuje na základě zohlednění podmínek na letišti a spotřebě APU. Množství tohoto paliva nesmí být menší, než množství, které se pravděpodobně spotřebuje před vzletem.

Při následujících letech se toto palivo často určuje na základě zkušeností nebo se počítá na základě minutové spotřeby při pojiždění, která se vynásobí průměrnou dobou pojiždění.

4.3.2 Traťové palivo – Trip Fuel

Tato složka paliva zahrnuje:

- A) Palivo pro vzlet a stoupání z letiště vzletu do počáteční cestovní hladiny/ výšky letu. Při výpočtu se musí zohlednit plánované trať odletu.
- B) Palivo pro let od vrcholu stoupání až do vrcholu klesání. Jakékoli postupné stoupání nebo klesání musí být zahrnuto.
- C) Palivo z vrcholu klesání do bodu, kdy je zahájeno přiblížení. Opět se musí zohledňovat plánovaný postup a trať příletu.
- D) Palivo na přiblížení a přistání na cílovém letišti.

4.3.3 Palivo pro nepředvídatelné okolnosti – Contingency Fuel

Při plánování tohoto paliva se použije vyšší z následujících A - E.

- A) Toto palivo se určí jako 5 % plánovaného traťového paliva nebo v případě přeplánování za letu musí odpovídat 5 % traťového paliva pro zbytek letu.
- B) Další možností výpočtu tohoto paliva jsou nejméně 3 % plánovaného traťového paliva nebo v případě přeplánování za letu 3 % traťového paliva pro zbytek letu, za předpokladu, že je k dispozici náhradní letiště na trati.
- C) Palivo pro nepředvídatelné okolnosti se může také stanovit jako množství paliva postačující na 20 minut doby letu založené na spotřebě plánovaného traťového paliva za předpokladu, že provozovatel vytvořil program sledování spotřeby paliva pro jednotlivé letouny a na výpočet množství paliva využívá platné údaje zjištěné pomocí takového programu.
- D) Jednou z možností je také, že množství paliva je založené na statistické metodě schválené příslušným úřadem, která zabezpečuje přiměřené statistické pokrytí odchylky od plánovaného ke skutečnému traťovému palivu. Tato metoda se používá

ke sledování spotřeby paliva u každé dvojice měst/kombinace letounů a provozovatel používá tyto údaje ke statistické analýze s cílem vypočítat palivo pro nepředvídané okolnosti pro danou dvojici měst/ kombinaci letounů.

- E) Palivo pro nepředvídatelné okolnosti lze také určit jako palivo potřebné na dobu letu pěti minut při udržované rychlosti ve výšce 1 500 ft (450 m) nad cílovým letišťem za standardních podmínek.

4.3.4 Palivo pro let na náhradní letiště – Alternate Fuel

- A) 1) Palivo na nezdařené přiblížení z platného MDA/DH na cílovém letišti do nadmořské výšky nezdařeného přiblížení, přičemž se zohlední celý postup nezdařeného přiblížení.

2) Palivo na stoupání z nadmořské výšky nezdařeného přiblížení do cestovní hladiny/výšky letu, přičemž se zohlední plánovaná trať odletu.

3) Palivo na let z vrcholu stoupání do vrcholu klesání, přičemž se zohlední plánovaná trať letu.

4) Palivo pro klesání z vrcholu klesání do bodu, kdy je zahájeno přiblížení, přičemž se zohlední plánovaný postup příletu.

5) Palivo pro vykonání přiblížení a přistání na zvoleném náhradním cílovém letišti.

- B) Jsou-li požadována dvě náhradní cílová letiště, musí být množství paliva dostatečné pro pokračování do náhradního cílového letiště, pro které je potřebné větší množství náhradního paliva.

4.3.5 Konečná záloha paliva – Final Fuel Reserve

- A) U letounů vybavených pístovými motory je toto množství paliva na dobu letu 45 minut.

- B) U letounů vybavených motory turbínového typu je konečná záloha paliva množství paliva na dobu letu 30 minut při vyčkávací rychlosti ve výšce 1500 ft (450 m) nad letišťem za standardních podmínek, vypočítané na základě odhadovaného množství při příletu na náhradní cílové letiště nebo cílové letiště v případě, že náhradní cílové letiště není požadováno.

4.3.6 Minimální dodatečné palivo – Minimal Additional Fuel

- A) Aby letoun podle potřeby klesal a pokračoval do přiměřeného náhradního letiště v případě poruchy motoru nebo ztráty přetlaku, podle toho, co vyžaduje větší množství

paliva na základě předpokladu, že k takovému selhání dojde v nejkritičtějším bodě na trati

1) udržel se ve výši 1 500 ft (450 m) po dobu 15 minut nad letištěm za standardních podmínek.

2) vykonal přiblížení a přistání, s výjimkou případu, kdy se dodatečné palivo požaduje pouze, nepostačuje-li v těchto případech minimální množství paliva vypočítané v souladu s podmínkami pro traťové palivo a konečnou zálohu paliva.

B) Pro vyčkávání po dobu 15 minut ve výšce 1 500 ft (450 m) nad cílovým letištěm za standardních podmínek, je-li let prováděn bez náhradního cílového letiště. [20]

4.3.7 *Mimořádné palivo – Commander Fuel*

Toto palivo je na vyžádání velitele letounu. Důvody mohou být nepříznivé nebo nejisté povětrnostní podmínky, možné problémy na cílovém letišti a podobně.

4.3.8 *Tank extra*

Palivo navíc, které se využívá při rozdílných cenách paliva v různých destinacích. Nesmí se ovšem zapomínat na fakt, že se zvýšením převáženého paliva, se zvýší hmotnost letounu a tudíž i jeho spotřeba, proto je třeba množství tohoto paliva optimalizovat. Za tímto účelem se využívá metoda nazývaná tankering.

5. Plánování a optimalizace paliva pro let

Při plánování paliva je nutno dodržet určité zásady. Jsou to většinou podmínky a omezení dané legislativou, např. organizací ICAO. Dále je důležité zohlednit podmínky a faktory, které na plánování mají vliv. Většina těchto procesů je v dnešní době řešena pomocí software, které jednak dovolují přesné plánování letů a také zahrnují všechny výše zmíněné podmínky.

5.1 Systém pro plánování letů LIDO

Tvůrcem tohoto systému je německá letecká společnost Lufthansa. Tento software je určen k plánování, optimalizaci letu (volba tratí, plánování paliva, apod.) a automatickému generování OFP.

Systém využívá velká řada dalších menších společností, kterým se nevyplácí investovat do vývoje svých vlastních plánovacích software.

Na obr. č. 5.1 – 5.3 je znázorněn plánovací software LIDO

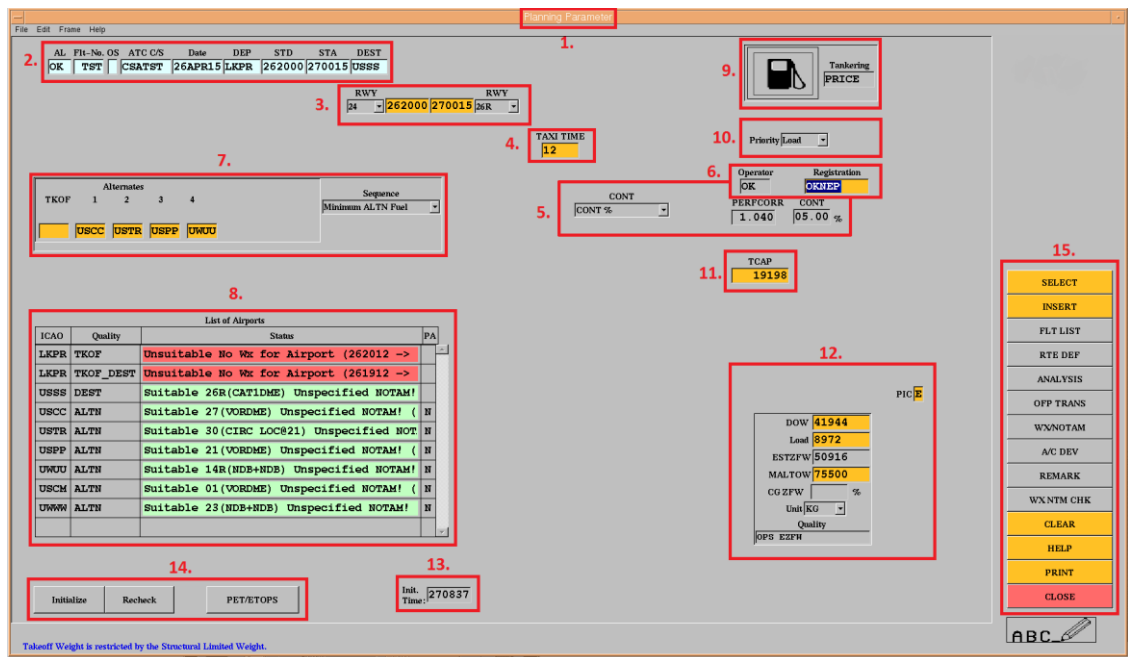
Zpočátku je v tomto software nutno vyplnit okno s plánovacími parametry (1.). Mezi základní parametry (2.) patří např. údaje o číslu letu, datum letu, letiště vzletu a přistání. Informace o vzletu a přistání jsou specifikovány pomocí parametrů RWY (3.) spolu s časem pojiždění (4.). Následně je nutno vyplnit způsob určení paliva pro nepředvídatelné události (5.), pro které je nutné také vyplnit registraci letounu (6.).

Záložní letiště jsou vyplněna v oblasti pod číslem 7. Níže poté jsou vypsána všechna zvolená letiště pro trať i s informacemi o jejich použitelnosti (8.). Červené jsou znázorněna letiště, u kterých nejsou dostupné informace o aktuálním počasí.

V pravé horní části lze najít místo (9.), kde se pracuje s funkcí tankering, konkrétně se zde vkládá cena paliva. Pod tímto parametrem se volí, jaká je priorita letu (10.) – naložení, ekonomičnost atd.

V poli 11. je vyčíslena kapacita nádrží. Níže, pod tímto údajem, jsou upřesněny jednotlivé hmotnosti letounu (12.). Počáteční čas tvorby OFP je pod číslem 13.

Pro další práci s těmito daty se využívá pole 14., kde je možno tyto data překontrolovat, spustit plánování atd. V pravé části obrazovky se vyvolávají další funkce programu jako např. analýzy, kontrola počasí podle NOTAM apod.

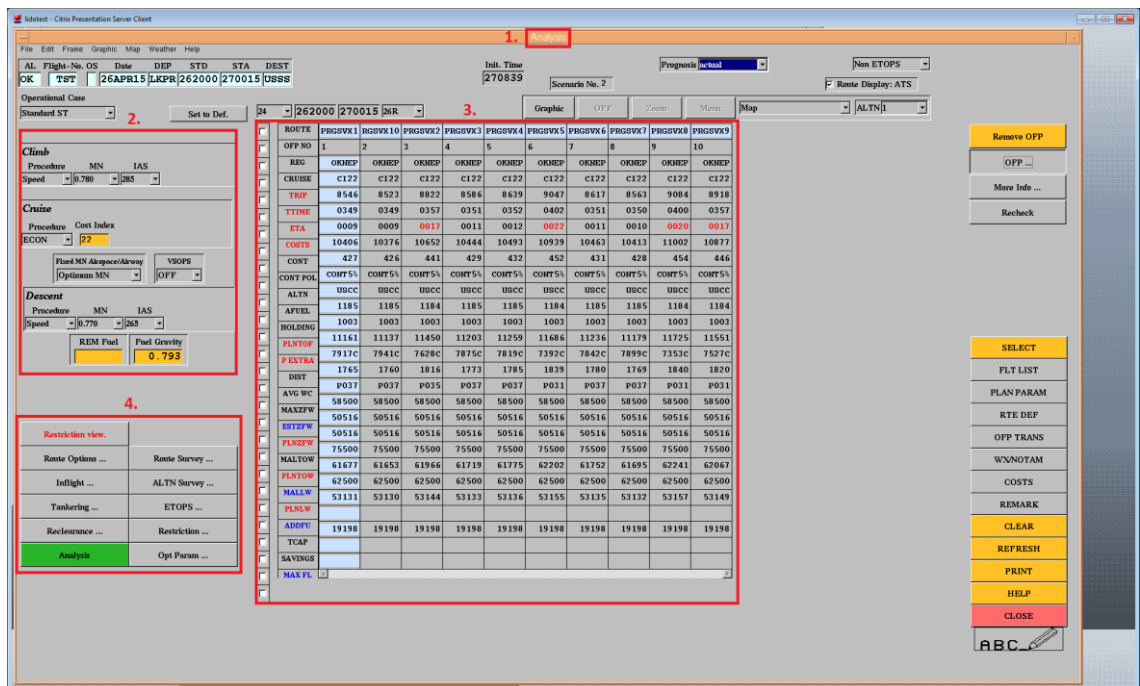


Obr. č. 5.1 Vstupní obrazovka plánovacího software LIDO [21]

Na obr. č. 5.2 lze vidět, že software LIDO je velmi obsáhlý program a umožňuje velmi mnoho specifikací a možností plánování analýz. V tomto okně je možnost výběru tratí, u kterých systém vypočítal parametry, jako např. cena, délka letu, atd.

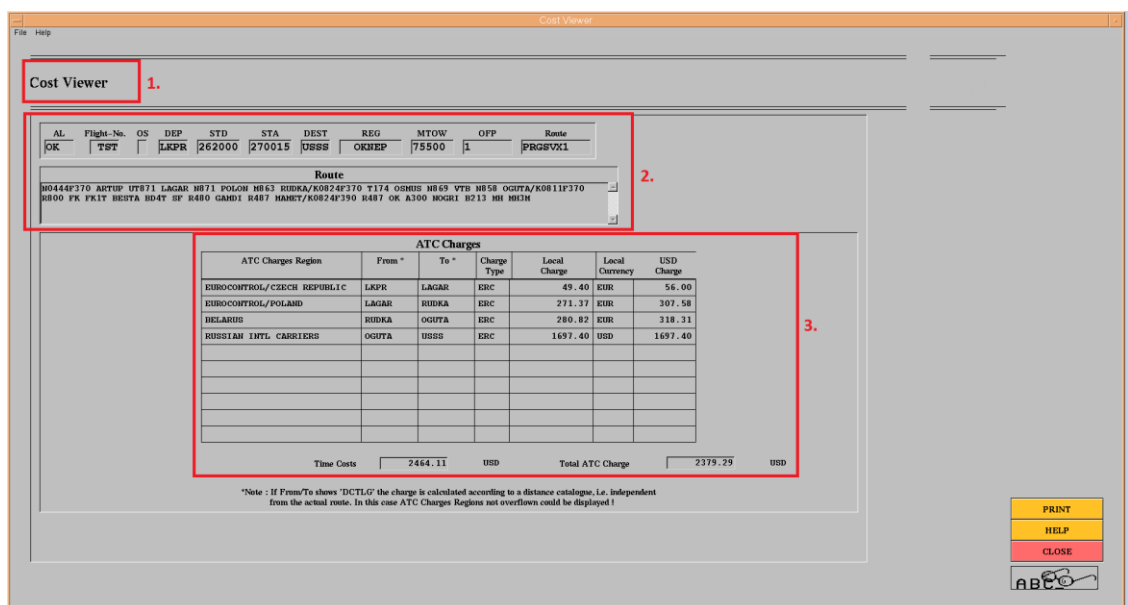
Konkrétně tedy v horní části okna pod jeho nadpisem (1.) jsou detailní informace o letu samotném. V poli, které je označené číslem 2. jsou konkretizovány údaje o fázích letu, tj. vzletu, letu v hladině a přistání. Následně v tabulce (3.) jsou již výše zmíněné údaje pro výběr a porovnání tratí.

V levé dolní části jsou opět funkce, které umožňují úpravu plánování letu, např. za využití tankeringu nebo plánování ETOPS (4.).



Obr. č. 5.2 Analýza plánování v software LIDO [21]

Na posledním obr. č. 5.3 je zobrazen výpočet nákladů, tedy Cost Viewer (1.), který udává přehled poplatků řízení letového provozu pro plánovanou trať (2.). Tento výpočet (3.) zahrnuje sazby vyčíslené službou řízení letového provozu a následně vypočtené poplatky pro aktuální let.



Obr. č. 5.3 Výpočet nákladů na let v software LIDO [21]

Plánovací systémy jsou v současné době tak dokonalé, že jsou schopny vypočítat optimální parametry pro let na základě mnoha složitých výpočtů a porovnávání výsledků

těchto výpočtů. Výpočty zahrnují mnoho detailních a dílčích parametrů, které není téměř možno v manuálním způsobu výpočtu zahrnout.

5.2 Tankering

Pokud palivo stojí méně na letišti vzletu než v destinaci, mohlo by být finančně výhodné natankovat více dodatečného paliva na zpáteční let, a proto se vyvinula metoda tankering.

Tankering je metoda, pomocí které se provozovatelé letadel snaží o optimalizaci nákladů na palivo.

V principu se jedná o optimalizační metodu výpočtu množství tankovaného paliva na jednotlivých letištích a u různých poskytovatelů LPH. Tato metoda zaznamenává velký rozmach a pozornost hlavně v dnešní době, kdy se hledá snižování nákladů na provoz na všech místech.

Využívání této metody se musí důkladně zvážit. První a nejvýznamnější nepříznivý efekt, který bude převážené palivo a tedy i zvýšená hmotnost letounu mít, je zvýšená spotřeba. Základní předpoklad je, že rozdíl ceny na letištích bude opravdu markantní a dalším předpokladem je, že let nebude příliš dlouhý. Pokud by se jednalo o dálkové lety, výhody tankeringu se snižují. Čím delší let je, tím více se tento jev promítne do spotřeby. Vyšší hmotnost může mít také za následek nutnost letět v nižších hladinách, kde nemusí být příznivé počasí, vítr a provoz.

Další veličina, na kterou má zvýšená hmotnost vliv je opotřebenost letounu. Při větší přistávací hmotnosti roste i namáhání pneumatik, podvozku, závěsu křídel, které se budou rychleji opotřebovávat. Setrvačnost letounu při brzdění bude větší a to bude mít vliv na opotřebenost brzd.

Někteří provozovatelé např. Lufthansa investovali finance do vývoje IT programů (LIDO) pro tyto výpočty. Do programu se zadají údaje o letu a ty jsou následně zpracovány spolu s aktuálním ceníkem LPH na letištích. Výstupem je poté doporučení o množství tankovaného paliva.

5.2.1 *Přínos metody tankering*

- 1) Snižování času tankování a tudíž poplatků za služby v destinaci a snížení rizika kontaminace, tedy míchání paliva, které nemusí být v takové kvalitě, jako u prověřených dodavatelů.
- 2) Snižování času na zemi, čili času na otáčku letounu a také poplatků za handling.
- 3) Zvýšení odebíraného množství paliva na domovském letišti a tedy možnost lepších smluvních podmínek s dodavatelem.

- 4) Úspora v podobě ušetřených financí vynaložených na palivo. Tento zisk se většinou pohybuje v rozmezí 100 – 250 USD za let.

6. Praktická část

Letecké společnosti při výpočtech, plánování používají elektronické systémy, které jsou mnohem přesnější a dokonalejší než manuální výpočty, při kterých nelze zahrnout všechny proměnné faktory.

Při manuálních výpočtech jsou používány výkonnostní tabulky, které dodává výrobce letounu obsažené v FCOM (Flight Crew Operational Manual). Tyto tabulky zobrazují spotřebu letounu v jednotlivých fázích letu, při různých podmínkách a také obsahují korekce pro zvláštní situace. Jedná se o složitý systém tabulek, které i přes svou obsáhlost mají stále funkci mírně nepřesnou. Nepřesnost je způsobena nadsazením hodnot z důvodu zachování bezpečnosti letu, v případě, že bude posádka odkázána pouze na ně.

Každý letoun má specifické parametry, proto se i každé FCOM liší. Pro následující výpočty budou využívány tabulky pro letoun A319 společnosti ČSA.

6.1 Specifikace letounu

V této práci bude optimalizace nákladů na pohonné hmoty prováděna na konkrétní letoun. Jedná se o letoun Airbus A319, s registrací OK-MEK. Tento letoun je jeden z nejvíce využívaných civilních letounů pro střední a krátké tratě. Průměrná spotřeba paliva tohoto letounu se uvádí okolo 2 400 kg/hod letu. Pro simulace spotřeb a při konstruování optimalizačních metod bude použito palivo JET A-1.

Důležitými parametry tohoto letounu jsou jeho hmotnosti, velikost nádrží a dále také jeho výkonnostní tabulky spotřeb. Tyto informace lze najít v příručce, tzv. Flight Crew Operational Manual (FCOM). FCOM dodává výrobce letadel spolu s konkrétním letounem, jelikož každý letoun má rozdílné vybavení a tedy i rozdílné parametry.

První tabulka specifikací se týká konkrétních hmotností pro daný letoun. Tabulka obsahuje údaje o:

- maximální hmotnosti bez paliva (Maximum Zero Fuel Weight),
- maximální vzletové hmotnosti (Maximum Take-off Weight),
- maximální přistávací hmotnosti (Maximum Landing Weight),
- základní hmotnost při plných nádržích s vodou (Basic Weight),
- maximálním množstvím sedadel pro pasažéry (Max. No. Of Passg. Seats)
- a základním indexem nastavení těžiště.

Hmotnostní hodnoty v tabulce na obrázku jsou uvedeny v kilogramech.

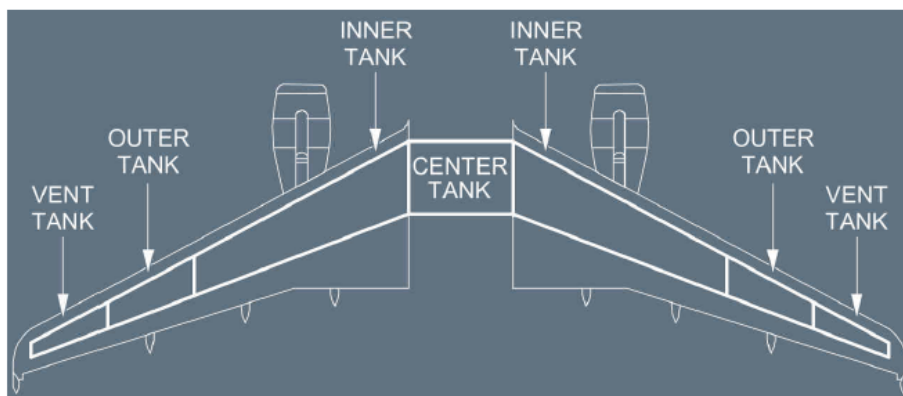
V tabulce na obrázku 6.1 je znázorněno, jak se mění prázdná provozní hmotnost (DOW) v kilogramech a také nastavení těžiště (DOI) při prázdné provozní hmotnosti v závislosti na změně osazení letounu posádkou. Rozdíl v hodnotách Standard 1 a Standard 2 může být způsoben použitím letounu pro rozdílnou délku letu, kdy je potřeba většího množství občerstvení a vody pro pasažéry.

BASIC DATA CHART * OK-MEK

Maximum Zero Fuel Weight (kg)	Maximum Take-off Weight (kg)	Maximum Landing Weight (kg)		
58,500	68,000	62,500		
Max. No. of Passg. Seats	Basic Weight * (kg)	Basic Index *		
144	39,953	23.83		
Crew Cockpit / Cabin	Standard 1 CSA		Standard 2 CSA	
	DOW (kg)	DOI	DOW (kg)	DOI
2/3	41,148	24.45	40,878	23.92
2/4	41,223	24.68	40,953	24.14
2/5	41,298	24.90	41,028	24.37
3/3	41,233	24.18	40,963	23.65
3/4	41,308	24.41	41,038	23.87
3/5	41,383	24.63	41,113	24.10
4/3	41,318	23.91	41,048	23.38
4/4	41,393	24.13	41,123	23.60
4/5	41,468	24.36	41,198	23.83

Obr. č. 6.1 Přehled hmotností zvoleného letounu [22]

Na obrázku je znázorněno rozpoložení jednotlivých nádrží zmíněného letounu a také jejich kapacita. Tato kapacita je určena v jednotkách objemových i hmotnostních.



USABLE FUEL					
		OUTER TANKS	INNER TANKS	CENTER TANK	TOTAL
VOLUME	(liters)	880 x 2	6 924 x 2	8 250	23 858
	(US gallons)	232 x 2	1 829 x 2	2 180	6 302
WEIGHT ⁽¹⁾	(KG)	691 x 2	5 435 x 2	6 476	18 728
	(LB)	1 520 x 2	11 982 x 2	14 281	41 285

⁽¹⁾ Fuel density : 0.785 kg/l or 6.551 lb/US Gal.

Obr. č. 6.2 Nádrže letounu Airbus A319 [23]

6.2 Základní výpočet paliva potřebného na let

Při manuálním výpočtu paliva potřebného na let se postupuje od konce, kdy se v prvním kroku musí odhadnout, jaká bude hmotnost letounu z průměrné spotřeby paliva, naložení letounu a délka letu. Poté můžeme pracovat s tabulkami, které jsou publikované v FCOM.

6.2.1 Stoupání (*Climb*)

S pomocí následující tabulky na obrázku č. 6.3 je možno odečíst a vypočítat údaje o vzletu.

Jako první se musí zvolit správná tabulka, tedy pro atmosférické podmínky, které panují. V tabulce je tento faktor (1.) označen jako odchylka od mezinárodní standardní atmosféry (ISA). V ukázkovém příkladu je použita tabulka pro atmosférické podmínky ISA. Následně je nutno si ověřit, zda tabulky jsou platné pro konkrétní letadlo (2.).

Nadpis tabulky (3.) říká, že se jedná o tabulku pro stoupání (Climb) pro rychlosti IAS 250 KT/300 KT/M.78.

Následující část tabulky vlevo (4.) určuje podmínky, za kterých je tato tabulka platná a tedy nastavení maximálního tahu pro stoupání, normální atmosférické podmínky a vypnuté odmrazování. Políčko vpravo (5.) určuje nastavení těžiště (CG). V pravé části hlavičky tabulky (6.) je popsán obsah polí samotné tabulky, kde lze najít tyto údaje:

- TIME – v minutách určená doba stoupání
- DISTANCE – v námořních mílích určená délka stoupání
- FUEL – v kilogramech určené spotřebované palivo
- TAS – pravá vzdušná rychlost určená v uzlech.

A318/A319/A320/A321 FLIGHT CREW OPERATING MANUAL	PERFORMANCE
	CLIMB
	CLIMB TABLES

1. CLIMB - ISA

Ident.: PER-CLB-CLT-00001986:0023001 / 15 FEB 11
 Applicable to: OK-MEK, OK-MEL, OK-NEM, OK-NEN, OK-NEO, OK-NEP, OK-OER, OK-PET, OK-REQ **2.**

3. CLIMB - 250KT/300KT/M.78														
MAX. CLIMB THRUST 4. NORMAL AIR CONDITIONING ANTI-icing OFF				ISA CG=33.0% 5.		FROM BRAKE RELEASE TIME (MIN) 6. FUEL (KG) DISTANCE (NM) TAS (KT)								
7. FL	8. WEIGHT AT BRAKE RELEASE (1000KG)													
	52	54	56	58	60	62	64	64						
390	18 1298	19 1368	20 1444	21 1526	23 1615	24 1716	26 1830	115 386	122 386	129 388	138 389	148 390	159 392	172 394
370	16 1215	17 1277	18 1343	19 1411	20 1484	21 1561	22 1644	101 378	106 379	112 380	119 381	125 382	133 383	141 384
350	15 1146	15 1203	16 1262	17 1324	18 1388	19 1455	20 1526	90 372	95 372	100 373	105 374	111 374	117 375	123 376
330	13 1083	14 1136	15 1190	15 1247	16 1305	17 1367	18 1430	81 365	86 365	90 366	94 366	99 367	104 368	109 368
310	12 1022	13 1070	14 1121	14 1173	15 1227	16 1283	16 1341	73 357	77 357	81 358	85 358	89 359	93 359	97 360
290	11 956	12 1001	12 1048	13 1096	13 1145	14 1196	15 1249	65 347	68 347	72 348	75 348	78 349	82 349	86 350
270	10 876	10 917	11 959	11 1002	12 1047	12 1092	13 1139	56 334	58 334	61 335	64 335	67 336	70 336	73 336
250	9 803	9 840	10 878	10 917	11 957	11 998	12 1041	48 321	50 322	52 322	55 322	57 323	60 323	62 323
240	8 769	9 804	9 840	10 877	10 915	10 954	11 995	44 315	46 315	48 316	51 316	53 316	55 317	58 317
220	8 704	8 735	8 768	9 802	9 836	9 872	10 908	38 303	40 303	42 303	43 304	45 304	47 304	49 304
200	7 642	7 671	7 700	8 731	8 762	8 794	9 826	32 290	34 290	35 291	37 291	39 291	40 291	42 292
180	6 583	6 609	6 636	7 663	7 691	7 720	8 750	28 277	29 277	30 278	31 278	33 278	34 278	36 279
160	5 527	6 550	6 574	6 599	6 624	7 650	7 677	23 264	24 264	25 264	26 265	28 265	29 265	30 265
140	5 473	5 494	5 516	5 538	6 560	6 584	6 607	19 250	20 250	21 250	22 251	23 251	24 251	25 251
120	4 421	4 440	4 459	5 479	5 499	5 520	5 541	16 234	17 235	17 235	18 235	19 236	20 236	21 236
100	3 337	3 352	4 367	4 383	4 399	4 416	4 433	11 207	12 207	12 208	13 208	13 208	14 208	14 209
50	2 220	2 230	2 239	2 250	2 260	3 271	3 282	6 169	6 169	6 170	7 170	7 170	7 170	8 171
15	1 138	1 144	1 150	2 158	2 163	2 170	2 177	3 120	3 120	3 120	3 120	3 121	3 121	3 121
LOW AIR CONDITIONING ΔFUEL = - 0.4 %		HIGH AIR CONDITIONING ΔFUEL = + 0.4 %		ENGINE ANTI ICE ON ΔFUEL = + 1.5 %		TOTAL ANTI ICE ON ΔFUEL = + 2.5 %				9.				

11.0-06FOA319-112 CFM56-5B6P SA2110000C5K330 0 018390 0 0 2 1.0 500.0 300.00 1 03250.000000.000 .780 0 FCOM-ND-03-05-10-002-180

Obr. č. 6.3 Výkonnostní parametry pro stoupání [23]

Pro vyhledání v tabulce je nutno určit hladinu (FL) do které je potřeba vystoupat (7.) a znát hmotnost, kterou má letoun při odbrzdění (8.). Hmotnost je určena v 1000 kg. Ve spodní části tabulky je nutno zohlednit uvedené korekce (9.), které zvyšují nebo naopak snižují spotřebu – LOW AIR CONDITION – podmínky v řídkém vzduchu, HIGH AIR CONDITION – podmínky v hustém vzduchu, ENGINE ANTI ICE ON – odmrazování motoru zapnuto, TOTAL ANTI ICE ON – celkové odmrazování.

V případě nezobrazených hodnot se počítá údaji určenými aritmetickým průměrem dvou nejbližších hodnot.

6.2.2 *Let v hladině (Cruise)*

Jako další část letu po vystoupení je let v hladině. Pro určení potřebného paliva je nutno zvolit správnou tabulku. V tomto případě je v nadpisu tabulky (1.) CRUISE – M.78 – ISA, tedy let v hladině rychlostí 0,78 Machu při podmínkách ISA. Znamená to tedy, že zde není žádná odchylka parametrů, které by mohly změnit spotřebu letounu, jsou to např. tlak nebo teplota.

Dále se zde nepočítá s žádným větrem, který by mohl buď to měnit směr letu nebo zkracovat/prodlužovat let. Opět je zásadní si ověřit, zda je používána tabulka pro daný letounu (2.).

Následující údaje (3.),(4.),(5.) v hlavičce tabulky mají stejný význam jako u předchozího případu se stoupáním.

Rozdíl je až v popisu údajů zobrazených v tabulce (6.), zde jsou údaje:

- N1 – nastavení otáček kompresoru v %,
- KG/H/ENG – spotřeba paliva jednoho motoru v kilogramech na hodinu letu,
- NM/1000 KG – jak velkou vzdálenost v námořních mílích je schopen letou uletět na 1000 Kg paliva,
- MACH – rychlost letounu v jednotkách rychlosti zvuku,
- IAS – v uzlech určená indikovaná vzdušná rychlost,
- TAS – v uzlech indikovaná pravá vzdušná rychlost.

Pro získání potřebných údajů je nutno znát hmotnost letounu při letu v hladině v 1000 Kg (7.) a následně plánovanou letovou hladinu (FL) pro let (8.). Na základě znalosti těchto údajů se určí, kde se protínají a odečtou požadované údaje popsané v poli 6.

V tabulce se také nachází pro některé hmotnosti a letové hladiny volné pole. Je to zapříčiněno omezeným dostupem letounu, kdy při určité hmotnosti motory negenerují dostatečný tah pro výstup do dané letové hladiny.

Ve spodní části tabulky se opět nacházejí údaje pro korekci spotřeby paliva a jsou to LOW AIR CONDITION – podmínky řídkého vzduchu, ENGINE ANTI ICE ON – odmrazování motoru zapnuto a následně TOTAL ANTI ICE ON – celkové odmrazování letounu zapnuto.

A318/A319/A320/A321 FLIGHT CREW OPERATING MANUAL	PERFORMANCE
	CRUISE CRUISE TABLES - CRUISE AT M.78

1. CRUISE - M.78 - ISA

Ident.: PER-CRZ-CRT-20-00002005.0023001 / 09 DEC 09

Applicable to: OK-MEK, OK-MEL, OK-NEM, OK-NEN, OK-NEO, OK-NEP, OK-OER, OK-PET, OK-REQ **2.**

3. CRUISE - M.78

7. WEIGHT (1000KG)	4. MAX. CRUISE THRUST LIMITS NORMAL AIR CONDITIONING ANTI-ICE OFF						5. ISA CG-33.0%	6. N1 (%) KG/H/ENG NM/1000KG	8. MACH IAS (KT) TAS (KT)
	FL290	FL310	FL330	FL350	FL370	FL390			
50	80.3 .780	80.2 .780	80.0 .780	80.0 .780	80.5 .780	81.7 .780			
	1280 302	1188 289	1106 277	1035 264	978 252	939 241			
	180.3 462	192.6 458	205.1 454	217.2 450	228.7 447	238.3 447			
52	80.5 .780	80.3 .780	80.3 .780	80.3 .780	80.9 .780	82.2 .780			
	1290 302	1199 289	1119 277	1048 264	995 252	961 241			
	179.0 462	190.9 458	202.8 454	214.4 450	224.9 447	232.8 447			
54	80.7 .780	80.5 .780	80.5 .780	80.5 .780	81.3 .780	82.7 .780			
	1299 302	1209 289	1132 277	1064 264	1013 252	986 241			
	177.7 462	189.2 458	200.3 454	211.3 450	220.7 447	226.9 447			
56	80.9 .780	80.7 .780	80.8 .780	80.9 .780	81.8 .780	83.2 .780			
	1309 302	1221 289	1146 277	1080 264	1034 252	1015 241			
	176.3 462	187.3 458	198.0 454	208.1 450	216.3 447	220.4 447			
58	81.0 .780	81.0 .780	81.0 .780	81.3 .780	82.2 .780	83.8 .780			
	1320 302	1235 289	1160 277	1098 264	1058 252	1048 241			
	174.9 462	185.4 458	195.6 454	204.8 450	211.5 447	213.3 447			
60	81.2 .780	81.2 .780	81.3 .780	81.3 .780	81.7 .780	84.5 .780			
	1331 302	1249 289	1176 277	1117 264	1083 252	1083 241			
	173.4 462	183.3 458	192.9 454	201.3 450	206.5 447	206.5 447			
62	81.4 .780	81.4 .780	81.6 .780	82.1 .780	83.2 .780	85.1 .780			
	1344 302	1262 289	1193 277	1139 264	1113 252	1120 241			
	171.8 462	181.3 458	190.1 454	197.4 450	201.1 447	199.7 447			
64	81.6 .780	81.7 .780	82.0 .780	82.6 .780	83.8 .780	85.9 .780			
	1357 302	1277 289	1211 277	1163 264	1146 252	1157 241			
	170.1 462	179.2 458	187.3 454	193.4 450	195.1 447	193.3 447			
66	81.8 .780	81.9 .780	82.3 .780	83.0 .780	84.3 .780				
	1371 302	1293 289	1230 277	1188 264	1181 252				
	168.3 462	176.9 458	184.4 454	189.2 450	189.4 447				
68	82.0 .780	82.2 .780	82.7 .780	83.4 .780	84.9 .780				
	1385 302	1310 289	1252 277	1216 264	1217 252				
	166.7 462	174.7 458	181.2 454	184.8 450	183.7 447				
70	82.2 .780	82.5 .780	83.2 .780	83.9 .780	85.6 .780				
	1400 302	1328 289	1276 277	1250 264	1254 252				
	164.9 462	172.3 458	177.7 454	179.9 450	178.3 447				
72	82.5 .780	82.9 .780	83.5 .780	84.5 .780	86.3 .780				
	1416 302	1348 289	1302 277	1285 264	1292 252				
	163.0 462	169.8 458	174.3 454	175.0 450	173.1 447				
74	82.8 .780	83.2 .780	83.9 .780	85.0 .780					
	1433 302	1369 289	1329 277	1320 264					
	161.1 462	167.2 458	170.7 454	170.2 450					
76	83.0 .780	83.6 .780	84.4 .780	85.6 .780					
	1451 302	1392 289	1360 277	1358 264					
	159.1 462	164.4 458	166.7 454	165.6 450					
9. LOW AIR CONDITIONING ΔFUEL = -0.5 %			ENGINE ANTI ICE ON ΔFUEL = + 2 %			TOTAL ANTI ICE ON ΔFUEL = + 4.5 %			

A318/A319/A320/A321 FLEET

PER-CRZ-CRT-20 P 3/12

FCOM

← A

16 MAR 15

Obr. č. 6.4 Výkonnostní parametry pro let v hladině [23]

6.2.3 Sestup (Descent)

Pro závěrečnou fázi letu existuje také specifická tabulka. Postup při orientaci v tabulce na obrázku 6.5 je v prvních částech specifikací (1. – 5.) stejný, jako u předcházejících tabulek pro vzlet a let v hladině, ovšem jsou zde také další parametry. První z nich je Maximální kabinová rychlost sestupu, která je definována hodnotou 350 ft/min.

Pro odečítání z tabulky je nutno znát hladinu (8.), ze které je klesání započato a také hmotnost letounu (7.), která se zde velmi zaokrouhluje. Následně z tabulky lze po zvolení hmotnosti a počáteční hladiny stoupání vyčíst následující informace:

- TIME – dobu klesání,
- FUEL – palivo spotřebované při klesání,
- DIST. – délka klesání v námořních mílích
- N1 – otáčky motoru v %. Otáčky motoru jsou většinou nastaveny na hodnotu IDLE, což znamená volnoběh.

V pravé části tabulky je nutné zjistit indikovanou rychlost v uzlech (9.).

Ve spodní části tabulky (10.) jsou specifikovány korekce, tentokrát velmi podrobněji, než v předcházejících tabulkách, a to pro hodnoty času klesání, paliva a také vzdálenosti. Přibyl zde také sloupec zohledňující teplotu atmosféry a to procentuálním přírůstkem za každý 1°C nad hodnotou ISA.

A318/A319/A320/A321 FLIGHT CREW OPERATING MANUAL	PERFORMANCE
	DESCENT
	STANDARD

1. DESCENT- M.78/300KT/250KT

Ident.: PER-DES-STD-00002133.0039001 / 07 MAR 11
Applicable to: OK-MEK, OK-MEL, OK-NEM, OK-NEN, OK-NEO, OK-NEP, OK-OER, OK-PET, OK-REQ **2.**

3. DESCENT - M.78/300KT/250KT									
IDLE THRUST 4.		ISA			MAXIMUM CABIN RATE OF DESCENT 350 FT/MIN				
NORMAL AIR CONDITIONING		CG=33.0%							
ANTI-ICING OFF		5.			6.				
WEIGHT (1000KG)	7.				65				9.
	45								
8. FL	TIME (MIN)	FUEL (KG)	DIST. (NM)	N1	TIME (MIN)	FUEL (KG)	DIST. (NM)	N1	IAS (KT)
390	14.7	156	91	68.2	17.6	167	107	IDLE	241
370	13.2	127	79	IDLE	16.9	162	102	IDLE	252
350	12.6	124	75	IDLE	16.2	158	97	IDLE	264
330	12.1	120	71	IDLE	15.6	155	92	IDLE	277
310	11.7	118	68	IDLE	15.0	151	87	IDLE	289
290	11.2	115	64	IDLE	14.4	147	83	IDLE	300
270	10.6	111	60	IDLE	13.6	142	77	IDLE	300
250	10.0	107	56	IDLE	12.8	137	71	IDLE	300
240	9.8	106	54	IDLE	12.4	135	69	IDLE	300
220	9.1	101	49	IDLE	11.6	129	63	IDLE	300
200	8.5	94	45	IDLE	10.7	120	57	IDLE	300
180	7.8	87	40	IDLE	9.8	110	51	IDLE	300
160	7.1	78	36	IDLE	8.9	98	45	IDLE	300
140	6.3	67	31	IDLE	7.9	84	39	IDLE	300
120	5.6	56	27	IDLE	6.9	70	33	IDLE	300
100	4.9	47	23	IDLE	6.0	58	28	IDLE	300
50	1.7	14	7	IDLE	2.1	18	9	IDLE	250
15	.0	0	0	IDLE	.0	0	0	IDLE	250
CORRECTIONS 10.	LOW AIR CONDITIONING		ENGINE ANTI ICE ON		TOTAL ANTI ICE ON		PER 1° ABOVE ISA		
TIME	-		+ 6 %		+ 10 %		+ 0.3 %		
FUEL	-		+ 30 %		+ 50 %		+ 0.5 %		
DISTANCE	-		+ 5 %		+ 7 %		+ 0.5 %		

Obr. č. 6.5 Výkonnostní parametry pro klesání [23]

6.2.4 Vyčkávání (Holding)

Výše uvedená tabulka na obrázku č. 6.6 je přehledem (1.) výkonnostních charakteristik pro vyčkávání (HOLDING). Zde je důležité, že rychlost je tzv. GREEN DOT SPEED (2.), což znamená rychlost s nejvyšší klouzavostí. Je zde také uvedeno, že se tato tabulka využívá pro vyčkávání na vyčkávacím okruhu (3.). Dále je v hlavičce tabulky uvedeno, že se předpokládá Maximální nastavení tahu pro let v hladině, zasunutá mechanizace křídla,

normální atmosférické podmínky a vypnutí odmrazování (4.). V poli s číslem 5. jsou zmíněny podmínky standardní atmosféry a nastavení těžiště.

A318/A319/A320/A321 FLIGHT CREW OPERATING MANUAL	PERFORMANCE
	1. HOLDING HOLDING TABLES
2. CONF 0 - GREEN DOT SPEED	
Ident.: PER-HLD-HLD-00002146.0025001 / 16 FEB 11 Applicable to: OK-MEK, OK-MEL, OK-NEM, OK-NEN, OK-NEO, OK-NEP, OK-OER, OK-PET, OK-REQ	

3. RACE TRACK HOLDING PATTERN - GREEN DOT SPEED								
MAX. CRUISE THRUST LIMITS CLEAN CONFIGURATION NORMAL AIR CONDITIONING ANTI-ICING OFF					ISA CG=33,0%		N1 (%) FF (KG/H/ENG)	
WEIGHT (1000KG)	FL 15	FL 50	FL100	FL140	FL180	FL200	FL220	FL250
44	44.7 854	46.8 836	50.2 806	52.9 781	56.3 760	57.8 753	59.5 750	62.2 749
46	45.6 888	47.8 871	51.1 837	54.0 811	57.4 792	58.9 787	60.6 785	63.5 783
48	46.5 923	48.8 906	52.0 868	55.1 842	58.4 826	59.9 821	61.7 819	64.7 816
50	47.3 959	49.8 938	52.9 898	56.1 874	59.3 859	60.9 856	62.8 853	65.7 848
52	48.2 994	50.5 968	53.9 929	57.3 906	60.3 894	61.9 890	63.9 887	66.6 880
54	49.1 1030	51.3 1000	54.8 960	58.2 939	61.2 929	63.0 923	65.0 921	67.5 912
56	50.0 1063	52.1 1031	55.8 992	59.0 972	62.2 961	64.0 957	66.0 952	68.5 944
58	50.8 1094	52.9 1061	56.7 1024	59.9 1006	63.1 995	65.0 992	66.8 994	69.4 976
60	51.5 1125	53.7 1091	57.7 1057	60.7 1041	64.1 1029	66.0 1023	67.7 1016	70.2 1008
62	52.2 1155	54.5 1122	58.7 1080	61.5 1075	65.0 1063	66.9 1055	68.5 1048	71.0 1041
64	52.9 1186	55.3 1154	59.4 1123	62.4 1108	66.0 1095	67.6 1087	69.3 1081	71.8 1075
66	53.6 1217	56.1 1186	60.1 1157	63.2 1141	66.9 1125	68.4 1119	70.1 1113	72.7 1109
68	54.3 1247	56.9 1218	60.8 1191	64.0 1173	67.6 1158	69.2 1151	70.9 1146	73.5 1144
70	55.0 1279	57.7 1251	61.6 1225	64.9 1208	68.4 1190	69.9 1184	71.6 1179	74.3 1180
72	55.7 1311	58.6 1285	62.3 1259	65.7 1241	69.1 1223	70.7 1216	72.3 1212	75.1 1217
74	56.5 1344	59.4 1319	63.1 1292	66.6 1272	69.8 1255	71.4 1249	73.1 1247	75.9 1256
76	57.2 1377	60.2 1352	63.8 1325	67.4 1303	70.5 1288	72.1 1283	73.8 1282	76.6 1295
LOW AIR CONDITIONING ΔFF = - 0.3 %	ENGINE ANTI ICE ON ΔFF = + 5 %		TOTAL ANTI ICE ON ΔFF = + 9 %		PER 1° ABOVE ISA ΔFF = + 0.3 %		STRAIGHT LINE ΔFF = - 5 %	

Obr. č. 6.6 Výkonnostní parametry pro vyčkávání [23]

Vyhledávání v této tabulce je obdobné jako u předcházejících. Tabulka se také využívá pro určení spotřeby při vyčkávání a pro vyčíslení FRSV. Opět je zde nutno znát hmotnost letounu v 1000 kg (8.) a FL (7.), ve kterém bude vyčkávání prováděno. Za znalosti těchto

informací lze určit (6.) potřebné nastavení otáček motoru (N1) a spotřebu paliva v kilogramech za hodinu letu pro jeden motor (FF).

Ve spodní části (9.) jsou opět korekce, tyto korekce jsou podobné jako u předcházejících tabulek doplněné o údaj pro speciální situaci vyčkávání nazývanou Straight Line. Znamená to, že vyčkávání nebude prováděno kroužením, ale přímočarým letem. Tento jev má za následek snížení spotřeby letounu.

Pro celkové potřebné palivo pro let je nutno zahrnout složky paliva popsané v kapitole 4.3.

6.3 Algoritmus výpočtu tankeringu

Vzorce pro výpočty při užívání metody tankering byly odvozeny z programu LIDO. Ve vzorcích jsou obsaženy všechny důležité parametry, které hrají při výpočtu hlavní roli, ovšem určitý problém představuje zavedení do vzorce konstanty pro nadměrné opotřebení letounu, ta se často liší. Vzorce pak vypadají následovně:

6.3.1 1. Krok o rozhodnutí, zda je výhodné použít tankering

V tomto kroku se bere v úvahu rozdíl cen, které jsou na jednotlivých letištích, a následně se porovná s požadovaným rozdílem cen, při kterém je tankering vhodno využít.

Požadovaný rozdíl ceny

Výpočet se provede jako součet hodnot minimální požadované úspore na 1 tunu paliva (S_{MIN}) vydělená dobou letu v hodinách (T) a průměrnou spotřebu paliva (F_{FLOW}) a podílu ZFW Fact, který zohlední prázdnou hmotnost letounu po dobu letu (T), ceny paliva na letišti vzletu (P_{DEP}) a ZFW Fact po dobu letu (T) odečtené od hodnoty 1.

$$PD_R = \left(\frac{S_{MIN}}{(T \times F_{FLOW})} \right) + \left(\frac{T \times ZFW \text{ Fact} \times P_{DEP}}{1 - (T \times ZFW \text{ Fact})} \right)$$

Reálný cenový rozdíl

$$PD_{REAL} = P_{DEST} - P_{DEP}$$

Reálný cenový rozdíl se vypočte odečtením ceny paliva na cílovém letišti od ceny paliva na letišti stratu.

Tankering je doporučeno využít, pokud reálný cenový rozdíl je vyšší než požadovaný cenový rozdíl.

6.3.2 2. Krok – generovaný zisk nebo ztráta

V druhém kroku se již počítá konkrétní zisk popř. ztráta. Z prvního výpočtu lze určit, jaká by byla ztráta při využití metody tankering v případě, že se v prvním kroku ukázala jako nevhodná.

Ztráta při tankování nadbytečného paliva

Pro určení ztráty (L) je nutno vynásobit cenu paliva na letišti vzletu (P_{DEP}), dobou letu (T) a faktor hmotnosti letounu bez paliva (ZFW Fact). K této hodnotě se následně přičte reálný rozdíl cen vynásobený od hodnoty jedna odečteným součinem doby letu a faktoru prázdné hmotnosti letounu.

$$L = (P_{DEP} \times T \times ZFW \text{ Fact}) + ((1 - (T \times ZFW \text{ Fact})) \times (P_{DEP} - P_{DEST}))$$

Úspory

Úspory je třeba určit pomocí více výpočtů. Z důvodu zvýšení nákladů na let.

Rozdíl paliva

Jako první krok se určí rozdíl množství natankovaného paliva při využití metody tankering a množství natankovaného paliva v situaci, kdy metoda tankeringu nebyla využita.

Odečtou se tedy od sebe jednotlivé složky paliva (TRIP - Palivo pro let, CONT – palivo pro nepředvídatelné okolnosti, ALT – palivo pro let na náhradní letiště, HOLD – palivo pro vyčkávání a ADDT – dodatečné palivo) a jako výsledek bude palivo (ΔF), které bude natankováno navíc.

$$\begin{aligned} \Delta F = & (TRIP_{TANK} + CONT_{TANK} + FRSV_{TANK} + ALT_{TANK} + HOLD_{TANK} \\ & + ADDT_{TANK} - TRIP_{BAS} - CONT_{BAS} - FRSV_{BAS} - ALT_{BAS} \\ & - HOLD_{BAS} - ADDT_{BAS}) \end{aligned}$$

Následně lze z množství převáženého paliva určit úspory na tomto palivu. Ovšem tento údaj není konečný, jelikož se zvyšuje i spotřeba na základě vyšší hmotnosti. Proto se musí v dalších krocích tyto zvýšené náklady odečíst od úspor, které nám přineslo palivo s nižší cenou.

Benefit

Benefit, tedy prospěch je v prvním kroku vyjádřen v hmotnostních jednotkách paliva a následně přepočten na finanční jednotky.

Pro určení $F_{BENEFIT}$ je opět potřeba odečíst odčíst jednotlivé hmotnosti složek paliva při normální letu od hmotností složek při tankeringu.

$$F_{BENEFIT} = (CONT_{TNAK} + FRSV_{TANK} + ALT_{TANK} + HOLD_{TANK} + ADDT_{TANK} - CONT_{BAS} - FRSV_{BAS} - ALT_{BAS} - HOLD_{BAS} - ADDT_{BAS})$$

Výsledek prvního kroku je v hmotnostních jednotkách a konečný benefit získáme na základě vynásobení této hmotností hodnoty rozdílem cen na jednotlivých letištích.

$$B = F_{BENEFIT} \times (P_{DEST} - P_{DEP})$$

Náklady na přepravu nadbytečného množství paliva

Cena přepravy nadbytečného množství paliva se určí jako rozdíl spotřebovaného paliva na let při tankeringu ($TRIP_{TANK}$) a při normálním letu ($TRIP_{BAS}$) a následně vynásobením cenou paliva v letišti vzletu (P_{DEP})

$$CT = (TRIP_{TANK} - TRIP_{BAS}) \times P_{DEP}$$

Úspory

$$S = (P_{DEST} \times F_{BENEFIT}) - (P_{DEP} \times \Delta F)$$

nebo

$$S = B - CT$$

6.3.3 3. Krok – Konečné úspory

V posledním kroku se musí dodatečně od úspor odečíst tzv. Retail Factor, tedy nadměrné opotřebování letadlových částí založené na vyšším namáhání daných částí. Retail Factor se musí před odečtením ještě vynásobit hodnotou ΔF , na které závisí velikost nadměrného opotřebení. Tento údaj je velice individuální u každého letounu a proto může poměrně výrazně zkruslit výpočet.

$$FS = S - Retail\ Factor \times \Delta F [24]$$

6.4 Výpočet

Tato sekce výpočtů bude rozdělena na 2 části. V první části bude popsána a zobrazena metoda tankering za využití programu LIDO a v následující části bude tankering vypočítán pomocí manuální metody.

6.4.1 Elektronické výpočty

Tato část bude věnována výstupům ze software LIDO v podobě operačního letového plánu (OFP) viz obr.

Pro srovnání byly vygenerovány 2 operační letové plány, z nich první je bez použití metody tankering a druhý za využití této metody. Na obrázcích lze vidět pouze první stranu letového plánu, ostatní byly pro tyto účely zobrazení rozdílu bezpředmětné.

Jedná se o let z Paříže, letiště Charles de Gaulle do Prahy, který je prováděn letounem Airbus A320. Vzdušná vzdálenost mezi těmito destinacemi je 503 námořních mil.

Z obrázku č. 6.2 lze vyčíst, že obsahuje údaje pro let. V první řadě jsou to obecné údaje o letu (1.) – číslo letu, datum letu a vytvoření letového plánu, typ letounu, který bude použit a letiště vzletu a přistání. Následně jsou to údaje o předpovídaném počasí (2.). Následující část (3.) je věnována specifikaci údajů o letu a letounu a také časům příletu a odletu na zvolená letiště. Číslo 4. označuje prostor, kde je určen Cost index, který bude použit pro daný let a také vzdušná i pozemní vzdálenost.

V části označené číslem 5. jsou rozepsány maximální a předpokládané hmotnosti letounu – vzletová hmotnost, přistávací hmotnost a hmotnost bez paliva. Napravo (6.) jsou pak další údaje o počasí, konkrétně o větru a ISA.

Pod údaji o hmotnostech se nachází počet pasažérů (7.), níže pak záložní letiště přistání (8.) a záložní letiště vzletu (9.). Destinace je označena číslem (10.).

V oblasti označené číslem 11. jsou palivové parametry, pod nimiž se nachází místo pro informace o tankeringu (12.). V prvním řádku se nachází informace, zda je doporučeno tuto metodu využít a následně jaký je zisk popř. ztráta při jejím využití. Pole 13. zobrazuje dodatek k rozhodnutí o tankeringu a to pro +/- 1000 kg paliva. Při této hmotnosti tedy není tankering výhodný, ovšem na dalším obrázku je zřetelné, že při tankeringu většího množství paliva se tato metoda vyplatí.

BRIEFING PACKAGE

17-may-2012 15:35:30 UTC

User: c039037

1. OK761 17MAY2012 LFPG-LKPR A320 OKMEI RELEASE 0609 17MAY12
 OFF 2 PARIS/CHARLES D-PRAGUE/RUZYNE
2. WX PROG 1712 1718 OBS 1700 1700
3. OK761 A320-214 LFPG/CDG LKPR/PRG
 17MAY2012 OKMEI 1340/1358 1516/1521
 CTOT:..... STA 1525
4. CRZ SYS CI15
 GND DIST 544
 AIR DIST 503
5. MAXIMUM TOM 73500 LAM 66000 ZFM 62500
 ESTIMATED TOM 63420 LAM 60162 ZFM 57946
6. AVGE WIND 297/041
 AVGE W/C P034
 AVG ISA M001
7. PAX 149
8. ALTN LKKV
9. TKOF ALTN
10. TO DEST LKPR
- 11.
- | | FUEL | TIME | |
|-----------|-------|------|------|
| TRIP | 3258 | 0118 | |
| MINCONT | 188 | 0005 | |
| ALTN | 939 | 0023 | LKKV |
| FRSV | 1089 | 0030 | |
| ADDT | 0 | 0000 | |
| TOF | 5474 | 0216 | |
| TAXI | 207 | | |
| FOB | 5681 | | |
| CMD EXTRA | | | |
| BLOCK | | | |
12. NO TANKERING RECOMMENDED
 LOSS FOR EXTRA FUEL: 0 USD/TO
13. ZFM 58946: PLN TOF 5540 /TRIP 3293 5 MIN HOLD LKPR: 193 EXTRA
 ZFM 56946: PLN TOF 5412 /TRIP 3225 (INCL. 12 TRANSP)

Obr. č. 6.7 OFP bez použití tankeringu [25]

Na následujícím OFP je vidět větší množství dodatečného paliva (1.), které bylo natankováno za účelem tankeringu. Toto palivo ovšem zvýšilo spotřebu a tedy se poněkud zvýšilo i palivo potřebné na samotný let (2.). Následně lze vidět kolik USD se podaří ušetřit (3.) na základě zvýšeného tankování dodatečného paliva za nižší cenu.

BRIEFING PACKAGE

17-may-2012 15:08:29 UTC

OK761 17MAY2012 LFPG-LKPR A320 OKMEI RELEASE 0616 17MAY12
 OFP 3 PARIS/CHARLES D-PRAGUE/RUZYNE
 WX PROG 1712 1718 OBS 1700 1700

OK761 A320-214 LFPG/CDG LKPR/PRG CRZ SYS CI15
 17MAY2012 OKMEI 1340/1358 1516/1521 GND DIST 544
 CTOT:..... STA 1525 AIR DIST 500

MAXIMUM TOM 73500 LAM 66000 ZFM 62500 AVGE WIND 297/044
 ESTIMATED TOM 66685 LAM 63318 ZFM 57946 AVGE W/C P037
 AVG ISA M001

PAX 149

ALTN LKKV TKOF ALTN

TO DEST LKPR

	FUEL	TIME	
TRIP	3367	0118	2.
MINCONT	196	0005	
ALTN	939	0023	LKKV
FRSV	1089	0030	

ADDT	3148	0113	1.
TOF	8739	0329	
TAXI	207		
FOB	8946		
CMD EXTRA		
BLOCK		

TANKERING SECTOR			
GAIN (P): 155 USD	(3148) KG		3.
BASED ON SECOND LEG			

ZFM 58946: PLN TOF 8805 /TRIP 3402 5 MIN HOLD LKPR: 193 EXTRA
 ZFM 56946: PLN TOF 8677 /TRIP 3335 (INCL. 12 TRANSP)

Obr. č. 6.8 OFP za použití tankeringu [25]

6.4.2 Manuální výpočet paliva pro let a užití tankeringu

Manuální výpočet je v tomto případě v poměrně dost založen na odhadech. V případě, že je počáteční odhad hmotnosti letounu nesprávný, může se výsledek od elektronického výpočtu značně lišit.

V tomto případě bude použit stejný let z Paříže do Prahy, jako v elektronickém výpočtu, ovšem s letounem A319 namísto A320. Cena paliva bude také odlišná, pro její určení je nutno provést přepočítání z jednotek objemových na jednotky váhové. Kdy převodní poměr mezi palivem JET A-1 a hmotnostní jednotkou je následující:

$$1 \text{ l} = 0,8 \text{ kg}$$

Konkrétně tedy na letišti vzletu bude cena $0,485 \text{ USD}\cdot\text{kg}^{-1}$ a v destinaci bude cena $0,834 \text{ USD}\cdot\text{kg}^{-1}$. Předpokládána ZFM letounu bude 54 000 kg a let bude probíhat v cestovní hladině FL 350. Vzdušná vzdálenost mezi jednotlivými letišti je 503 námořních mil.

V první fázi kdy je potřeba využít výkonnostní tabulky a zároveň pro zmíněný postup znát hmotnost letounu. Zde je problém, že neznáme hmotnost paliva potřebného pro let, protože teprve bude počítáno. Z toho důvodu se zde využije odhad založený na průměrné spotřebě letounu 2 400 kg/ hod.

Zmíněný let trvá přibližně 1 hod. a 45 min. Z těchto údajů se vypočte potřebné palivo na let tedy cca 4 025 kg. Následně se vypočtou ostatní složky paliva, které jsou zmíněny v kapitole 4.3.

Údaje týkající se paliva Taxi Fuel a Alternate se budou z důvodu zpřesnění výpočtu přebrána z elektronického výpočtu, protože se v tomto případě hodnoty příliš neliší. Contingency Fuel je v těchto výpočtech určováno metodou 5 % z Trip Fuel a Final Reserve je vyhledáno v tabulce na obrázku 6.6.

Odhad na jednotlivé složky paliva je v hodnotách:

Trip Fuel	4 025 kg
Taxi Fuel	200 kg
Contingency Fuel	201 kg
Alternate	940 kg
Final Reserve	1 125 kg
Celkem	6 491 kg

Tab. č. 6.1 Odhadované množství paliva

Hmotnost letounu při vzletu tedy předpokládáme na 60 491 kg. V tuto chvíli bude následovat výpočet přesného množství paliva, na základě údajů uvedených ve výkonnostních tabulkách a podle postupů popsaných v kapitole 6.2.

Let trvá 1 hod. 45. min. Z obrázku 6.3 pro stoupání se určí doba stoupání 18 min., uletěná vzdálenost 111 NM a spotřebované palivo 1 388 kg následně je potřeba určit hodnoty pro klesání z tabulky na obrázku 6.5, konkrétně doba klesání 16,2 min, uletěná vzdálenost 97 NM a spotřebované palivo 158 kg. Poté je možno určit dobu letu v hladině za pomoci odečtení doby stoupání a klesání od celkové doby letu. Let v hladině bude trvat 1, 18 hod.

Z tabulky zobrazené na obrázku 6.4 lze odvodit, že se v průběhu letu v hladině spotřebuje 2 636 kg paliva.

Vypočtené položky pro let jsou:

Trip Fuel	4 182 kg
Taxi Fuel	200 kg
Contingency Fuel	209 kg
Alternate	940 kg
Final Reserve	1 125 kg
Celkem	6 656 kg

Tab. č. 6.2 Vypočtené základní množství paliva pro let

Poté co je proveden výpočet pro základní let, je možno pokračovat s výpočtem pro let s tankeringem. Pro další výpočty budou použity rovnice z kapitoly 6.3.

1. Krok – rozhodnutí, zda je výhodné použít tankering

Požadovaný rozdíl ceny

Jako minimální úspory bude určeno 10 USD·t⁻¹ paliva, čas letu T je 1,75 hod, průměrná spotřeba je 2 390 kg·hod⁻¹ ($F_{FLOW} = TF \cdot T^{-1}$). ZFW Fact bude mít velikost 0,054 a cena paliva na letišti vzletu 0,485 (USD/kg).

$$PD_R = \left(\frac{S_{MIN}}{(T \times F_{FLOW})} \right) + \left(\frac{T \times ZFW \text{ Fact} \times P_{DEP}}{1 - (T \times ZFW \text{ Fact})} \right)$$

$$PD_R = \left(\frac{10}{(1,75 \times 2\,390)} \right) + \left(\frac{1,75 \times 0,054 \times 0,485}{1 - (1,75 \times 0,054)} \right)$$

$$PD_R = +0,05325612$$

Reálný cenový rozdíl

$$PD_{REAL} = P_{DEST} - P_{DEP}$$

$$PD_{REAL} = 0,834 - 0,485$$

$$PD_{REAL} = 0,349$$

$$PD_{REAL} > PD_R$$

Výpočet zda se vyplatí využít tankering vyšel kladně, a tedy je účelné pokračovat ve výpočtech. Avšak předtím než se bude pokračovat ve zjišťování zisku je zapotřebí určit palivo, které je potřeba natankovat navíc na zpáteční let a také o kolik nám toto palivo změní spotřebu letounu.

Potřebné palivo na zpáteční let z destinace je rovno základnímu palivu pro let, ovšem pro let do destinace let se vzletová hmotnost letounu o toto palivo zvýší. To znamená, že vzletová hmotnost nebude 60 491 kg, ale 64 673 kg. Proto je nutno provést přepočítání spotřeby letounu pro tuto TOM.

Potřebné palivo následně vzroste na množství:

Trip Fuel	4 336 kg
Taxi Fuel	200 kg
Contingency Fuel	217 kg
Alternate	940 kg
Final Reserve	1 150 kg
Celkem	6 843 kg
+ Additional Fuel/ Tank Extra	4 182 kg

Tab. č. 6.3 Množství paliva při využití metody tankering

Obdobně jako u předcházejícího případu lze z výkonnostních tabulek určit složky Trip Fuel: stoupání, které bude trvat 20 min a spotřebuje se během tohoto času 1 526 kg paliva, následně pro klesání, které bude trvat 16,2 min a spotřebuje se 158 a nakonec 1,14 hod. dlouhý let v hladině, během kterého se spotřebuje 2 652 kg paliva.

Další složky paliva, které také zvýšily svou hodnotu, jsou Contingency Fuel, Final Reserve. V tabulce také přibyla nová položka reprezentující nadbytečné palivo pro zpáteční let (Additional Fuel/ Tank Extra).

Rozdíl paliva

Následující výpočet bude věnován určení rozdílu paliva na palubě při použití tankeringu a při normální letu.

$$\Delta F = (TRIP_{TANK} + CONT_{TANK} + FRSV_{TANK} + ALT_{TANK} + HOLD_{TANK} + ADDT_{TANK} - TRIP_{BAS} - CONT_{BAS} - FRSV_{BAS} - ALT_{BAS} - HOLD_{BAS} - ADDT_{BAS})$$

$$\Delta F = 4\,366 + 217 + 1\,150 + 940 + 4\,182 - 4\,182 - 209 - 1\,125 - 940$$

$$\Delta F = 4\,369$$

2. Krok – výpočet úspory

Benefit

$$F_{BENEFIT} = (CONT_{TNAK} + FRSV_{TANK} + ALT_{TANK} + HOLD_{TANK} + ADDT_{TANK} - CONT_{BAS} - FRSV_{BAS} - ALT_{BAS} - HOLD_{BAS} - ADDT_{BAS})$$

$$F_{BENEFIT} = 217 + 1\,150 + 940 + 4\,182 - 209 - 1\,125 - 940$$

$$F_{BENEFIT} = 4\,215 \text{ kg}$$

$$B = F_{BENEFIT} \times (P_{DEST} - P_{DEP})$$

$$B = 4\,215 \times 0,349$$

$$B = 1\,471 \text{ USD}$$

Na základě provedení výše uvedených výpočtů byl zjištěn Benefit, který má hodnotu 1 471 USD.

Náklady na přepravu

Nyní je potřeba vypočítat cenu přepravy zvýšeného množství paliva. Ve výpočtu je třeba určit rozdíl hodnot Trip Fuel v případě s tankeringem a bez tankeringu. Zjištěná hodnota bude následně vynásobena cenou paliva na letišti vzletu.

$$CT = (TRIP_{TANK} - TRIP_{BAS}) \times P_{DEP}$$

$$CT = (4\,336 - 4\,182) \times 0,485$$

$$CT = 74,69 \text{ USD}$$

Náklady na přepravu paliva při tankeringu budou činit 74,69 USD.

Úspory

Úspory se z těchto hodnoty určí pomocí vztahu:

$$S = B - CT$$

Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že pro určení úspor je nutno finanční Benefit snížit o cenu přepravy paliva pro tankering.

$$S = 1\,471 - 74,69$$

$$S = 1\,396,31 \text{ USD}$$

Úsporv za využití metody tankering činí 1 396, 31 USD.

3. Krok – konečné úspory

V posledním kroku se do výpočtu zahrne opotřebení letounu z důvodu zvýšené hmotnosti. Tento jev lze vyjádřit pomocí tzv. Retail Factor, který je v tomto příkladu zvolen s hodnotou 0,3.

$$FS = S - Retail\ Factor \times \Delta F$$

$$FS = 1\,396,31 - 0,25 \times 4369$$

$$FS = 304,06 \text{ USD}$$

Po zahrnutí všech nákladů spojených s tankeringem mají úspory při využití této metody velikost 304,06 USD.

7. Přepočty leteckých jednotek na jednotky SI

Z důvodu, že se v letectví využívají převážně angloamerické jednotky, jsou zde uvedeny základní přepočty těchto jednotek na jednotky soustavy SI.

Angloamerická jednotka	Jednotka SI
Feet (ft)	0,3048 m
Galon (USG)	3,78541178 l
Libra (lb.)	0,45359237 kg
Námořní míle (NM)	1 852 m
Uzel (kt)	1,853 km/h = 0,515 m/s

Tab. č. 7.1 Přepočty jednotek

V letectví se využívá měna USD. Kurz pro 20. 5. 2015 u České Národní Banky činí 24.4710 Kč. [25]

8. Závěr

Cílem práce bylo popsat a porovnat způsoby optimalizace tankování pohonných hmot v podmínkách civilního leteckého dopravce. Konkrétně se práce zaměřuje na metodu tankering.

V úvodu jsou popsány užívané pohonné hmoty, od jejich výroby až po jejich fyzikální vlastnosti.

Dále byly také popsány faktory, které ovlivňují samotný let a následně podrobněji rozepsány ty, které mají přímý markantní vliv na metodu tankering. Tyto informace jsou doplněny údaji týkajícími se ceny leteckých pohonných hmot.

V práci byly také popsány legislativní požadavky, které je nutno dodržet při plánování letu.

Metoda tankering byla popsána spolu s jejími výhodami a nevýhodami. Pozornost je také věnována rizikům, které může převážení většího množství paliva nést. Pro představu o kalkulacích této metody leteckými dopravci v praxi je v práci popsán plánovací software LIDO.

Praktická část je věnována aplikaci teoretických poznatků spolu prezentací rovnic pro výpočty spojené s metodou tankeringu. Jsou rozpracovány dva postupy a to elektronický a manuální. Elektronický výpočet je založen na vygenerovaném letovém plánu pro přesný let společnosti ČSA, kde prokazatelně došlo k úsporám na základě využití metody tankering. Manuální výpočet je proveden na základě využití tabulek a rovnic poskytnutých opět společností ČSA.

Vzhledem k tomu, že informace a využitelnost rovnice jsou omezené, nedají se tyto výpočty s těmi elektronickými srovnávat. Pro přesnější manuální výpočty by bylo potřeba mnohem složitějších přesnějších rovnic, které by zahrnovaly mnohem více proměnných.

Metoda tankering se ovšem hojně využívá v praxi a přináší tak efektivní snižování nákladů na let.

Tato práce je výhodná pro následný rozvoj, další řešení dané problematiky a možnosti zkoumání tohoto téma.

Poděkování

Poděkování zasluhuje pan Ing. Vojtěch Graf, za vedení a svou pomoc při tvorbě bakalářské práce.

Poděkování také zasluhuje pan Ing. Jiří Hořinka a pan Ing. Nikola Tadiál, za spolupráci a obětavý přístup při získávání údajů pro praktickou část práce.

9. Seznam použité literatury

- [1] PLAČKOVÁ, Veronika. *Problémy zajištění paliva*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký Ústav. [cit. 2015-05-03].
- [2] Ing. Miroslav Růžička, CSc. *LETECKÁ PALIVA*. [prezentace PowerPoint]. 2005 Praha [cit. 2015-05-18].
- [3] <http://www.bishopsoriginal.cz/wp-content/uploads/letak-prisady-do-paliv.pdf>. <http://www.bishopsoriginal.cz> ©2008 All Rights Reserved [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.bishopsoriginal.cz/wp-content/uploads/letak-prisady-do-paliv.pdf>
- [4] BLAŽEK, J. a V. RÁBL. 2006. *Základy zpracování a využití ropy* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-619-2/pdf/186.pdf
- [5] petroleum.cz, Výkladový Slovník: Bod vzplanutí. *petroleum.cz*. [online]. Copyright © petroleum.cz, 2007-2015 [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/slovník.aspx?pid=62>
- [6] <http://old.vscht.cz/ktt/studium/predmety/lap/03-btbk.pdf>. [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/ktt/studium/predmety/lap/03-btbk.pdf>
- [7] ČSN ISO 6250/ ČSN online. [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://seznamcsn.unmz.cz/Detailnormy.aspx?k=15869>
- [8] Ministerstvo obrany a Armáda České republiky. *Ministerstvo obrany 2014*. [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_9001_10000/9262/017.pdf
- [9] Sytá pára. 2013. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Syt%C3%A1_p%C3%A1ra
- [10] petroleum.cz, Pohonné hmoty pro leteckou dopravu. *petroleum.cz*. [online]. Copyright © petroleum.cz, 2007-2015 [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyrobky/jet.aspx>
- [11] World-wide Civil Jet Fuel Grades – Shell Global. The Shell global homepage. [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.shell.com/global/products-services/solutions-for-businesses/aviation/shell-aviation-fuels/fuels/types/civil-jet-fuel-grades.html>

- [12] VIDALO. 2009. TANKERING vs. DEICING. [program Excel] [cit. 2015-05-05].
- [13] VÁLEK, Václav. OFP refresher (A32S) [prezentace PowerPoint]. 2012 [cit. 2015-05-11].
- [14] Fuel Prices – Airports and Costs (Pedro Capelo). Airports and Costs. [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://aerportos.weebly.com/fuel-prices.html#.VGvAPDSG8uw>
- [15] AirportWatch | Jet Fuel Price. *Airportwatch*. [online]. All content © Airportwatch 2015. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.airportwatch.org.uk/iata-jet-fuel-price-monitor-information/>
- [16] TOMANOVÁ, Veronika Anna. *Postupy pro nakládání a vyvažování letadel*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký Ústav. [cit. 2015-05-11].
- [17] ČVUT, 2013. *LETECKÝ ZÁKON LETIŠTĚ*. Praha. [Online] [cit. 2015-05-11]. Dostupné také z: <http://aa.fd.cvut.cz/wp-content/uploads/2013/06/letiste.pdf>
- [18] LIDO, Lufthansa Integrated Dispatch Operation [program]. Kelsterbach: Lufthansa systems AG, 2015 [cit. 2015-05-11].
- [19] HLAVA 2.2 – LETOVÝ PROVOZ Předpis L 6/ II. Řízení Letového Provozu České Republiky Letecká informační služba. [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6/L-6ii/data/effective/2-h2.pdf>
- [20] Zásady určování množství paliva – Flymag. *Flying Academy*. [online]. Copyright © 2009–2015 flyMag. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.flymag.cz/article.php?id=8539>
- [21] CZECH AIRLINES. 2015. BASIC DATA CHART COLLECTION A-319: A319-E6/2. 21. 4. 2015. [cit. 2015-05-08].
- [22] CZECH AIRLINES. 2005. AIRBUS A318 A319 A320 A321: FLIGHT CREW OPERATIONAL MANUAL. 1. 4. 2015. [cit. 2015-05-07].
- [23] ING. TADIAL, Nikola. 2012. *Tankering calculation*. 2. 7. 2012. [cit. 2015-05-11].
- [24] CZECH AIRLINES. 2012. *OPERATIONAL FLIGHT PLAN*. 17. 5. 2012. [cit. 2015-05-11].

[25] Dolar, Americký dolar USD, kurzy měn. Kurzycz [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/kurzy-men/nejlepsi-kurzy/USD-americky-dolar/>

Seznam použitých obrázků

Obr. č. 2.1.	Destilační kolona [1]
Obr. č. 3.1	Formulář pro tvorbu námrazy [12]
Obr. č. 3.2	Vliv CI na čas a palivo potřebné pro let [13]
Obr. č. 4.2	Vývoj ceny leteckého petroleje a surové ropy [15]
Obr. č. 4.2	Znázornění publikovaných délek [17]
Obr. č. 5.1	Vstupní obrazovka plánovacího software LIDO [18]
Obr. č. 5.2	Analýza plánování v software LIDO [18]
Obr. č. 5.3	Výpočet nákladů na let v software LIDO [18]
Obr. č. 6.1	Přehled hmotností zvoleného letounu [21]
Obr. č. 6.2	Nádrže letounu Airbus A319 [22]
Obr. č. 6.3	Výkonnostní parametry pro stoupání [22]
Obr. č. 6.4	Výkonnostní parametry pro let v hladině [22]
Obr. č. 6.5	Výkonnostní parametry pro klesání [22]
Obr. č. 6.6	Výkonnostní parametry pro vyčkávání [22]
Obr. č. 6.7	OFP bez použití tankeringu [24]
Obr. č. 6.8	OFP za použití tankeringu [24]

Seznam použitých tabulek

Tab. č. 2.1	Vlastnosti paliva JET A-1 [8]
Tab. č. 4.1	Ceny JET A-1 na zvolených letištích [14]
Tab. č. 6.1	Vypočtené základní množství paliva pro let
Tab. č. 6.2	Vypočtené základní množství paliva pro let
Tab. č. 6.3	Množství paliva při využití metody tankering
Tab. č. 7.1	Přepočty jednotek