



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Jan Cejnar

Vliv teploty na korekce výšky a její provozní aplikace

Bakalářská práce

2019



K621 **Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jan Cejnar

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Vliv teploty na korekce výšky a její provozní aplikace**

Název tématu (anglicky): Temperature Effect to Altitude Corrections and Operational Application

Zásady pro vypracování

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

- Popis vzduchové hmoty a uvedení do problematiky
- Výškové korekce způsobené změnou teploty vzduchu
- Porovnání postupů provádění korekcí vybraných provozovatelů
- Návrh optimálního postupu provádění korekcí



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

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

Seznam odborné literatury: Meteorology - OAA ATPL Ground Training
L 8168
EUROCONTROL Guidelines for Cold Temperature
Corrections by ATS

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Iveta Kameníková**

Datum zadání bakalářské práce: **19. října 2018**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **26. srpna 2019**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Jan Cejnar
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 19. října 2018

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé bakalářské práce paní Mgr. Ivetě Kameníkové za odborné vedení práce a cenné rady při konzultacích, které mi pomohly při zpracování. Poděkování patří také všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 20. 8. 2019


.....

Podpis

Vliv teploty na korekce výšky a její provozní aplikace

bakalářská práce

2019

Jan Cejnar

Abstrakt

Úvod této bakalářské práce je zaměřen na seznámení čtenáře s legislativními požadavky a metodikou provádění oprav výšky. Cílem práce je vyhodnocení současných provozních postupů uplatňovaných pro korekce výšky se změnou okolních parametrů. Závěr práce je věnován definování výšek vyžadujících opravu a návrhu optimální metody provádění oprav.

Abstract

The introduction of the bachelor thesis is focused to familiarize the reader with legislative requirements and methods of altitude corrections. The goal of the thesis is evaluation of the presently used operational procedures applied to altitude corrections according to the change of air parameters. The final part of the thesis determines altitudes necessary for correction and represents the proposal of the optimized altitude corrections method.

Klíčová slova

Vzduchová hmota, oprava výšky, vliv teploty, vliv tlaku, QNH, legislativa, minimální výšky, RNAV

Key words

Air mass, altitude correction, temperature impact, pressure impact, QNH, legislation, minimum altitudes, RNAV

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
1 Úvod	11
2 Mezinárodní standartní atmosféra (MSA)	13
3 Vzduchová hmota	15
3.1 Vliv tlaku	15
3.2 Vliv teploty	15
3.3 Vliv hustoty	16
4 Typy tlaků	17
4.1 QFE	17
4.2 QNH	17
4.3 QFF	18
4.4 QNE	18
5 Definice výšek	19
5.1 Výška nad mořem (elevation)	19
5.2 Výška (height)	19
5.3 Nadmořská výška (altitude)	19
5.4 Letová hladina (flight level)	19
5.5 Tlaková nadmořská výška (pressure altitude)	20
5.6 Hustotní výška (density altitude)	20
5.7 Indikovaná výška (indicated altitude)	20
5.8 Skutečná výška (true altitude)	20
6 Jednoduchý barometrický výškoměr	21
6.1 Konstrukce	21
6.2 Kalibrace	21
6.3 Chyby přístroje	23
6.3.1 Přístrojová	23
6.3.2 Polohová	23
6.3.3 Teplotní	23
6.4 Vliv tlaku na indikaci	23
6.5 Vliv teploty na indikaci	24
7 Legislativa	25
7.1 Odpovědnost provozovatele	25
7.2 Odpovědnost velitele letadla	25
7.3 Odpovědnost řízení letového provozu	26
7.4 Oprava na tlak	26

7.5	Oprava na vítr	27
7.6	Oprava na teplotu	27
7.6.1	Jednoduchá oprava	27
7.6.2	Oprava pro specifické podmínky	28
7.6.3	Přesná oprava	28
7.6.4	Tabulky oprav	29
8	Automatická kompenzace výšky	30
9	Příklady výpočtu výšek.....	31
9.1	Vliv tlaku	32
9.2	Vliv teploty	33
9.3	Kombinované vlivy	34
10	Rozbor postupů používaných v provozu.....	36
10.1	Země provozovatele	36
10.2	Typ provozu	37
10.3	Opravované výšky	37
10.4	Oprava na teplotu	38
10.5	Oprava na tlak	39
10.6	Oprava na vítr	40
10.7	Shrnutí	40
11	Návrh opravovaných výšek.....	42
11.1	Minimální výšky	42
11.1.1	MOCA.....	42
11.1.2	MORA.....	42
11.1.3	Grid MORA	43
11.1.4	MEA.....	43
11.1.5	MFA.....	43
11.1.6	MSA.....	43
11.2	Odlet.....	44
11.2.1	Výška definující postup odletu	44
11.2.2	Přeletová výška fixu	44
11.2.3	Výška pro požadovaný gradient stoupání	45
11.3	Přílet	45
11.3.1	Výška příletové trati	45
11.3.2	MHA	46
11.4	Počáteční a střední přiblížení.....	46
11.4.1	Procedure/Minimum altitude	47

11.4.2	Racetrack	47
11.5	Konečné přiblížení – konvenční navigace	47
11.5.1	NDB.....	48
11.5.2	NDB/DME	49
11.5.3	VOR.....	50
11.5.4	VOR/DME.....	50
11.5.5	ILS.....	50
11.5.6	MLS	51
11.6	Konečné přiblížení – prostorová navigace	52
11.6.1	RNAV přiblížení do minim LNAV.....	52
11.6.2	RNAV přiblížení do minim LNAV/VNAV	52
11.6.3	RNAV přiblížení do minim LPV	53
11.6.4	RNAV přiblížení do minim LP.....	53
11.6.5	GLS	53
11.7	Nezdařené přiblížení.....	54
11.7.1	Výška definující postup nezdařeného přiblížení	54
11.7.2	Missed approach altitude	54
11.8	Shrnutí.....	55
12	Provádění teplotních oprav.....	56
12.1	Metodika	56
12.2	Vzorový příklad	56
13	Závěr.....	61
14	Seznam obrázků	62
15	Seznam tabulek.....	63
16	Seznam grafů.....	64
17	Použité zdroje	65

Seznam použitých zkratek

AIP.....	Aeronautical information publication
AMC.....	Airworthiness approval and maintenance criteria
APV	Approach procedure with vertical guidance
ARP	Aerodrome reference point
CDFA.....	Continuous descent final approach
DA.....	Decision altitude
DH	Decision height
DME.....	Distance measuring equipment
EASA	European Union Aviation Safety Agency
FAF	Final approach fix
FAP.....	Final approach point
FL	Flight level
FMC.....	Flight management computer
FMS.....	Flight management system
GBAS.....	Ground-based augmentation system
GLS	GBAS landing system
GNSS	Global navigation satellite system
GPS.....	Global positioning system
GPWS.....	Ground proximity warning system
HRP	Heliport reference point
IAF	Initial approach fix
ICAO.....	International Civil Aviation Organisation
IF	Intermediate approach fix
IFR.....	Instrument flight rules
ILS	Instrument landing system
IMC.....	Instrument meteorological conditions
ISA.....	International standard atmosphere
LNAV	Lateral navigation
LP	Localiser performance
LPV.....	Localiser performance with vertical guidance
MAPt.....	Missed approach point
MDA.....	Minimum descent altitude
MDH	Minimum descent height
MEA.....	Minimum en-route altitude
MFA	Minimum flight altitude

MHA.....	Minimum holding altitude
MLS	Microwave landing system
MOCA.....	Minimum obstruction clearance altitude
MORA.....	Minimum off-route altitude
MSA.....	Minimum sector altitude
MSL	Mean sea level
NDB.....	Non-directional radio beacon
NGFMS.....	Next Generation Flight Management System
OAT	Outside air temperature
RNAV.....	Area navigation
RWY	Runway
SBAS	Satellite-based augmentation system
SID	Standard instrument departure
STAR.....	Standard instrument arrival
VMC.....	Visual meteorological conditions
VNAV.....	Vertical navigation
VOR.....	VHF omnidirectional radio range
VPA	Vertical path angle

1 Úvod

Obchodní letecká doprava patří mezi nejrychleji se rozvíjející způsoby přepravy. Nejde pouze o počet pohybů a objem přepravených osob. Součástí je také vývoj nových technologií, legislativy a optimalizace provozních postupů. V minulosti byla aplikace oprav výšky na vliv teploty výjimkou u několika málo provozovatelů. V uplynulých letech se situace začala postupně zlepšovat. Ačkoliv se jedná převážně o sezónní, případně regionální problematiku, je třeba jí věnovat dostatečnou pozornost. V mnoha případech provedení korekce nemá významný vliv na provedení letu, avšak v extrémních podmínkách přímo ovlivňuje bezpečnost letu.

Úvodní část práce shrne teoretický základ nezbytný pro porozumění nutnosti provádění oprav výšky. Součástí je popis chování vzduchové hmoty a působení jednotlivých činitelů. Pro celkové pochopení je třeba také znát princip fungování barometrického výškoměru využívaného v současných zástavbách dopravních letounů včetně jeho nastavení a možnosti indikace. Významnou součástí teoretické části je legislativní rámec upravující provádění korekcí výšky.

Následující kapitola bude věnována průzkumu současných metod používaných v obchodní letecké dopravě. Průzkum s využitím provozních příruček umožňuje porovnat metodiku mezi jednotlivými leteckými dopravci, současně s legislativními požadavky.

Závěrečná část se zaměří na výšky vyžadující provádění korekcí a vysvětlení jejich významu v letových postupech. Dále zhodnocení použití rozdílných metod provádění teplotních oprav v závislosti na legislativních požadavcích a možnosti praktického využití v provozu.

Součástí práce budou také vzorové výpočty oprav výšky v závislosti na teplotě a tlaku. Jedná se o výpočty pomocí metod využívaných v provozu. V první řadě o vzorové úlohy reprezentující vliv teploty a tlaku na změnu výšky, vyskytující se také v teoretické části ATPL. Následně praktický příklad oprav výšky přístrojového přiblížení pomocí tabulky přídavek výšky.

Hlavní motivací pro výběr tématu byla jeho zajímavost a hlavně praktické využití v leteckém provozu. Další motivací byl můj praktický výcvik, kde jsme začali tyto korekce oficiálně provádět jako první letecká škola v ČR. Dále pak legislativní výklad, který nechává poměrně volné pole působnosti leteckým provozovatelům v nastavení metodiky.

Dílčím cílem této bakalářské práce je vyhodnocení současných postupů provádění korekcí výšky v závislosti na změně okolních vlivů. V návaznosti na to je hlavním cílem vyhodnotit optimální metodu výpočtu korekcí a popsat výšky, ve kterých je nutné opravy provádět.

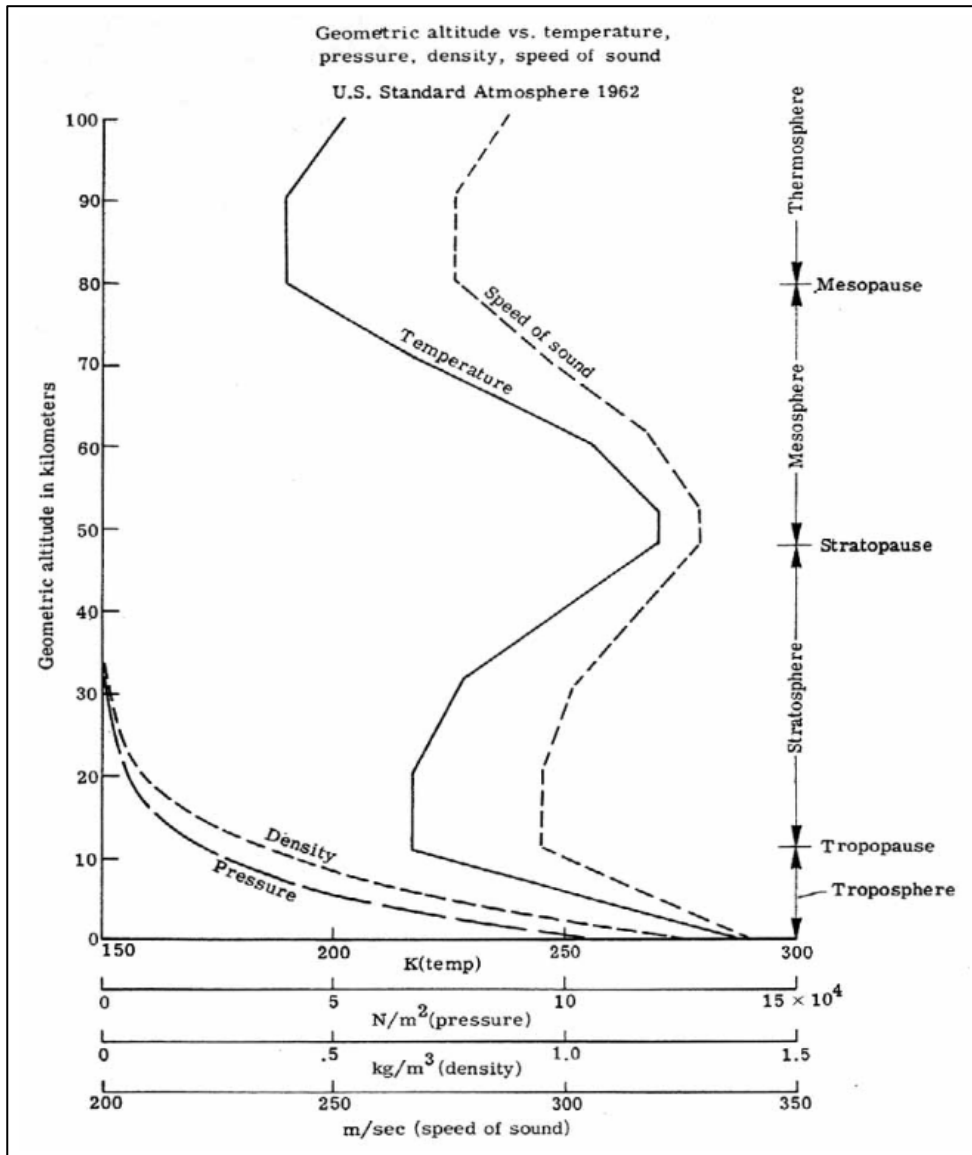
2 Mezinárodní standartní atmosféra (MSA¹)

Mezinárodní standartní atmosféra je atmosférický model vytvořený pro potřeby stanovování výkonnosti letadel a raket, stejně jako kalibrace přístrojů. Pro tuto práci bude nadále podstatné uvažování standartní atmosféry s ohledem na kalibrace výškoměrů. Tento model vznikl současně v Evropě a USA ve 20. letech minulého století. Pro zajištění jednotnosti byl v roce 1952 přijat model pod standardem ICAO. Ten byl v roce 1962 doplněn o vlastnosti vzduchové hmoty ve vysokých nadmořských výškách, čímž vznikl atmosférický model, jak jej známe dnes. Jedná se o souhrn vlastností vzduchové hmoty a jejich vertikální vývoj. Mezi uvažované vlastnosti patří tlak, teplota, hustota, gravitační zrychlení a rychlost zvuku. Vzduchová hmota mezinárodní standartní atmosféry neobsahuje žádné prachové a vodní částice. Souhrn vlastností je vztažen ke střední hladině moře: [1]

- tlak 1013,25 hPa
- teplota 15 °C
- hustota 1,225 kg/m³
- gravitační zrychlení..... 9,801 m/s²
- rychlost zvuku..... 340,294 m/s

¹ pojem Mezinárodní standartní atmosféra (MSA) je pro potřeby této práce nahrazen anglickým ekvivalentem International standard atmosphere (ISA), aby nedocházelo k záměně s pojmem Minimum sector altitude (MSA)

Vertikální vývoj sledovaných vlastností popisuje graf na Obrázku 1. Osa Y popisuje vertikální vývoj od střední hladiny moře do výšky 100 km, doplněný o rozdělení atmosféry z hlediska teplotního vývoje. Na rozšířené ose X jsou uvedeny teplota, tlak, hustota vzduchu a rychlost zvuku. Podrobněji jsou jednotlivé vlastnosti atmosféry popsány v kapitole 3 ve vztahu k chování vzduchové hmoty. [1]



Obrázek 1 – Model ISA atmosféry [1]

3 Vzduchová hmota

Na základě předchozí kapitoly se lze domnívat, že vzduchová hmota by měla přejímat vlastnosti definované modelem ISA. Skutečné vlastnosti se však téměř vždy liší. Hlavními příčinami jsou ohřívání zemského povrchu od Slunce a následné ohřívání vzduchové hmoty, vlastnosti zemského povrchu a přítomnost vodní páry. Výsledkem jsou změny teploty, tlaku, hustoty a s tím související změny vertikálního profilu. Pochopení chování vzduchové hmoty je klíčové pro další část práce. [2]

3.1 Vliv tlaku

Tlak je definován jako síla působící na plochu. V případě vzduchové hmoty se jedná o působení hmotnosti vzduchového sloupce vlivem gravitačního pole Země nad uvažovaným povrchem. Atmosférický tlak působí na objekt nacházející se v atmosféře ve všech směrech stejnou silou.

Jestliže na střední hladině moře působí na uvažovaný povrch celková hmotnost vzduchového sloupce, pak s rostoucí výškou dochází k poklesu síly vyvozované hmotností sloupce, který se nachází nad zmíněnou výškou. Z toho plyne, že vždy dochází k poklesu tlaku s výškou. Pokles je výraznější v blízkosti zemského povrchu, protože většina hmotnosti vzduchu je koncentrována v blízkosti země. Pokles podle ISA popisuje Obrázek 1, tedy pokles tlaku s výškou je 1 hPa na 27 ft na střední hladině moře. Ve výšce 10 000 ft je již pokles tlaku 1 hPa na 36 ft.

Atmosférický tlak se mění také v horizontální rovině. Tyto změny jsou způsobeny vlivem rozdílné hmotnosti vzduchových sloupců nacházejících se nad odlišnými typy zemského povrchu. Tedy oblast s větší hmotností vzduchové hmoty bude představovat oblast vysokého tlaku a naopak. Na rozdíl od vertikální změny tlaku, nelze určit závislost horizontální změny. [2]

3.2 Vliv teploty

Vliv teploty úzce souvisí s atmosférickým tlakem vzduchové hmoty. Se změnou teploty dochází ke změně vertikálního poklesu tlaku. V případě vyšší teploty vzduchu dochází ke zvýšenému pohybu vzduchových částic, což má za následek pokles hustoty vzduchu. To vyústí v rozpínání vzduchového sloupce. Následný pokles tlaku s výškou je tedy nižší.

Naopak v případě nižší teploty vzduchu ustává pohyb vzduchových částic, hustota vzduchu roste a má za následek smršťování vzduchového sloupce. Následný pokles tlaku s výškou je tedy vyšší.

Změna teploty s výškou nemusí vždy znamenat pokles. Ačkoliv model ISA uvažuje lineární pokles teploty s výškou o 0,65 °C/100 m, tedy o 1,98 °C/1000 ft do výšky 36 090 ft, chování reálné vzduchové hmoty se liší. Mohou nastat 3 základní situace: [2]

- pokles teploty s výškou v závislosti na nasycení vzduchových částic
- zachování konstantní teploty s výškou (izotermie)
- růst teploty s výškou (inverze)

3.3 Vliv hustoty

Hustota je definována jako hmotnost na jednotku objemu. Dle modelu ISA je hustota na střední hladině moře 1,225 kg/m³. Nejvyšší hustota se nachází právě v blízkosti zemského povrchu, kde působí největší hmotnost vzduchového sloupce.

S výškou hustota podle ISA klesá, jak popisuje Obrázek 1. V reálné vzduchové hmotě však závisí pokles na tlaku, teplotě a vlhkosti obsažené ve vzduchu.

- *hustota je přímo úměrná tlaku* – s rostoucím tlakem je vzduchový sloupec stlačován, což má za následek zvýšení hustoty a naopak.
- *hustota je nepřímo úměrná teplotě* – s rostoucí teplotou se vzduchový sloupec rozpíná, což má za následek snížení hustoty a naopak.
- *hustota je nepřímo úměrná vlhkosti*

Vlhkost je vyjádření obsahu vodních par ve vzduchu. Vlhký vzduch má nižší hustotu, protože molekuly vody H₂O jsou lehčí, než molekuly N₂ a O₂, které mají hlavní zastoupení ve složení vzduchu. [2]

4 Typy tlaků

V letectví se využívá několik typů tlaků vyjádřených pomocí Q-kódů. Následující část je věnována jejich rozdělení a vzájemným vztahům, které mezi nimi existují. Správné nastavení tlaku na výškoměru má rozhodující vliv na jeho indikaci, které je věnována kapitola 5.

4.1 QFE

Tlak QFE je definován jako „*atmosférický tlak vztažený k výšce letiště nad mořem (nebo prahu dráhy)*“. Při nastavení QFE na výškoměru letounu, který se právě nachází na provozní ploše, bude výškoměr indikovat 0 ft. V případě, že se bude letoun nacházet ve vzduchu, výškoměr bude indikovat výšku nad zemí vztaženou k výšce letiště za předpokladu teploty podle ISA. [2], [3]

4.2 QNH

Tlak QNH je definován jako „*atmosférický tlak redukovaný na střední hladinu moře podle podmínek standartní atmosféry*“. Při nastavení QNH na výškoměru letounu, který se právě nachází na provozní ploše, bude výškoměr indikovat nadmořskou výšku letiště. V případě, že se bude letoun nacházet ve vzduchu, bude výškoměr indikovat výšku nad střední hladinou moře za předpokladu teploty podle ISA. Rozdíl mezi QNH a QFE odpovídá výšce letiště nad mořem. Z toho plyne, že při znalosti tlaku QFE a nadmořské výšky letiště, lze snadno dopočítat QNH. Vzájemný vztah mezi QFE a QNH popisuje Tabulka 1. [2], [3]

Tabulka 1 – Vztah QNH a QFE (upraveno autorem) [2]

Poloha stanice	Vztah
Stanice na MSL	QNH = QFE
Stanice nad MSL	QNH > QFE
Stanice pod MSL	QNH < QFE

4.3 QFF

Tlak QFF je definován jako „*atmosférický tlak redukováný na střední hladinu moře podle barometrické formule*“. Tlak QFF je v této práci uveden pouze pro úplnost. Jedná se o tlak používaný pro meteorologická měření, kdy při nastavení QFF je indikována přesná nadmořská výška v daném bodě za dané teploty. Pro účely nastavení výškoměrů se však tento tlak nepoužívá. Vztah mezi QNH a QFF popisuje Tabulka 2. [2], [3]

Tabulka 2 – Vztah QNH a QFF (upraveno autorem) [2]

Poloha stanice	Teplota	Vztah
Stanice na MSL		QFF = QNH
Stanice nad MSL	ISA+	QFF < QNH
	ISA-	QFF > QNH
Stanice pod MSL	ISA+	QFF > QNH
	ISA-	QFF < QNH

4.4 QNE

Pro úplnost je zde uvedena také zkratka QNE, která je spojena se základní hodnotou tlaku 1013,2 hPa. V současné terminologii označován jako „*standardní tlak*“. Při nastavení výškoměru na tuto hodnotu je indikována obecně tlaková výška. Konkrétně letová hladina při nastavení tlaku na 1013,2 hPa – viz 5.4. [2]

5 Definice výšek

V letectví se využívá řada různých výšek a tato kapitola je věnována jejich vysvětlení, vzájemným vztahům a porozumění indikace při uvažovaném nastavení tlaku na výškoměru. Pro jednoznačnost jsou české pojmy doplněny o odpovídající anglické ekvivalenty.

5.1 Výška nad mořem (elevation)

Elevation je „*vertikální vzdálenost bodu na zemském povrchu nebo hladiny splývající se zemským povrchem měřená od střední hladiny moře*“. Tedy v provozu při nastavení výškoměru na QNH je indikována hodnota odpovídající výšce nad mořem. [4]

5.2 Výška (height)

Height je „*vertikální vzdálenost hladiny, bodu nebo předmětu považovaného za bod, měřená od stanovené hladiny*“. Tato poměrně obecná definice může přispět k omylu pochopení tohoto pojmu. V leteckém provozu je termín height chápán, jako výška letounu nad zemským povrchem vztáženým k referenčnímu bodu. Přesnou hodnotu lze získat při nastavení výškoměru na QFE při teplotě odpovídající podmínkám ISA. Případně při použití hodnoty QFF. [4]

5.3 Nadmořská výška (altitude)

Altitude je „*vertikální vzdálenost hladiny, bodu nebo předmětu považovaného za bod, měřená od střední hladiny moře (MSL)*“. Na rozdíl od předchozí výšky má nadmořská výška pevně definovanou hladinu, od které je altitude měřena. Přesnou hodnotu altitude lze získat při nastavení výškoměru na QNH při teplotě odpovídající podmínkám ISA. [5]

5.4 Letová hladina (flight level)

Flight level je „*hladina konstantního atmosférického tlaku, vztážená ke stanovenému základnímu údaji tlaku 1013,2 hPa a oddělená od ostatních tlakových hladin stanovenými intervaly*“. Při nastavení výškoměru na 1013,2 hPa je indikována konstantní relativní výška, ačkoliv skutečná výška nad překážkami se mění vlivem teploty a tlaku. [5]

5.5 Tlaková nadmořská výška (pressure altitude)

Pressure altitude je „*atmosférický tlak vyjádřený nadmořskou výškou, která odpovídá tomuto tlaku ve standardní atmosféře*“. Lze říct, že flight level odpovídá hodnotě pressure altitude pro tlak 1013,2 hPa. Tedy pojem pressure altitude je nadřazený pojmu letová hladina. [5]

5.6 Hustotní výška (density altitude)

Density altitude je „*tlaková nadmořská výška opravená o nestandardní teplotní odchylku*“. Opravou pressure altitude o odchylku teploty od ISA, vznikne density altitude. Tato hodnota je zde uvedena pro úplnost, protože je rozhodující pro stanovování výkonnostních parametrů letounů, nikoliv určování výšky. [6]

5.7 Indikovaná výška (indicated altitude)

Indicated altitude je „*výška, kterou indikuje výškoměr v daném okamžiku*“. Indikovaná výška není kompenzována na vliv teploty a tlaku. [6]

5.8 Skutečná výška (true altitude)

True altitude je „*výška udávána k terénu, nad kterým se letadlo právě nachází*“. Indikovaná a skutečná výška se rovnají pouze ve chvíli, kdy je výškoměr nastavený na referenční tlak převládající v daném místě a teplota odpovídá podmínkám ISA. Pokud se některý z parametrů změní je třeba provést korekci indikované výšky k získání skutečné výšky a naopak. Příklady výpočtů jsou uvedeny v kapitole 9. [8]

6 Jednoduchý barometrický výškoměr

Výškoměr je jedním ze základních palubních přístrojů a součástí minimálního vybavení pro provedení letu. Jedná se o aerometrický přístroj sloužící k indikaci výšky na základě změn statického tlaku vzduchu.

6.1 Konstrukce

Principiálně se jedná o absolutní tlakoměr. Samotné zařízení se skládá z tlakoměrné krabice, do které je přiveden statický tlak od snímače statického tlaku a hermeticky uzavřené tlakové membrány. V tlakové membráně se nachází velmi nízký tlak blížící se vakuu. Pokud tedy roste výška, statický tlak klesá – viz 3.1, a v důsledku toho dochází k rozpínání tlakové membrány proti pružině. Tento pohyb je pomocí převodově-přenosného mechanismu převeden na indikační část výškoměru a projeví se jako nárůst výšky. Výškoměr je doplněn o bimetalický kompenzační mechanismus, sloužící k minimalizaci nepřesností spojených s roztažností částí konstrukce, která je vystavena změnám teploty během letu. Součástí celé konstrukce je otočný knoflík na přístrojové desce, který umožňuje posádce nastavit referenční tlak² – viz kapitola 4, tak aby indikace výšky odpovídala požadované fázi letu. [7]

6.2 Kalibrace

S ohledem na fakt, že vertikální pokles tlaku s výškou není lineární, je kalibrace výškoměru složitý proces. Stejně tak dochází ke změnám teploty a hustoty s výškou, ovlivňující změny tlaku. Závislost tlaku na výšce popisuje rovnice:

$$p_H = p_0 \times \left(1 - \frac{\alpha \times H}{T_0}\right)^{\frac{g}{R \times \alpha}}$$

² pojmem je myšlena libovolná hodnota tlaku nastavovaná posádkou přímo na výškoměru za účelem získat požadovanou indikaci přístroje

Aby bylo možné provést kalibraci přístroje, je nezbytné uvažovat standartní podmínky odvozené od modelu ISA. Na základě toho vznikne kalibrační formule: [8]

$$H = \left[1 - \left(\frac{p_H}{p_0} \right)^{\frac{R \times \alpha}{g}} \right] \times \frac{T_0}{\alpha}$$

H výška

p_H tlak ve výšce H

p_0 tlak ve výšce 0 ft

T_0 teplota ve výšce 0 ft

R plynová konstanta

α teplotní gradient do výšky 11 km (Tabulka 3)

g tíhové zrychlení

Samotná kalibrace probíhá v laboratoři, kdy je výškoměr vystaven sérii změn tlaku a je monitorována indikace přístroje. Následné odchylky od standartních podmínek vzniklé v provozu je třeba kompenzovat, což je také předmětem této práce. Pro kalibraci jsou uvažovány tyto podmínky [7]:

- Atmosférický tlak: 1013,25 hPa
- Teplota: 15 °C
- Hustota: 1,225 kg/m³

Tabulka 3 – Vertikální vývoj teploty

Střední hladina moře – 11 km	Pokles teploty o 6,5 °C/1000m
11 km – 20 km	Konstantní teplota -56,5 °C
20 km – 32 km	Růst teploty o 1 °C/1000m

6.3 Chyby přístroje

6.3.1 Přístrojová

Přístrojová chyba vzniká jako souhrn chyb konstrukce barometrického výškoměru. Tato chyba je přístroji vložena v průběhu výrobního procesu a ovlivňuje jeho indikaci v celém provozním rozsahu. Příklady dílčích chyb jsou vůle mechanismu, tření jednotlivých součástí nebo nevyváženost celého přístroje. [7]

6.3.2 Polohová

Polohová chyba souvisí s nepřesností snímání statického tlaku. Dochází k ní vlivem aerodynamického proudění okolo snímače statického tlaku, obvykle umístěného na trupu letounu. Tato chyba je poměrně malá pro nízké rychlosti, avšak roste s rostoucí rychlostí letu. [7]

6.3.3 Teplotní

Teplotní chyba je závislá na změně okolní teploty, které je výškoměr vystaven. S rostoucí teplotou dochází k rozpínání konstrukce přístroje. S klesající teplotou je tomu naopak. Tento vliv je kompenzován v určitém rozsahu pomocí zmiňovaného bimetalického kompenzačního mechanismu. Tato chyba však nesouvisí s odchylkou teploty od ISA, díky které dochází k rozdílu mezi indikovanou a skutečnou výškou. Vlivu odchylky teploty od ISA na výšku je věnována kapitola 6.5. [8]

6.4 Vliv tlaku na indikaci

Indikace barometrického výškoměru závisí na snímání statického tlaku, jak již bylo popsáno výše. Pro popis vlivu tlaku je nutné uvažovat teplotní podmínky dle ISA. Správná indikace zároveň závisí na nastavení odpovídajícího referenčního tlaku – viz kapitola 4.

Pokud letoun letí z oblasti vysokého tlaku do oblasti nízkého tlaku vzduchu a není přenastaven referenční tlak, pak se letoun nachází níž. Vyšší tlaková hladina se v ten okamžik totiž nachází pod úrovní tlakové hladiny nižšího tlaku, která by měla být použita. Tedy, výškoměr má tendenci indikovat větší výšku nad zemským povrchem, než je skutečná výška.

Naopak platí, že letí-li letoun z oblasti nízkého tlaku do oblasti vysokého tlaku vzduchu, letoun se nachází ve větší výšce a výškoměr má tendenci indikovat nižší výšku, než je skutečná výška. Konkrétní příklad je uveden v kapitole 9.1. [2], [7]

6.5 Vliv teploty na indikaci

Stejně jako tlak, tak i teplota vzduchu významně ovlivňuje fungování barometrického výškoměru. Vliv teploty se projevuje v případech, kdy se teplota liší od podmínek ISA, respektive podmínek uplatňovaných při kalibraci přístroje. Tedy nejedná se pouze o odchylku od standardní teploty, ale také o případy, kdy se pokles teploty s výškou liší od poklesu – viz Tabulka 3.

Pokud se letoun pohybuje v oblasti teploty nižší než ISA, roste hustota vzduchu a vzduchový sloupec pod letounem je víc stlačený, tudíž letoun se nachází v menší výšce. Tedy výškoměr má tendenci indikovat vyšší výšku, než je skutečná výška.

Naopak platí, že pohybuje-li se letoun v oblasti teploty vyšší než ISA, klesá hustota vzduchu a vzduchový sloupec pod letounem se víc rozpíná, tudíž letoun se nachází ve vyšší výšce. Výsledkem je, že výškoměr má tendenci indikovat menší výšku, než je skutečná výška. Také příklad této situace je uveden v kapitole 9.2. [2], [7]

7 Legislativa

Opravám výškoměru a určování minimálních výšek letu se zabývá více předpisů. Pro komplexnost řešené problematiky je první část této kapitoly zaměřena na odpovědnost velitele letadla, provozovatele a složek řízení letového provozu ve vztahu k danému tématu. Dále jsou popsány návody pro provozní opravy výšky s ohledem na vliv tlaku, teploty a větru. Konkrétní postup na opravy výšky však záleží na provozovateli, je-li takový postup schválen příslušným leteckým úřadem.

7.1 Odpovědnost provozovatele

„Provozovatel je oprávněn stanovit minimální výšky letu na tratích, na kterých hodlá provádět lety. Tyto výšky nesmí být nižší než ty, které stanovil letecký úřad přelétávaného státu, pokud tento úřad nižší výšku provozovateli výslovně neschválil.“ Provozovatel tedy využívá minimální výšky vydané v AIPu přelétávaného státu nebo výšky uvedené v používané letové dokumentaci dopravce, které splňují výše uvedený požadavek. [9]

Pokud nejsou minimální výšky letu stanoveny, pak *„Provozovatel musí přesně vymezit a zařadit do provozní příručky metodu určování minimálních výšek letu pro ty provozované trati, kde minimální výšky letu nestanovil letecký úřad státu, kterému je daný prostor podřízen nebo za něj odpovídá.“* Taková metoda určování minimálních výšek letu musí být schválena příslušným leteckým úřadem po zvážení následujících vlivů: [9]

- a) přesnost a spolehlivost určení polohy
- b) nepřesnost indikace použitých výškoměrů
- c) charakteristika terénu
- d) pravděpodobnost nepříznivého vlivu meteorologických podmínek
- e) možné nepřesnosti v leteckých mapách
- f) omezení vzdušného prostoru

7.2 Odpovědnost velitele letadla

V obecném znění je předpisem stanoveno, že *„Velitel letadla odpovídá za bezpečnost všech členů posádky, cestujících a nákladu na palubě od uzavření dveří. Velitel letadla je rovněž odpovědný za provoz a bezpečnost letounu od okamžiku, kdy je letoun připraven k pohybu za účelem vzletu, až do okamžiku úplného zastavení na konci letu, kdy motor(y) použitý(é) jako primární je(jsou) vypnut(y).“* Toto obsahuje i odpovědnost za bezpečnou výšku nad překážkami. [9]

V předpise L8168 je konkrétně řečeno, že *„Ve všech případech, bez ohledu na použitou techniku letu, musí být provedena oprava na teplotu u všech minimálních nadmořských výšek.“* Výjimkou, kdy velitel letadla není zodpovědný za bezpečnou výšku nad překážkami je let IFR vektorovaný radarem nebo pokud je povolena přímá trať. [11]

7.3 Odpovědnost řízení letového provozu

V předchozím odstavci je uvedeno, že existují situace, kdy velitel letadla není zodpovědný za bezpečnou výšku nad překážkami. Důvodem je, že v popsáných situacích nemusí být pilot schopen přesně určit svoji polohu s ohledem na překážky v tomto prostoru a následně ani bezpečnou nadmořskou výšku. Případy, kdy přebírá zodpovědnost řídicí letového provozu, jsou ustanoveny předpisem L4444 *„Při vektorování letu IFR a pokud je letu IFR povolena přímá trať vedoucí letadlo mimo tratě ATS, musí řídicí vydávat taková povolení, která zajistí, že po celou dobu bude dodržena předepsaná bezpečná výška nad překážkami, dokud letadlo nedoletí do bodu, ve kterém pilot přejde na vlastní navigaci. Když je to nutné, relevantní minimální nadmořská výška pro vektorování musí obsahovat opravu na efekt nízké teploty.“* Jednou z podmínek je, že *„Kdykoliv je to možné, měla by být minimální nadmořská výška pro vektorování dostatečně vysoká, aby minimalizovala možnost aktivace palubního výstražného systému na blízkost terénu.“* (GPWS). Aktivace systému má za následek reakci posádky vedoucí k převedení letounu do stoupání tak, aby zabránila predikované kolizi s terénem. To může vést ke snížení rozestupů mezi letadly. [12]

7.4 Oprava na tlak

„Při letech v hladinách, při kterých je výškoměr nastaven na 1013.2 hPa, musí být minimální bezpečná nadmořská výška opravena na odchylku tlaku, je-li tlak nižší než standardní atmosféra.“ Tato oprava vyplývá z chování vzduchové hmoty popsané v kapitole 3.1. Pokles tlaku s výškou při střední hladině moře je definován jako 1 hPa na 27 ft. Pro zjednodušení výpočtu se používá hodnota 30 ft na 1 hPa. Opravená výška je při použití 30 ft vyšší, než při použití přesné hodnoty 27 ft, tudíž dostává výpočet na bezpečnou stranu a lze jej v provozu využít. [11]

„Jestliže se používá pro nastavení výškoměru QNH nebo QFE, oprava na tlak není požadována.“ Pokud má posádka k dispozici hodnotu QNH nebo QFE – viz kapitola 4, pak by oprava nedávala smysl, protože posádka má na výškoměru nastavený aktuální tlak odpovídající vztažnému bodu. [11]

7.5 Oprava na vítr

„Z důvodu Bernoulliho efektu³ mohou kombinace silných větrů a hornatého terénu způsobit lokální změny atmosférického tlaku. K tomuto jevu zvláště dochází, jestliže vítr vane přes horské hřebeny a hřbety.“ Pro vliv větru na opravy výšky neexistuje přesná metoda výpočtu. Pro provozní potřeby se využívá Tabulka 4, případně obdobná tabulka v metrických jednotkách vypracovaná na základě teoretické studie „CFD Norway Report 109. 1989“. O opravách na vítr rozhoduje velitel letadla, zda je jejich použití nezbytné. Případně může být jejich aplikace prováděna na doporučení řídicích letového provozu. [11]

Tabulka 4 – Chyby výškoměru vlivem větru [11]

Chyby výškoměru způsobené rychlostí větru (Jednotky jiné než SI)	
Rychlost větru (kt)	Chyba výškoměru (ft)
20	53
40	201
60	455
80	812

7.6 Oprava na teplotu

„Vypočítaná minimální bezpečná nadmořská výška/výška musí být upravena, jestliže okolní teplota na povrchu je mnohem nižší než teplota odpovídající standardní atmosféře.“ Pro upřesnění, předpis uvádí, že oprava musí být provedena v případě, že je teplota vzduchu mnohem nižší než teplota odpovídající ISA. Provozní požadavek na provádění oprav je provozovateli standardně stanoven pro teploty 0 °C a nižší. Výjimkou je Baro-VNAV, jehož postupy jsou schváleny pro teploty definované na letové dokumentaci konkrétního přiblížení – viz kapitola 11.6.2. [11]

7.6.1 Jednoduchá oprava

Nejjednodušší metodou pro opravu výšky vlivem teploty je předpoklad 4 % změny výšky na každých 10 °C odchylky od ISA, naměřené ve výchozím zdroji tlaku. Z kapitoly 4 o chování vzduchové hmoty platí, že při poklesu teploty musí být výška přidána, tak aby byla zachována bezpečná výška nad překážkou. Tento vztah lze používat bez ohledu na nadmořskou výšku místa měření tlaku a při teplotách do -15°C.

³ Efekt vycházející z Bernoulliho zákona o zachování mechanické energie ideálního plynu. Při proudění vzduchu v zúženém průřezu dochází k růstu dynamické energie a poklesu potenciální energie, zatímco celková energie plynu zůstává konstantní. [1]

7.6.2 Oprava pro specifické podmínky

Při poklesu teploty vzduchu pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ naměřené ve výchozím zdroji tlaku, je třeba použít vztah:

$$\text{Oprava} = H \times \left[\frac{15 - t_0}{273 + t_0 \times L_0 \times (H + H_{SS})} \right]$$

H minimální výška nad výchozím zdrojem tlaku

$t_0 = t_{\text{letišťe}} + L_0 \times h_{\text{letišťe}}$ teplota na letišti přepočtená na hladinu moře

L_0 $0,0065\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ nebo $0,00198\text{ }^{\circ}\text{C/ft}$

H_{SS} výška místa měření tlaku nad mořem

$t_{\text{letišťe}}$ teplota na letišti

$h_{\text{letišťe}}$ výška letiště

Výsledky této rovnice se od výpočtů řešených pomocí přesných oprav, tedy rovnice níže, liší maximálně o 5 %. A to v případech do výšky 10 000 ft a minimálními výškami do 5000 ft nad výchozím zdrojem tlaku. [11]

7.6.3 Přesná oprava

Ačkoliv pro převážnou část letišť v kombinaci s meteorologickými podmínkami jsou předchozí možnosti výpočtu oprav dostatečné, je třeba předpokládat situace, pro které vyhovující nebudou. Je-li třeba dosáhnout přesnějších oprav, lze je získat z rovnice 24 v „*Engineering Science Data Unit Publication, Performance, Volume 2, Item Number 770022*“. Rovnice:

$$\Delta h_{\text{oprava}} = \Delta h P_{\text{letadlo}} - \Delta h G_{\text{letadlo}}$$

$\Delta h P_{\text{letadlo}}$ tlaková výška letadla nad letištěm

$\Delta h G_{\text{letadlo}}$ geopotencionální výška letadla nad letištěm

- kde vliv geopotencionální výšky letadla pro určování minimálních výšek uvažovaných pro minimální bezpečnou výšku je zanedbatelný. Výsledná rovnice pro přesné opravy má tento tvar:

$$\Delta h_{oprava} = \left(\frac{-\Delta t_{std}}{L_0} \right) \times \ln \left(\frac{1 + L_0 \times \Delta h P_{letadlo}}{t_0 + L_0 \times h P_{letišť}} \right)$$

$h P_{letišť}$ tlaková výška letišť

Δt_{std} teplotní odchylka od ISA

L_0 standardní gradient poklesu teploty

t_0 standardní teplota na hladině moře

Výše uvedené rovnice pro specifické podmínky i přesné opravy předpokládají konstantní standardní teplotní gradient s odchylkami. Ačkoliv skutečný teplotní gradient se může lišit od standardního se změnami meteorologických podmínek v atmosféře, opravy získané z výše uvedených rovnic lze považovat za uspokojivý odhad. Z hlediska provozního využití je možné vztah pro specifické podmínky použít do výšky 10 000 ft. Vztah pro přesný výpočet lze aplikovat až do výšky 36 000 ft. [13]

7.6.4 Tabulky oprav

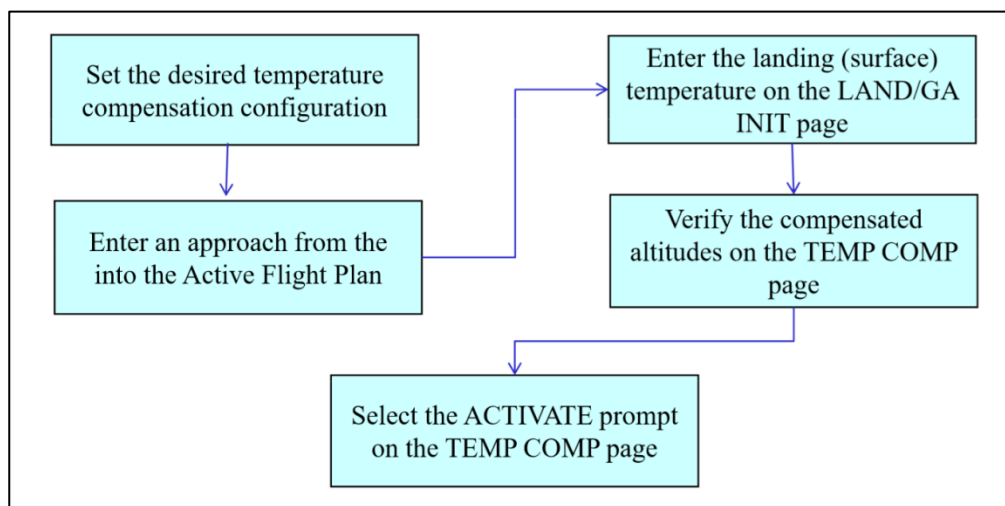
Tabulka 5 pro přídávky výšky je odvozena z rovnice oprav pro specifické podmínky – viz 7.6.2. S tím jsou spojená omezení využití tabulek do výšky 5 000 ft nad výškou měření tlaku. Existuje také obdobná tabulka pro přídávky výšky v metrických jednotkách. Úlohou tabulek je zjednodušení činnosti spojené se stanovováním korekcí výšek posádkami v provozu. [11]

Tabulka 5 – Chyby výškoměru vlivem teploty [11]

Hodnoty, které musí pilot doplnit k vyhlášeným výškám/nadmořským výškám (ft)														
Letištní teplota (°C)	Výška nad nadmořskou výškou výchozího zdroje pro nastavení výškoměru (stopy)													
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
0	20	20	30	30	40	40	50	50	60	90	120	170	230	280
- 10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	290	390	490
- 20	30	50	60	70	90	100	120	130	140	210	280	420	570	710
- 30	40	60	80	100	120	140	150	170	190	280	380	570	760	950
- 40	50	80	100	120	150	170	190	220	240	360	480	720	970	1210
- 50	60	90	120	150	180	210	240	270	300	450	590	890	1190	1500

8 Automatická kompenzace výšky

Automatická kompenzace nízkých teplot pomocí FMC je poměrně nová pomůcka implementovaná v leteckém průmyslu. Společnost Honeywell International Inc. si patentovala metodiku „Altitude correction for aircraft under non-ISA temperature conditions“ v roce 2001. To odstraňuje požadavek na posádku, aby prováděla teplotní korekce, čímž je sníženo její zatížení v provozu. Posádka pouze zvolí korekci a zadá odpovídající teplotu pro letiště přistání. Následně je vertikální trajektorie opravena o přídavek výšky. Nově opravená výška je zobrazena v rámci zařízení, aby bylo možné provedenou korekci zkontrolovat. Níže je uvedeno základní schéma aktivace teplotní kompenzace výšky pomocí FMC. V současné době využívá automatickou kompenzaci například řada letounů Gulfstream 350/450/500/550 vybavených modernizovanou FMS FMZ-2000 Version 6.1 nebo letouny vybavené NGFMS (next generation flight management systems). [17], [18], [19]



Obrázek 2 – Nastavení teplotní opravy pro FMS Primus Epic na letounu G450 [18]

9 Příklady výpočtu výšek

Chování vzduchové hmoty s ohledem na vliv teploty a tlaku je popsáno v kapitole 3. V návaznosti na to, jsou níže uvedeny praktické výpočty skutečných výšek vycházejících z indikovaných výšek. Pro řešení odchylky tlaku od modelu ISA je použita metoda popsaná v kapitole 7.4. Odchylky teploty od modelu ISA jsou pro přehlednost řešeny jednoduchým vztahem, popsaném v kapitole 7.6.1. Všechny příklady jsou uvažovány se zdrojem výchozího tlaku na střední hladině moře.

Tabulka 6 – Výpočty výšek

Výška	Teplota	Tlak	Přídavek výšky
Indikovaná » Skutečná	vyšší	vyšší	přičítá se
	nižší	nižší	odečítá se
Skutečná » Indikovaná	vyšší	vyšší	odečítá se
	nižší	nižší	přičítá se

Tabulka 6 slouží jako pomůcka pro výpočet mezi indikovanou a skutečnou výškou a naopak. Teplota je porovnávána s podmínkami ISA atmosféry, tedy teplotní odchylkou od podmínek ISA. V případě tlaku je porovnáván standardní tlak 1013,25 hPa s QNH, případně QFE v závislosti na nastavení výškoměru.

9.1 Vliv tlaku

Vzorový příklad řešený níže, ukazuje změnu skutečné výšky se změnou tlaku při konstantním nastavení referenčního QNH při letu z oblasti nízkého tlaku do oblasti vysokého tlaku – Obrázek 3.

- QNH₁: 1016 hPa
- Indicated altitude: 3000 ft
- QNH₂: 1020 hPa
- 1 hPa = 30 ft
- True altitude=?

$$QNH_2 - QNH_1 = \Delta QNH$$

$$1020 - 1016 = 4 \text{ hPa}$$

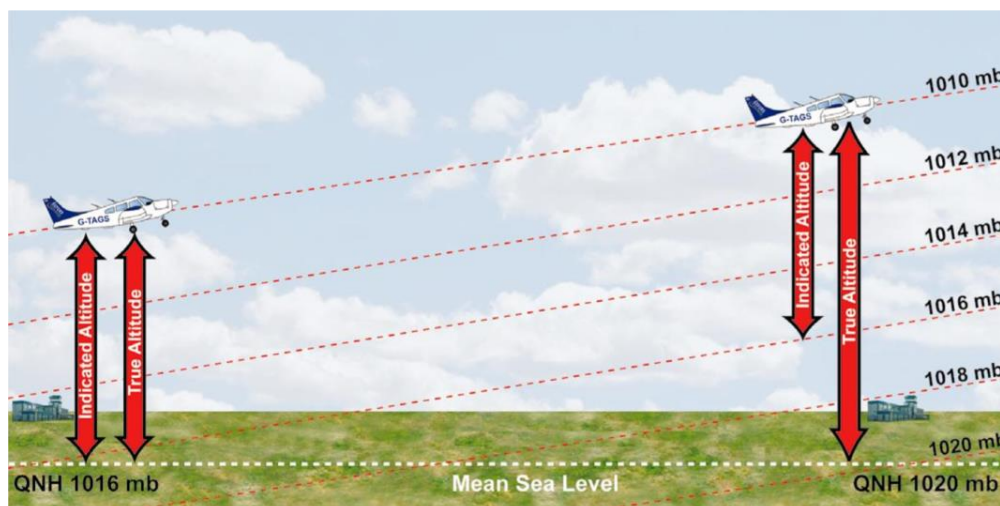
$$\Delta QNH \times 30 \text{ ft} = \Delta h$$

$$4 \times 30 = 120 \text{ ft}$$

Jestliže je tlak v bodě 2 vyšší, než referenční tlak na výškoměru, pak je skutečná výška vyšší – viz 3.1.

$$h_{\text{indicated}} + \Delta h = h_{\text{true}}$$

$$3000 + 120 = \mathbf{3120 \text{ ft}}$$



Obrázek 3 – Vliv tlaku na výšku [2]

9.2 Vliv teploty

Vzorový příklad, řešený níže, ukazuje změnu skutečné výšky při změně teploty vzduchu. Uvažovaný let je proveden z oblasti vyšší teploty vzduchu do oblasti s nižší teplotou – Obrázek 4.

- QNH₁: 1020 hPa
- QNH₂: 1020 hPa
- t₁: 30 °C
- t₂: -10 °C
- Indicated altitude: 3000 ft
- 4 % výšky na 10 °C odchylku od ISA
- True altitude=?

$$t_2 - t_1 = \Delta t$$

$$-10 - 30 = -40^\circ\text{C} \sim 16 \%$$

$$\frac{h \times 16 \%}{100 \%} = \Delta h$$

$$\frac{3000 \times 16\%}{100\%} = 480 \text{ ft}$$

Jestliže je teplota vzduchu v bodě 2 nižší, než teplota v bodě 1, pak je skutečná výška menší – viz Tabulka 6.

$$h_{\text{indicated}} - \Delta h = h_{\text{true}}$$

$$3000 - 480 = \mathbf{2520 \text{ ft}}$$



Obrázek 4 – Vliv teploty na výšku (upraveno autorem) [2]

9.3 Kombinované vlivy

Poslední typ úloh uvažuje, jak odchylku teplot od ISA, tak rozdílný tlak vzduchu v dané oblasti a nastavení referenčního tlaku na výškoměru. Pro řešení takových úloh je třeba nejdříve řešit rozdíl tlaku a následně odchylku teploty. V prvním kroku lze získat výšku opravenou o vliv tlaku. Tento vzduchový sloupec je ve druhém kroku využit pro výpočet skutečné výšky metodou popsanou v kapitole 9.2.

- Indicated altitude: FL200
- OAT: -15 °C
- QNH₁: 993 hPa
- 1 hPa = 30 ft
- 4 % výšky na 10 °C odchylku od ISA
- pokles teploty ISA: 2 °C/1000 ft (3.2.)
- True altitude=?

a) Jestliže je výška indikována jako FL, pak je referenční tlak 1013,2 hPa – viz 5.4.

$$1013,2 - QNH_1 = \Delta p$$

$$1013,2 - 993 \cong 20 \text{ hPa}$$

$$\Delta p \times 30 \text{ ft} = \Delta h_1$$

$$20 \times 30 = 600 \text{ ft}$$

$$h_{\text{indicated}} - \Delta h_1 = h_p$$

$$20000 - 600 = 19400 \text{ ft}$$

- b) Pokud je zadána OAT ve výšce FL200, pak je třeba dopočítat ISA teplotu v dané výšce a následně odchylku od ISA.

$$15 - \left(\frac{FL \times 2}{1000} \right) = t_{ISA}$$

$$15 - \left(\frac{20000 \times 2}{1000} \right) = -25^{\circ}C$$

$$t_{OAT} - t_{ISA} = \Delta t$$

$$-15 - (-25) = 10^{\circ}C$$

$$\Delta t = 10^{\circ}C \sim 4 \%$$

$$\frac{h \times 4 \%}{100 \%} = \Delta h_2$$

$$\frac{19400 \times 4\%}{100\%} = 776 \text{ ft}$$

$$h_p + \Delta h_2 = h_{true}$$

$$19400 + 776 = \mathbf{20176 \text{ ft}}$$

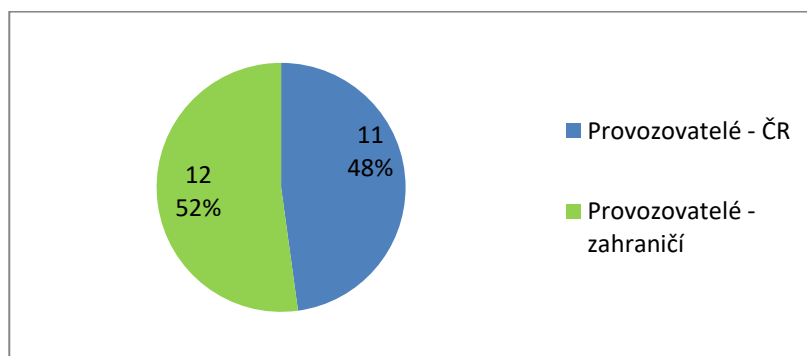
Výsledná skutečná výška po a) odečtení nižšího tlaku a b) přičtení odchylky teploty od ISA odpovídá výšce 20 176 ft.

10 Rozbor postupů používaných v provozu

Úvodní kapitola praktické části práce je zaměřena na rozbor opravovaných výšek, které jsou definované vybranými leteckými provozovateli. Pozornost je dále věnována metodice pro opravy výšky aplikovaných v současném provozu. Použitá data vycházejí z provozních příruček a představují zpracování a porovnání dat vzorku 23 leteckých provozovatelů. Data pro potřeby práce byla poskytnuta za podmínky, že jednotliví provozovatelé zůstanou v anonymitě.

10.1 Země provozovatele

První bod je zohlednění vlivu geografické polohy, zda má vliv na metodiku stanovování výšek a používaných oprav. Geografickou polohou je rozuměn stát, ve kterém je schvalován provozní manuál příslušným úřadem pro civilní letectví, nikoliv oblast, ve které provozovatel operuje.



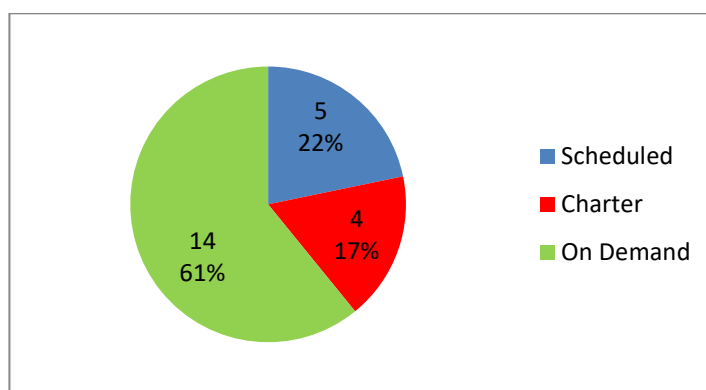
Graf 1 – Země provozovatele

Graf 1 představuje poměr mezi počtem českých a zahraničních provozovatelů vstupujících do průzkumu. „Zahraniční provozovatelé“ jsou reprezentováni zejména evropskými společnostmi ze severní, západní, střední a jižní Evropy. Dále jsou 3 společnosti mimoevropské z oblastí Blízkého východu a Severní Ameriky. Na použitém vzorku se nepodařilo jednoznačně prokázat souvislost mezi geografickou polohou a aplikovanou metodou.

10.2 Typ provozu

Další bod je zaměřen na typ provozu, na který se společnosti zaměřují. Níže uvedené kategorie a jejich rozdělení je provedeno dle ICAO dokumentu z roku 2009. [20]

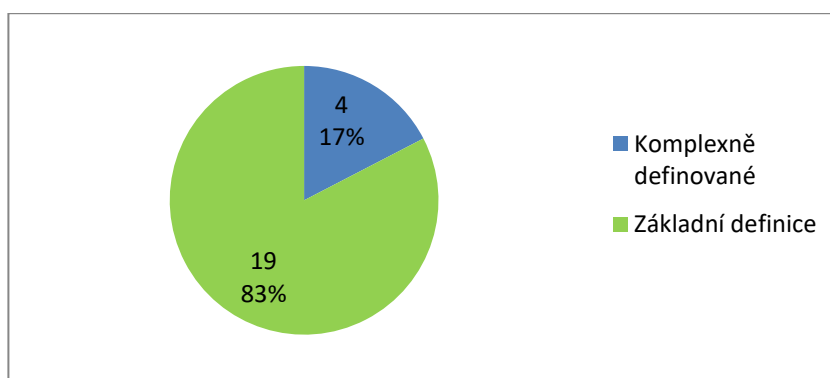
Vybrané kategorie jsou „Scheduled“, „Charter“ a poslední kategorie pojmenovaná jako „On Demand“, která zahrnuje „Air Taxi“, „Commercial business aviation“ a další činnosti obchodní letecké dopravy. Rozdělení leteckých společností do těchto kategorií není jednoduché, protože provozovatelé se často podílí na více typech provozu. Rozdělení je tedy provedeno s ohledem na převažující typ provozu.



Graf 2 – Typ provozu

10.3 Opravované výšky

Jak již bylo uvedeno v úvodu, část práce je zaměřena na definování výšek, které by měly být v rámci provedení letu opravovány na vliv okolních podmínek. Následující graf porovnává, jak k definování těchto výšek přistupují provozovatelé v rámci svých provozních příruček. Obecně je v každém manuálu uvedeno, jak uvádí předpis L8168: „*Ve všech případech, bez ohledu na použítou techniku letu, musí být provedena oprava na teplotu u všech minimálních nadmořských výšek.*“ [11]



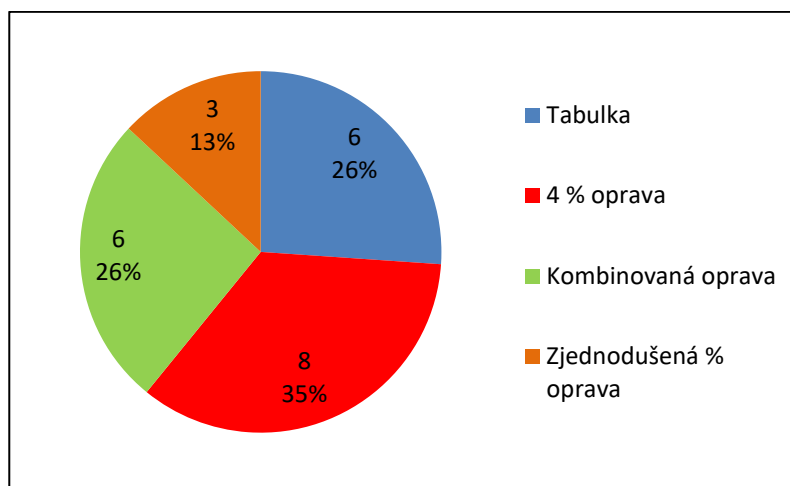
Graf 3 – Opravované výšky

Pojem „Základní definice“ označuje ty provozní manuály, které obsahují pouze některé výšky. Rozsah definovaných výšek se v této kategorii liší, ale obecně lze říct, že se jedná o minimální bezpečné výšky. Příklady těchto výšek mohou být MSA, MORA, Grid MORA nebo MEA.

Pouze 17 % provozovatelů má v rámci provozních manuálů uvedené výšky, čímž je lze označit za „Komplexně definované“. Tyto společnosti mají uvedeny již uvažované výšky, doplněné o výšky pro fáze přiblížení a nezdařeného přiblížení.

10.4 Oprava na teplotu

Následující bod je primárním důvodem tohoto rozboru. Získáním dat z provozních manuálů je možné určit převažující metody pro opravy výšky vlivem teploty v současném provozu. Výstupem jsou 4 odlišné metody pro opravy výšky, které vycházejí z kapitoly 7.6.



Graf 4 – Oprava na teplotu

Nejčastěji využívanou metodou je „Jednoduchá oprava“ v grafu označena jako 4 % oprava – viz 7.6.1, která má vyšší míru výskytu u provozovatelů označovaných v této práci jako „On Demand“ oproti kategoriím „Charter“ nebo „Scheduled“. Tato metoda je však limitována použitím na teplotu $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro nižší teploty nespĺňuje tato zjednodušená metoda výpočtu požadovanou přesnost, tudíž její použití není zcela správné.

Druhou metodou, která je využívána napříč všemi provozovateli, je využití tabulky hodnot, které posádka doplní k vyhlášeným výškám. Jedná se o tabulku odpovídající tabulce z předpisu L8168 – viz Tabulka 5. Hodnoty tabulky lze aproximovat tak, aby byl nalezen odpovídající přírůstek výšky v závislosti na okolní teplotě.

Stejný výskyt 26 % byl zaznamenán u „Kombinované metody“. Použitý pracovní název vychází z principu kombinace předchozích dvou metod. Tato metoda se opět vyskytuje

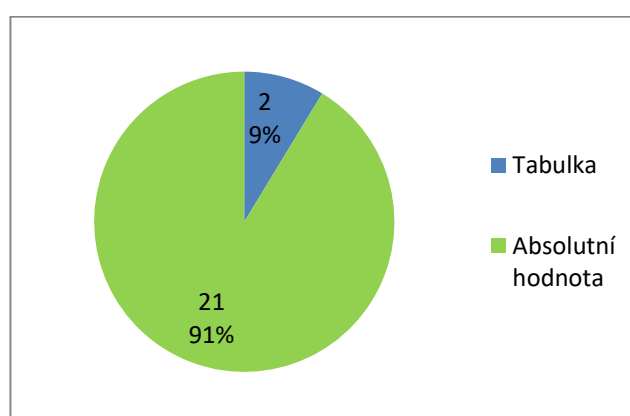
mezi všemi provozovateli bez ohledu na typ provozu. Princip kombinace vychází z teplotního omezení, tudíž pro teploty do $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ je posádkám doporučeno použít 4 % výšky na rozdíl $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pro teploty pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ je doporučeno využití tabulky. Tím dochází k přesnější korekci výšky a zároveň naplnění legislativního požadavku.

Poslední způsob opravy výšky je „Zjednodušená % oprava“. Ta spočívá v přidavku výšky pro určitý rozsah teplot. Konkrétně je-li teplota v rozsahu ISA-15 $^{\circ}\text{C}$ až ISA-30 $^{\circ}\text{C}$, pak je přídavek 10 % z výšky. Je-li teplota v rozsahu ISA-31 $^{\circ}\text{C}$ až ISA-50 $^{\circ}\text{C}$, pak je přídavek 20 %. Tyto procentuální přídavky se pohybují mezi hodnotami získanými 4 % přídavkem na $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tabulkovými hodnotami. Avšak jejich přesnost je nižší. Ve 2 případech tuto variantu využívali zahraniční provozovatelé a jeden český provozovatel ji využíval v kombinované variantě pro bezpečné výšky, zatímco pro přiblížení upřednostňoval využití tabulky. Ačkoliv se jedná o poměrně malý vzorek, lze předpokládat častější využití této metody u zahraničních provozovatelů.

10.5 Oprava na tlak

Dalším kritériem je oprava na tlak. Vzhledem k poměrně jednoznačné eliminaci vlivu tlaku na výšku se v provozních manuálech vyskytují pouze 2 způsoby oprav. Převážnou většinu zastupuje metoda přídavku výšky na danou jednotku tlaku – viz kapitola 7.4. Z toho 18 případů využívá hodnotu 30 ft na 1 hPa, další 3 případy pak 27 ft na 1 hPa.

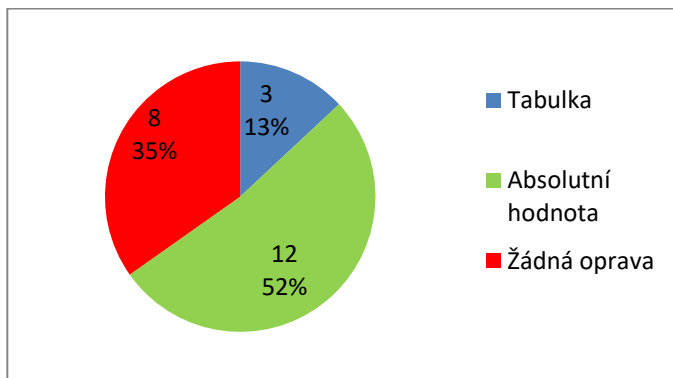
Druhou variantou je využití tabulky, která vychází z hodnot 27 ft na 1 hPa zaokrouhlená na desítky. Tedy využití stejné metody a provedení výpočtu pro vybrané hodnoty, což poskytuje rychlejší a pohodlnější přístup k potřebným hodnotám v provozu.



Graf 5 – Oprava na tlak

10.6 Oprava na vítr

Posledním zkoumaným bodem je vliv větru na výšku. Tato oprava není zcela běžná a závisí na rozhodnutí velitele letadla, případně doporučení řídicího letového provozu.



Graf 6 – Oprava na vítr

Ze získaných dat vyplývá, že 52 % leteckých dopravců využívá „Absolutní hodnotu“ pro opravu výšky. Oprava je prováděna pro rychlost větru více než 30 kt a to přídavkem 500 ft na každých 10 kt nad tuto hodnotu, maximálně však přídavek 2000 ft.

Tabulky vytvořené pro kompenzaci vlivu větru aplikovaly 3 společnosti. Ve 2 případech tabulky obsahovaly zaokrouhlené hodnoty srovnatelné s hodnotami – viz Tabulka 4. Tabulka zahraniční společnosti kompenzovala zároveň vliv čelního větru na úhel sestupu při driftdown procedure⁴ do minimální bezpečné výšky.

Opravu na vliv větru neprovádí nebo nespécifikuje doporučený postup ve svém provozním manuálu 35 % provozovatelů. Na základě vzorku nelze říct, že by se to týkalo určité skupiny leteckých provozovatelů v závislosti na geografické poloze nebo typu provozu.

10.7 Shrnutí

Rozbor provozních příruček 23 leteckých provozovatelů ukázal trendy a nedostatky v postupech pro stanovování výšek a metodiku oprav teplot v současném leteckém provozu.

Při vyhodnocení dat se nepodařilo prokázat významný vliv geografické polohy v rámci Evropy nebo typu provozu na obsah a kvalitu provozních manuálů. Pouze u provozovatelů

⁴ je postup minimálního klesání po vysazení motoru na vícemotorovém letounu, kdy letoun není schopný udržet současnou letovou hladinu pomocí zbývajících pohonných jednotek. [20]

označovaných jako „On Demand“ byla pozorována zvýšená četnost výskytu metody 4 % opravy při korekci výšky.

Všechny společnosti definují povinnost velitele letadla za provádění oprav na vliv okolních podmínek. Zároveň v různém rozsahu uvádějí minimální výšky bezpečné výšky. Malé procento provozovatelů však v rámci svých provozních manuálů dostatečně specifikuje provozní výšky, které vyžadují opravu. Jedná se o výšky pro odlet, přilet, přiblížení a nezdařené přiblížení popsané v kapitole 11.

Je patrné, že 3 způsoby provádění korekcí vycházejí přímo z doporučených metod v předpisu L8168 – viz kapitola 7.6, tudíž hlavní rozdíl je v jejich prezentaci posádce. Poměrně výrazným nedostatkem je využívání metody 4 % opravy i pro rozsah teplot, u kterých již tato metoda nedosahuje požadované přesnosti. Zjednodušená % metoda je přibližně srovnatelná s hodnotami uvedenými – viz Tabulka 5, ačkoliv přesnost je nižší, vždy je však přídavek výšky počítán na bezpečnou stranu.

Provádění oprav na vliv větru legislativa přímo nevyžaduje, nevedou-li okolní podmínky velitele letadla nebo řídicího letového provozu k opačnému rozhodnutí. Část provozovatelů však vůbec neuvádí návod pro posádky, jak takovou opravu provádět.

11 Návrh opravovaných výšek

Doposud byla převážná část práce věnována metodice provádění oprav výšky vlivem teploty. Tato kapitola je věnována konkrétnímu návrhu výšek, které vyžadují korekci. Tento návrh vychází z legislativních požadavků definovaných předpisem L8168 a L4444, dále ze současných trendů uplatňovaných v leteckém provozu a provozních příruček leteckých provozovatelů. Níže uvedené výšky mají sloužit jako základní souhrn pro letecké provozovatele a zejména posádky letadel. Cílem není uvést vyčerpávající seznam definovaných výšek, který povede k nadměrnému zatížení posádek. Naopak má umožnit výběr výšek nezbytných pro daný let a upozornit na význam případné korekce. Zároveň rozsah práce neumožňuje podrobně rozebírat jednotlivé druhy přiblížení a vysvětlit provozní využití popisovaných prvků.

11.1 Minimální výšky

V této části je zkompletován seznam výšek, které je potřeba v dané situaci opravit na vliv okolních podmínek. Okolními podmínkami je pro tyto výšky myšlena teplota a tlak, případně vliv větru. Jak již bylo popsáno v kapitole 10.3, některé z nich jsou obsaženy v různém rozsahu v současných provozních manuálech dopravců. Tyto výšky jsou určeny zejména pro nouzové situace nebo zvláštní lety. Během standardně plánovaného letu se s nimi posádka neseťká. Přesto je třeba znát jejich význam a vliv na provedení letu.

11.1.1 MOCA

„Minimální nadmořská výška pro definovaný úsek, která zaručuje požadovanou bezpečnou výšku nad překážkami.“ [10]

Tato výška zajišťuje bezpečný vertikální rozstup od překážek 1000 ft v oblastech, kde terén nepřesahuje 5000 ft a rozstup 2000 ft v oblastech, kde je terén vyšší než 5000 ft do horizontální vzdálenosti 5 NM na každou stranu od středu letové cesty. Je zřejmé, že tuto výšku je nutné opravit v případě, že by v ní měl být proveden let, protože zajišťuje bezpečný rozstup mezi letadlem a překážkami. [10]

11.1.2 MORA

MORA je specifickou výškou publikace Jeppesen, ale pro úplnost je zde zařazena. Tato výška zajišťuje stejný vertikální rozstup jako MOCA, ale do vzdálenosti 10 NM na každou stranu od středu letové cesty a v okruhu 10 NM za definovaným fixem. [14]

MORA musí být také opravena na vliv okolních podmínek, tak aby zajistila bezpečnou vertikální vzdálenost mezi letadlem a překážkami.

11.1.3 Grid MORA

Také Grid MORA je specifickou výškou publikace Jeppesen. Výška zajišťuje stejný vertikální rozstup jako MORA. Rozstup je zajištěn v sektoru definovaném zeměpisnou délkou a šířkou. Tato výška nezajišťuje navigační a komunikační pokrytí. [14]

Stejně jako v předchozích případech, má-li být let proveden v této výšce, je nutné aplikovat opravu výšky, aby byla zajištěna minimální požadovaná vertikální vzdálenost mezi letadlem a překážkami.

11.1.4 MEA

„Nadmořská výška pro úsek na trati, která zaručuje adekvátní příjem příslušných navigačních zařízení a ATS spojení, vyhovuje struktuře vzdušného prostoru a zaručuje požadovanou bezpečnou výšku nad překážkami.“ [10]

Rozhodne-li se posádka během letu klesat do MEA, je třeba provést korekci pro zajištění parametrů zmíněných definicí. Pokud je definována jiná z výše uvedených výšek a je nižší než MEA, pak MEA zajišťuje primárně navigační a komunikační spojení. V tom případě je provedení korekce doporučeno, ale záleží na zvážení posádky s ohledem na další parametry letu.

11.1.5 MFA

Je-li stanovena MFA, pak z definic uvedených v kapitole 7.1 vyplývá požadavek na provádění korekcí pro minimální letové výšky stanovené provozovatelem a schválené leteckým úřadem.

11.1.6 MSA

„Minimální nadmořská výška, která může být použita, aby byla zajištěna výška nejméně 300 m (1 000 ft) nad všemi objekty, umístěnými v prostoru vymezeném výsečí kruhu o poloměru 46 km (25 NM) a se středem ve význačném bodě, vztažném bodě letiště (ARP) nebo vztažném bodě heliportu (HRP).“ Tato výška zajišťuje bezpečný vertikální rozstup od překážek 1000 ft v oblastech, kde terén nepřesahuje 5000 ft a rozstup 2000 ft v oblastech, kde je terén vyšší než 5000 ft. [10]

Z definice plyne, že minimální sektorová výška udává bezpečné výšky nad překážkami pro zvolené sektory v blízkosti letiště. Je primárně určena pro nouzové situace. S ohledem na povahu provozu, kdy se letadlo pohybuje v blízkosti letiště za účelem vzletu nebo přistání, je nutné spočítat korekce alespoň pro ty sektory, přes které vede trajektorie letu. Tím je

v případě nouzové situace zajištěna minimální bezpečná výška nad překážkami v daných sektorech.

11.2 Odlet

Při plánování odletu musí být věnována pozornost mimo jiné vertikálnímu profilu trati. Minimální požadavek na provádění oprav vlivem okolních podmínek je oprava MSA, jak je uvedeno v předchozí kapitole. Další vybrané výšky, které se mohou objevit na různých letištích, jsou popsány níže. Jedná se zejména o provozní výšky, které zajišťují bezpečný vertikální rozstup od překážek nebo požadovanou separaci od okolního provozu.

11.2.1 Výška definující postup odletu

Tímto názvem je myšlena výška definující místo, ve kterém má trajektorie odletu dále pokračovat podle konkrétních pokynů uvedených v navigační dokumentaci pro SID. Typickým příkladem je odlet pro letiště LKPD – RNAV SID RWY 27 TREBOVA 6P departure – viz Obrázek 5.

Směrování trati uvádí, že zatáčka doleva má být provedena v 1200 ft bez toho, aby byl tento bod definován jiným fixem. V takovém případě je třeba vždy uplatnit opravu výšky.

Initial climb clearance 4000'
ROUTING
Climb straight ahead (269° bearing from PK NDB), at 1200' turn LEFT to PK NDB, turn RIGHT, 101° track to PD501, 118° bearing to TBV NDB.

Obrázek 5 – LKPD TBV 6P departure routing [15]

11.2.2 Přeletová výška fixu

Přeletová výška může být uvedena několika způsoby dle požadavků vzdušného prostoru, bezpečných výšek nad překážkami nebo okolního provozu. Tyto výšky jsou v navigační dokumentaci standardně označovány jako:

- „at“
- „at or above“/ „above“
- „at or below“/ „below“

Jako příklad lze použít LKMT – RNAV SID RWY 04 BILNA 4H departure, kde je požadavek na výšku na fixu „MT713 - At or above 5600“ a na fixu „BILNA - At or above 6400“. Tyto výšky je třeba opravit na vliv okolních podmínek, tak aby byly dodrženy všechny požadavky trati. [15]

11.2.3 Výška pro požadovaný gradient stoupání

Na některých letištích může být požadován vyšší minimální gradient stoupání, než vyžadují certifikační požadavky, a to například z důvodů okolního terénu, protihlukových postupů, radionavigačního pokrytí nebo uspořádání vzdušného prostoru. Jako příklad lze uvést letiště EDDC – SID RWY 04 BEBEX 7E departure – viz Obrázek 6.

V tomto případě je požadován gradient stoupání 5.0 % do výšky 3800 ft kvůli struktuře vzdušného prostoru, tudíž neprovedení korekce výšky bezprostředně neohrožuje bezpečnost letu, ale i tak je nutné výšku opravit. Zejména pak v případech, kdy je gradient stoupání požadován kvůli rozstupu od překážek.

BEBEX 7E						
This SID requires a minimum climb gradient of 304 per NM (5.0%) until passing 3800 due to airspace structure.						
Gnd speed-KT	75	100	150	200	250	300
304 per NM	380	507	760	1013	1267	1520
If unable to comply advise ATC prior start-up.						

Obrázek 6 – EDDC BEBEX 7E departure [14]

11.3 Přílet

Stejně jako při plánování odletu, tak i při plánování příletové trati je třeba věnovat pozornost vertikálnímu profilu. V první řadě je třeba provést opravu MSA, jak je uvedeno v kapitole 11.1.6. Přeletová výška fixu 11.2.2 na odletové trati může být stejným způsobem označena i na příletové trati, proto již zde nebude znova uvedena.

11.3.1 Výška příletové trati

Výška příletové trati označuje minimální nebo doporučenou výšku s ohledem na okolní terén, organizaci vzdušného prostoru, protihlukové postupy nebo pokrytí radionavigačním signálem. Příkladem může být letiště LKMT – RNAV STAR RWY 04 BAXEV 2W arrival. Na této příletové trati je uvedena výška 3700 ft mezi fixy BAXEV a OPAVO a výška 3500 ft mezi fixy OPAVO, MT602 a ODRAN. [15]

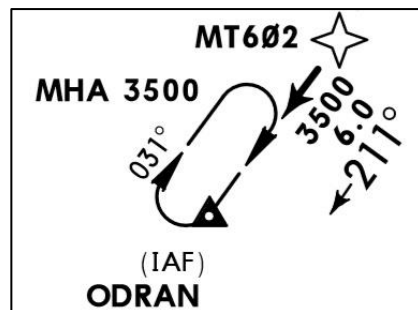
Tyto výšky musí být opraveny na vliv okolních podmínek, v případě tohoto příletu na vliv teploty, je-li let již prováděn na QNH.

11.3.2 MHA

Součástí příletové trati bývá vyčkávací obrazec většinou na IAF, ale není podmínkou. Takový obrazec má definovanou minimální výšku pro vyčkávání. Použijeme-li příklad příletové trati z předchozí kapitoly pro letiště LKMT, pak zjistíme, že vyčkávací obrazec je definován fixem ODRAN s příletovou tratí 211° a MHA 3500 ft – viz Obrázek 7. [15]

MHA zajišťuje bezpečný vertikální rozstup od překážek 1000 ft v oblastech, kde terén nepřesahuje 5000 ft a rozstup 2000 ft v oblastech, kde je terén vyšší než 5000 ft. [10]

Proto je třeba tuto výšku opravit, předpokládá-li se vyčkávání v dané výšce.



Obrázek 7 – LKMT vyčkávací obrazec [15]

11.4 Počáteční a střední přiblížení

Přiblížení je jednou z kritických fází letu, kdy jsou snižovány vertikální a horizontální rozstupy od překážek. Konkrétně je to 1000 ft v úseku počátečního přiblížení a tato hodnota se snižuje na 500 ft v úseku středního přiblížení. [10]

Právě proto je zde význam provádění oprav na vliv okolních podmínek velmi důležitý. Jedná se zejména o vliv teploty, protože v této fázi letu už by posádka měla mít výškoměry nastavené na QNH. Tudíž oprava na tlak již není opodstatněná. V dříve popsáných případech, zejména pak při stanovování minimálních výšek 11.1, je nutné věnovat pozornost také opravě o tlak.

V následující kapitole jsou uvedeny výšky, které se pro různá letiště mohou vyskytovat u všech typů přiblížení. Proto jsou uvedeny souhrnně a nejsou přiřazeny k jednotlivým typům přiblížení.

11.4.1 Procedure/Minimum altitude

„Nadmořská výška/výška stanovená v nebo nad minimální nadmořskou výškou/výškou a určená k dosažení stabilizovaného klesání v předepsaném gradientu/úhlu klesání v úseku středního/konečného přiblížení.“ [10]

Provozní výška musí být opravena, aby zajistila bezpečný rozstup od překážek a případně nalétnutí FAF/FAP, pokud se nachází ve stejné výšce. Je-li součástí této fáze přiblížení postup reversal⁵, pak musí být opraveny všechny výšky, které jsou jeho součástí. Příkladem je letiště LKPD – NDB (GPS) RWY 27, kde je na „LOM“ zahájeno klesání ve výšce 4000 ft, která má být opravena z předchozí fáze přiletu, do výšky 3000 ft, kterou je třeba opravit o vliv teploty – viz obrázek 8. [15]

11.4.2 Racetrack

Racetrack je: *„Postup stanovený tak, aby umožnil letadlu snížit výšku na úseku počátečního přiblížení a/nebo přivedl letadlo na příletovou trať, když vstup do postupu Reversal není praktický.“ [10]*

Příkladem takového postupu může být letiště LKVO – ILS RWY 28. V tomto případě je postup racetrack použit v rámci postupu nezdařeného přiblížení. Takovýto postup lze očekávat na letištích s vysokým okolním terénem, kde není umožněno jiné manévrování. Postup pro LKVO je popsán takto *„...then turn RIGHT and continue on racetrack. Climb to 2500´.“* V tomto případě musí být výška 2500 ft opravena o vliv okolních podmínek tak, aby byla zajištěna bezpečná výška nad překážkami během manévru a zároveň výška pro nalétnutí sestupové roviny. [15]

11.5 Konečné přiblížení – konvenční navigace

„Toto je úsek, kde se provádí vyrovnání do směru a klesání na přistání. Konečné přiblížení může být provedeno k dráze pro přímé přistání nebo k letišti pro vizuální manévr.“ [10]

V této fázi letu jsou rozstupy od překážek dále redukovány. Provádění oprav má významný vliv na udržení bezpečného rozstupu od překážek a zároveň zajištění plynulé trajektorie klesání. Pro konečné přiblížení existuje celá řada způsobů, jak tuto fázi zaletět s ohledem na radionavigační vybavení, vybavení letounu a výcvik posádky. Proto jsou postupy na provádění oprav popsány níže pro jednotlivé druhy přiblížení tak, aby nedocházelo k záměně.

⁵ *Postup stanovený tak, aby umožnil letadlu obrátit směr na úseku počátečního přiblížení postupu přiblížení podle přístrojů. Součástí postupu mohou být předpisové nebo základní zatáčky. [10]*

11.5.1 NDB

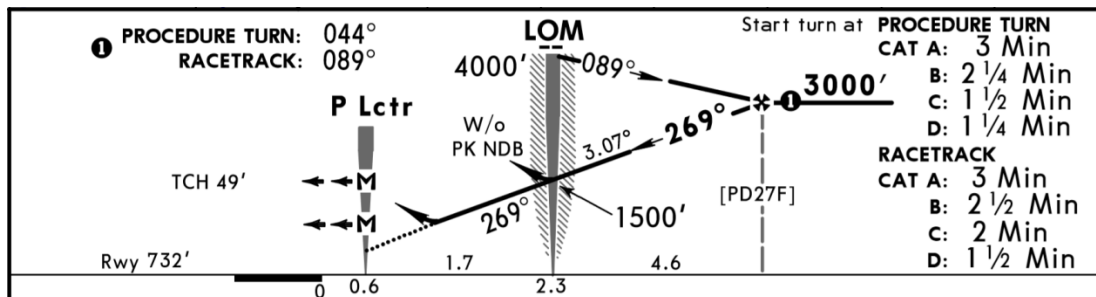
Přiblížení pomocí NDB bez vzdálenostní informace se již v dnešní době téměř nevyskytuje. V případě NDB přiblížení, kde není poskytnuta vzdálenostní informace, slouží jako náhrada měření času, případně jiné radionavigační zařízení. NDB přiblížení bez definovaného FAF je náchylné k nepřesnostem způsobených například vlivem větru. O to důležitější je se pohybovat v bezpečné výšce nad překážkami. Pokud je součástí NDB přiblížení postup reversal nebo racetrack, je třeba provést opravu výšky – viz kapitola 11.4.

- Step-down fix

Fix postupného klesání je specifickým 2D přiblížením, které umožňuje posádce klesat do nižší výšky. V obchodní letecké dopravě je pro klesání upřednostňována metoda CDFA, čímž tento fix ztrácí svůj primární účel.

Příkladem může být letiště LKPD – NDB (GPS) RWY 27. Ačkoliv v tomto případě je poskytnuta vzdálenostní informace pomocí satelitní navigace, může být přiblížení provedeno i letadlem, které není vybaveno pro RNAV. Step-down fix v tomto případě definuje „LOM“ ve stejném místě s NDB „PK“. Posádka tedy může klesat z 3000 ft do 1500 ft, ve které musí pokračovat nad „LOM“. [15]

Tuto výšku je nutné opravit s ohledem na zachování bezpečného rozstupu od překážek během sestupu do bodu postupného klesání.



Obrázek 8 – LKPD NDB (GPS) RWY 27 vertikální profil [15]

- Minimum descent altitude/height (MDA/H)

„Stanovená nadmořská výška nebo výška při 2D přiblížení podle přístrojů nebo při přiblížení okruhem, pod kterou se nesmí klesat bez požadované vizuální reference.“ [10]

Při pokračování v NDB přiblížení pro LKPD – viz Obrázek 8, je uvedeno, že po přeletu step-down fixu lze klesat do výšky MDA 1190 ft v přímém přiblížení. V této výšce lze

pokračovat do MAPt definovaného pomocí „P“ locator pro navázání vizuální reference. V případě obchodní letecké dopravy se tento postup běžně nevyužívá a při dosažení MDA bez vizuální reference pro přistání je zahájen postup nezdařeného přiblížení. Je-li z provozních důvodů nezbytné provést přiblížení okruhem, MDA je 1230 ft pro rychlostní kategorii A. Poznámka doplňuje informaci „*or higher straight-in minimums*“, tedy posádka je povinna postupovat dle minim pro přímé přiblížení jsou-li vyšší. [15]

Oprava na vliv teploty v případě MDA/H je rozhodující, aby nedošlo k proklesání minim a tím ke snížení bezpečného rozstupu od překážek v kritické fázi letu.

11.5.2 NDB/DME

Součástí NDB přiblížení může být DME, které poskytuje vzdálenostní informaci. Vzdálenostní informace může být publikována také využitím RNAV, jak bylo uvedeno dříve. V takovém případě má NDB přiblížení definovaný FAF, díky čemuž lze snížit hodnotu MDA. V rámci NDB/DME přiblížení se mohou vyskytovat stejné výšky popsané v kapitole 11.5.1 pro NDB přiblížení. Další výšky, které mohou být publikovány u tohoto typu přiblížení, jsou uvedeny níže.

- Final approach fix

FAF je publikován pro 2D přiblížení. Oprava výšky fixu je nutná, aby přivedla letoun ve výšce, ze které může být zahájen postup konečného přiblížení, v optimálních případech s úhlem klesání 3°. Dříve bylo standardem, že 2D přiblížení měla být před bodem FAF stabilizována. Tedy splňovat specifická kritéria pro rozsah rychlostí, odchylek trajektorie, konfigurace a další. V současném provozu je naplňován minimální požadavek dle předpisu L-8168 na stabilizovaná přiblížení. Ten zmiňuje minimální výšku stabilizace 1000 ft nad prahem dráhy v případě podmínek IMC a 500 ft nad prahem dráhy ve VMC podmínkách. Výška stabilizace musí být na vliv okolních podmínek opravena také. [11]

- Výšky na sestupové rovině

U 2D přiblížení je vedení po vertikální sestupové rovině nahrazeno publikovanými výškami v diskretních bodech. Tím má posádka k dispozici informaci umožňující monitorovat rovinu sestupu. Tyto body jsou standardně definovány po vzdálenosti 1 NM v tabulce, která je součástí přiblížovací mapy. Příkladem může být LKMT VOR/DME RWY 04 – viz

Obrázek 9. Tyto výšky je nutné opravit pro dodržení plynulé sestupové roviny a splnění požadavků stabilizovaného přiblížení. [15]

OTA DME	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
OSV DME	8.8	7.8	6.8	5.8	4.8	3.8	2.8
ALTITUDE	3130'	2820'	2500'	2180'	1860'	1540'	1220'

Obrázek 9 – LKMT VOR/DME RWY 04 tabulka sestupové roviny [15]

11.5.3 VOR

Stejně jako NDB přiblížení, tak i samotné VOR přiblížení bez vzdálenostní informace je dnes již ve většině případů doplněno o vzdálenostní informaci pomocí RNAV. Trať VOR přiblížení může být také definována časem nebo fixy od dalších radionavigačních zařízení. Požadavky na opravy výšek jsou zde shodné s NDB přiblížením 11.5.1.

11.5.4 VOR/DME

Dalším typem 2D přiblížení je VOR/DME, které splňuje vyšší požadavky přesnosti, tudíž je snížena MDA oproti NDB/DME přiblížení. Opravy výšek jsou shodné s výškami popsány v kapitole 11.5.1 a 11.5.2.

11.5.5 ILS

Posledním běžně využívaným konvenčním způsobem přiblížení je ILS. Tento systém reprezentuje 3D přiblížení jehož součástí je nejen horizontální vedení trati, ale i elektronická sestupová rovina. Tím je zaručena kontinuální informace o poloze letounu vzhledem k ideální sestupové trajektorii. Zároveň se jedná o doposud nejpřesnější certifikovaný přibližovací systém. Proto je provádění korekce výšky na vliv okolních podmínek velmi důležité s ohledem na dodržení vertikálního rozstupu od překážek. Stejně tak i vyhovění požadavkům stabilizovaného přiblížení. Je-li součástí ILS přiblížení postup reversal nebo racetrack, pak je třeba výšky opravit viz. 11.4.

- Final approach point

FAP je publikován pro 3D přiblížení. Stejně jako pro FAF i oprava výšky bodu FAP je nutná, aby přivedla letoun ve výšce, ze které může být zahájen postup konečného přiblížení. To umožní naletění sestupové roviny, na které je letoun usazen. Zároveň zde platí stejná kritéria pro stabilizované přiblížení jako pro FAF.

- Glide slope check altitude

Jedná se o výšku specifickou pro ILS přiblížení. Slouží ke kontrole polohy letounu na sestupové rovině. Tím je eliminována možnost zachycení jedné z falešných sestupových rovin, které jsou součástí vyzařovací charakteristiky. Tento bod může být definován DME vzdáleností, jiným radionavigačním zařízením (ILS LKPD) nebo ve stejném místě s FAP (ILS LKVO). [15]

Tuto výšku je třeba opravit na vliv okolních podmínek, aby mohla být zkontrolována poloha na správné sestupové rovině.

- Decision altitude/height

„Stanovená nadmořská výška nebo výška při 3D přiblížení podle přístrojů, ve které musí být zahájen postup nezdařeného přiblížení, nebylo-li dosaženo požadované vizuální reference pro pokračování v přiblížení.“ [10]

Podobně jako MDA/H, tak i DA/H umožní letounu klesat do výšky, ve které je třeba získat potřebnou vizuální referenci pro přistání. Vertikální sestup je v případě ILS přiblížení veden po sestupové rovině. Tudíž při dosažení DA/H nelze pokračovat do MAPt, ale není-li získána vizuální reference s dráhou, okamžitě zahájí pilot postup nezdařeného přiblížení.

Oprava na vliv teploty je i v případě DA/H rozhodující, aby nedošlo k proklesání minim a tím ke snížení bezpečného rozstupu od překážek v kritické fázi letu.

11.5.6 MLS

Tento způsob 3D přiblížení se v současném provozu téměř nevyskytuje. Tato technologie je již překonána přiblížením využívajícím prostorové navigace, které je popsáno níže. Pro úplnost jsou zde uvedeny i výšky spojené s MLS přiblížením.

V tomto případě je třeba opravit procedure altitude – viz 11.4.1, je-li součástí trajektorie a DA/H – viz 11.5.5.

11.6 Konečné přiblížení – prostorová navigace

V posledních letech roste počet letišť využívajících postupů pro přiblížení za využití prostorové navigace. To je umožněno zejména zpřesněním polohy využitím systému GNSS a augmentačních zařízení, které jsou jeho součástí. Cílem práce není rozebírat jednotlivé typy přiblížení, ale pouze poukázat na jejich omezení a fungování ve vztahu k teplotním korekcím. Právě u postupů RNAV působí provádění oprav výšky posádkám největší potíže, protože existují různé způsoby a požadavky na provádění sestupů v závislosti na vybavení letounu a výkonnosti systému v danou dobu.

11.6.1 RNAV přiblížení do minim LNAV

Prvním typem přiblížení s využitím prostorové navigace je RNAV přiblížení do minim LNAV. Jedná se o 2D druh přiblížení s nejnižším požadavkem dosahované přesnosti ze všech RNAV přiblížení.

Příkladem tohoto postupu je letiště LKKV – RNAV (GNSS) RWY 29. Postup publikovaný pro LKKV obsahuje nejen minima LNAV, ale i LPV a LNAV/VNAV. Pro přiblížení do minim LNAV musí být opravena výška pro FAF, výšky na sestupové rovině 11.5.2 a výšky popsané v kapitole 11.5.1. [15]

11.6.2 RNAV přiblížení do minim LNAV/VNAV

„Barometrická vertikální navigace (Baro-VNAV) je navigační systém, který poskytuje pilotovi počítačem zpracované vertikální vedení, vztahené ke stanovenému VPA, nominálně 3°.“ [10]

Tedy přiblížení do minim LNAV/VNAV umožňuje laterální vedení dosahující stejné přesnosti jako přiblížení do minim LNAV, doplněné o vertikální vedení dle výše uvedené definice. Pro postupy využívající vertikální navigaci založenou na Baro-VNAV jsou omezeny na vliv nízkých teplot. Pro zmíněný příklad na LKKV je uvedena poznámka *„Minimum temperature for Baro-VNAV operations: -20°C.“* [15]

Následující souhrn teplotních omezení vyplývá z předpisu L8168 a EASA AMC 20-27: *„Baro-VNAV postupy nejsou povoleny, pokud teplota na letišti klesne pod vyhlášené minimum teploty letiště pro daný postup, pokud systém pro řízení a optimalizaci letu (FMC) není vybaven schválenou automatickou kompenzací na nízkou teplotu pro konečné přiblížení.“*

Další omezení je definováno takto: „U letadel se schválenými systémy FMS s automatickou kompenzací na nízkou teplotu nemusí být minimální teplota brána v úvahu za podmínky, že je tato teplota v mezích daných certifikací letadla.“

Pro přiblížení do minim LNAV/VNAV platí: „V konstrukci postupu je proti vlivu nízkých teplot chráněn pouze VPA úseku konečného přiblížení postupu APV Baro-VNAV.“ Předpis přímo uvádí, že je třeba opravovat výšky počátečního a středního přiblížení, DA/H a výšky nezdařeného přiblížení. [10], [16]

11.6.3 RNAV přiblížení do minim LPV

Přiblížení do minim LPV dosahuje vyšší výkonnosti než předchozí typy přiblížení, odpovídající výkonnosti směrového vedení ILS. Vertikální vedení je zajištěno využitím systému SBAS. [10]

Opravy výšky v případě minim LPV zahrnují opravu procedure altitude, FAP a DA/H. Stejně jako na přiblížení do minim LNAV, ani na toto přiblížení se nevztahují žádná teplotní omezení.

11.6.4 RNAV přiblížení do minim LP

Přiblížení do minim LP dosahuje stejné výkonnosti jako přiblížení do minim LPV. Využívá se pro konstrukce sestupů, kde nelze dosáhnout požadované sestupové roviny. Jedná se tedy o 2D přiblížení vyšší výkonnosti, než které je dosaženo u přiblížení do minim LNAV.

Příkladem tohoto přiblížení je letiště KTEX – RNAV (GPS) Y RWY 09. Pro opravy výšky platí stejné požadavky jako pro přiblížení do minim LNAV. V konkrétním příkladu pro konečné přiblížení na letišti KTEX by byla opravena procedure altitude, která je shodná s výškou FAF a MDA. [15]

11.6.5 GLS

„Systém pro přiblížení a přistání využívající družicovou navigaci GNSS, rozšířený o systém s pozemním rozšířením (GBAS), jakožto primární navigační vedení.“ [10]

GLS je druh 3D přiblížení postaven tak, aby indikace posádce byla reprezentována stejně jako v případě přiblížení ILS. GLS dosahuje i stejných požadavků přesnosti jako ILS. [14]

Příkladem letiště vybaveného pro GLS přiblížení je LEMG – GBAS Z RWY 31. V tomto případě bude opravena výška 2000 ft na „MG412“, výška FAP 1700 ft a DA/H dle požadovaného gradientu stoupání v případě nezdařeného přiblížení a rychlostní kategorie. Tedy opravy na vliv teploty odpovídají opravám pro RNAV přiblížení do minim LPV. [15]

11.7 Nezdařené přiblížení

Fáze nezdařeného přiblížení je riziková svými vertikálními rozstupy od překážek a náročností procedury, kterou musí posádka letounu v dané chvíli absolvovat. Konečná fáze nezdařeného přiblížení začíná v minimální bezpečné výšce 164 ft nad překážkou. [10]

Ačkoliv se jedná o poměrně malý vzduchový sloupec, při velmi nízkých teplotách by mohlo dojít k výraznému snížení bezpečného rozstupu. Oprava musí být provedena již v rámci přípravy přiblížení, protože při provedení postupu nezdařeného přiblížení nemá posádka prostor pro přidání výškového přídatku.

11.7.1 Výška definující postup nezdařeného přiblížení

Podobně jako tomu bylo u výšky definující trať odletu, tak i trať pro postup nezdařeného přiblížení může být definována pomocí výšky. Pokud nebude uvažována definice trati pomocí fixu, pak existují 2 způsoby zahrnující výšku. První způsob je stejný jako ten popsáný v kapitole 11.2.1 pro odlet, kdy je trať definována pouze výškou. V druhém případě se jedná o kombinaci fixu a výšky ukázaného na vzorovém příkladu z letiště LKPD – ILS DME RWY 27. Zde je postup nezdařeného přiblížení popsán takto: „*Climb to 1500', not later than D4.0 PK turn LEFT...*“. [15]

Tento postup umožňuje posádce zvolit, zda bude točit doleva ve výšce 1500 ft nebo bude stoupat dál kurzem dráhy a točit až ve vzdálenosti 4 NM od DME „PK“. V takovém případě je nutné provést opravu i v případě, že se posádka rozhodne pokračovat do publikované vzdálenosti.

MISSED APCH: Climb to 1500', not later than D4.0 PK turn LEFT (MAX 186 KT, BANK 15°) to PK NDB climbing to 3500'.
--

Obrázek 10 – LKPD ILS DME RWY 27 postup nezdařeného přiblížení [15]

11.7.2 Missed approach altitude

Výška nezdařeného přiblížení zajistí bezpečnou vertikální vzdálenost od překážek. Často bývá tato výška shodná s procedure altitude, čímž je letoun přiveden zpět na další přiblížení v odpovídající výšce. Zároveň může být shodná s výškou pro vyčkávání nebo pro postup racetrack LKVO – ILS RWY 28 – viz kapitola 10.4.2. Pro Obrázek 10 je výška nezdařeného přiblížení 3500 ft. Z toho plyne, že tato výška musí být opravována pro případ nezdařeného přiblížení. [15]

11.8 Shrnutí

Pro fáze odletu, příletu, přiblížení i nezdařeného přiblížení existuje celá řada výšek, které je třeba opravovat na vliv okolních podmínek. Následující tabulky přehledně zobrazují, u kterých výšek je korekce nezbytná, jsou-li tyto výšky součástí postupu.

Tabulka 7 – Opravované výšky konvenční přiblížení

Druh Přiblížení	NDB	NDB/DME	VOR	VOR/DME	ILS	MLS
MSA	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Procedure altitude	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Reversal/racetrack	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FAF		✓		✓		
FAP					✓	✓
Step-down fix	✓	✓	✓	✓		
Sestupová rovina*		✓		✓		
Glide slope check					✓	
MDA/H	✓	✓	✓	✓		
DA/H					✓	✓
Nezdařené přiblížení**	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabulka 8 – Opravované výšky RNAV přiblížení

Druh Přiblížení	LNAV	LNAV/VNAV	LPV	LP	GLS
MSA	✓	✓	✓	✓	✓
Procedure altitude	✓	✓	✓	✓	✓
Reversal/racetrack	✓	✓	✓	✓	✓
FAF	✓			✓	
FAP		✓	✓		✓
Step-down fix	✓			✓	
Sestupová rovina	✓			✓	
Glide slope check					
MDA/H	✓			✓	
DA/H		✓	✓		✓
Nezdařené přiblížení	✓	✓	✓	✓	✓

* *pojmem Sestupová rovina jsou myšleny výšky 2D přiblížení – viz 11.5.2*

***pojmem Nezdařené přiblížení jsou myšleny výšky – viz 11.7*

12 Provádění teplotních oprav

Závěr praktické části práce je věnován vyhodnocení dosavadních poznatků spojených s problematikou provádění oprav výšky na vliv teploty. Výsledkem je návrh metodiky, která je popsána níže a zároveň prezentována na vzorovém příkladu provádění teplotních oprav.

12.1 Metodika

Návrh vhodné metody bere v úvahu legislativní požadavky 7.6, stejně jako doporučené metody předpisem L8168 pro provádění oprav výšky na vliv nízkých teplot. Dalším prvkem jsou provozní omezení jednotlivých metod. V neposlední řadě je třeba brát v úvahu současné metody obsažené v provozních manuálech leteckých společností. Zároveň nelze aplikovat příliš složitou metodiku, která by byla v pracovním zatížení posádek nepřijatelná.

Jako nejvhodnější se jeví metoda využívající opravu:

- 4 % výšky na odchylku 10 °C od ISA pro teploty do -15 °C – viz kapitola 7.6.1
- Tabulka 5 pro teploty nižší než -15 °C

Využití této metody zohledňuje působení teplot pod -15 °C, čímž naplňuje legislativní požadavky. Zároveň poskytuje vyšší přesnost než například využití samotné tabulky. Důležitým hlediskem, které přispělo k tomuto závěru je fakt, že jednu z individuálních metod nebo již navrhovanou kombinaci využívá 87 % leteckých provozovatelů, kteří vstoupili do průzkumu. To minimalizuje požadavky na školení posádek, protože výše popsanou metodiku bude většina z nich schopna aplikovat v provozu.

12.2 Vzorový příklad

V této části je podrobně rozpracován vzorový příklad pro letiště LKKV – ILS RWY 29. Je naznačeno, které výšky opravovat na vliv teploty a jakým způsobem postupovat při práci s tabulkou. Vzorová metoda přídatku 4 % výšky na odchylku 10 °C od ISA je již předvedena v kapitole 9.

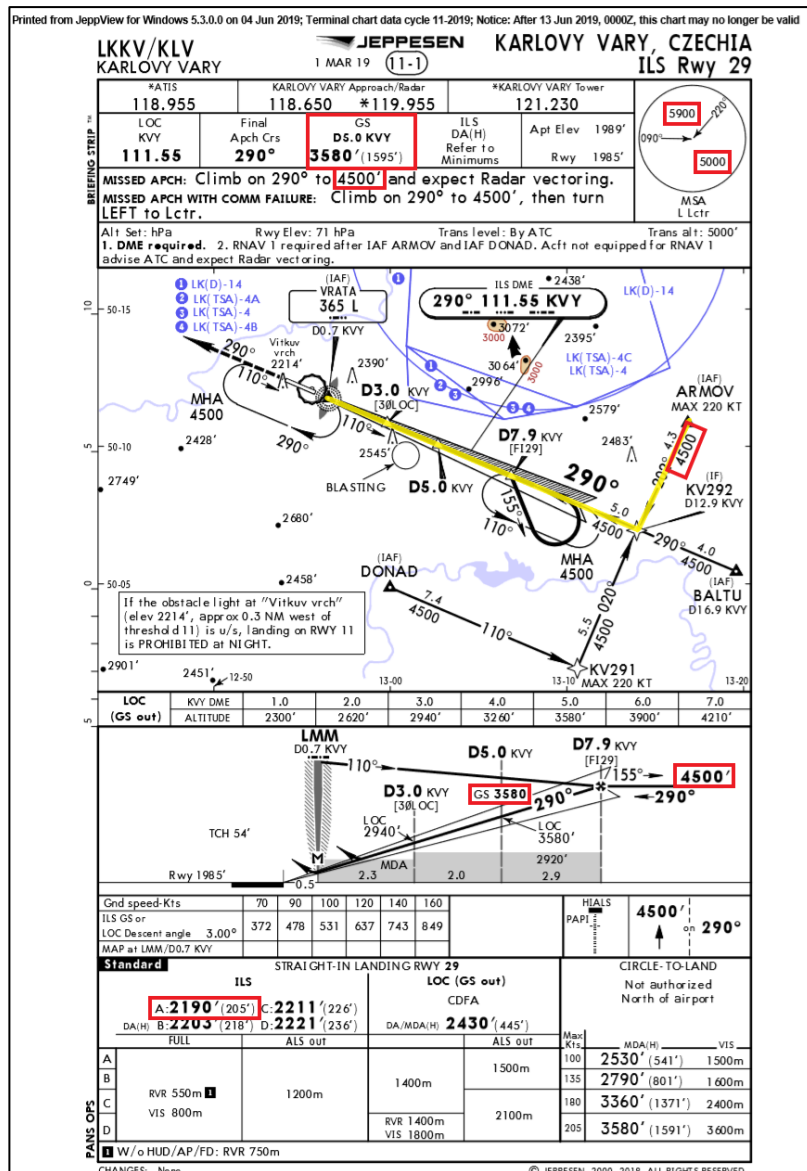
Přiblížení pro vzorový příklad je zahájeno na IAF „ARMOV“ přes IF „KV292“ a FAP ve vzdálenosti 7,9 NM ve vzdálenosti od „KVY“ DME, kde je zahájen sestup. Laterální trajektorie je označena žlutou barvou. Tlak na výškoměru je nastavený na QNH, tudíž oprava na tlak již není třeba.

RWY Elev.: 1985 ft (zaokrouhleno na 1990 ft)

OAT v bodě měření tlaku: -30 °C

Tabulka 9 – výpočet přírůstku výšky k MSA (upraveno autorem) [11]

Hodnoty, které musí pilot doplnit k vyhlášeným výškám/nadmořským výškám (ft)														
Letištní teplota (°C)	Výška nad nadmořskou výškou výchozího zdroje pro nastavení výškoměru (stopy)													
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
0	20	20	30	30	40	40	50	50	60	90	120	170	230	280
-10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	290	390	490
-20	30	50	60	70	90	100	120	130	140	210	280	420	570	710
-30	40	60	80	100	120	140	150	170	190	280	380	570	760	950
-40	50	80	100	120	150	170	190	220	240	360	480	720	970	1210
-50	60	90	120	150	180	210	240	270	300	450	590	890	1190	1500



Obrázek 11 – LKKV ILS RWY 29 [15]

- a) Hodnota MSA je publikována v pravém horním rohu vztažená k „L“ locator a sektoru západ až sever odpovídá nadmořská výška 5900 ft. Do tabulky je třeba vstoupit s hodnotou výšky nad prahem dráhy.

$$5900 \text{ ft} - 1990 \text{ ft} = 3910 \text{ ft}$$

Aproximací v tabulce mezi hodnotami 570 ft a 760 ft odpovídajícím uvažované teplotě vzduchu -30 °C a výšce vzduchového sloupce 3910 ft lze následovně získat výslednou hodnotu.

$$760 \text{ ft} - 570 \text{ ft} = 190 \text{ ft}$$

$$\frac{910 \times 190}{1000} = 172 \text{ ft}$$

Přičtením k aproximované hodnotě bude dosaženo konečného výškového přídavku.

$$570 \text{ ft} + 172 \text{ ft} = \mathbf{742 \text{ ft}}$$

MSA pro sektor definovaný radiály 090° a 220° je 6642 ft. Zaokrouhlením na 100 ft tedy 6700 ft.

- b) Výška druhého sektoru MSA je 5000 ft pro sektor východ, jih až západ. Stejným způsobem jako v předchozím případě je možné dopočítat přídavek výšky.

$$5000 \text{ ft} - 1990 \text{ ft} = 3010 \text{ ft}$$

$$760 \text{ ft} - 570 \text{ ft} = 190 \text{ ft}$$

$$\frac{10 \times 190}{1000} = 2 \text{ ft}$$

$$570 \text{ ft} + 2 \text{ ft} = \mathbf{572 \text{ ft}}$$

Ačkoliv v tomto případě je aproximace v tabulce minimální, pro názornost byla provedena také. Celkový přídavek výšky pro druhou hodnotu MSA je 572 ft, tedy nová MSA je 5572 ft po zaokrouhlení bude 5600 ft.

- c) Další výškou, kterou je nutné pro získání správné trajektorie opravit, je výška počátečního a středního přiblížení. V tomto konkrétním případě 4500 ft zároveň odpovídá výšce nezdařeného přiblížení a výšce minimálního vyčkávání. Na mapce je výška zobrazena na nákresu laterálního vedení trasy i ve vertikálním profilu. Výška nezdařeného přiblížení je popsána v postupu pro nezdařené přiblížení.

$$4500 \text{ ft} - 1990 \text{ ft} = 2510 \text{ ft}$$

$$570 \text{ ft} - 380 \text{ ft} = 190 \text{ ft}$$

$$\frac{510 \times 190}{1000} = 97 \text{ ft}$$

$$380 \text{ ft} + 97 \text{ ft} = \mathbf{477 \text{ ft}}$$

Stejným postupem jako v předchozích případech je dopočítán výškový přídavek 477 ft, tedy nová výška odpovídá 4977 ft po zaokrouhlení je získána hodnota 5000 ft.

- d) Mezi výšky, které je třeba opravovat, spadá i glide slope check altitude – viz kapitola 11.5.5. Výška 3580 ft je zobrazena v horní části mapky, obsahující základní informace přiblížení a také ve vertikálním profilu přiblížení v tomto případě ve vzdálenosti 5 NM od „KVY“.

$$3580 \text{ ft} - 1990 \text{ ft} = 1590 \text{ ft}$$

$$380 \text{ ft} - 280 \text{ ft} = 100 \text{ ft}$$

$$\frac{90 \times 100}{500} = 18 \text{ ft}$$

$$280 \text{ ft} + 18 \text{ ft} = \mathbf{298 \text{ ft}}$$

Pro následující výšku je odlišný interval mezi hodnotami figurujícími v aproximaci – viz Tabulka 6. Výsledný přídavek výšky je 298 ft, tedy nová výška odpovídá hodnotě 3878 ft a po zaokrouhlení je 3900 ft.

- e) Výška rozhodnutí je v tomto případě 2190 ft pro přímé přiblížení a rychlostní kategorii A, funguje-li laterální a horizontální vedení.

$$2190 \text{ ft} - 1990 \text{ ft} = 200 \text{ ft}$$

V tomto případě lze odečíst přídavek výšky bez další aproximace. Ten odpovídá hodnotě 40 ft. V případě DA/H a MDA/H je výsledná hodnota zaokrouhlena na 10 ft, tedy pro ILS LKKV rychlostní kategorii A jsou minima 2230 ft.

13 Závěr

Ačkoliv v posledních letech dochází ke zvyšování povědomí o potřebě provádění oprav výšky, stále se ne vždy jedná o samozřejmou část provedení letu. Proto je třeba dbát na výcvik posádek v rámci periodických školení a dostatečně je upozorňovat na význam těchto oprav. Přestože většina provedených letů nemusí být vystavena bezprostřednímu ohrožení díky legislativním požadavkům na minimální rozstupy od překážek, neznamená to, že opravy výšky není třeba provádět. Minimální rozstup není v žádném případě určen pro kompenzace vzniklé odchylkou teploty nebo tlaku od standardních podmínek. Stejně tak může být oprava nezbytná pro dodržení separace od okolního provozu s ohledem na rozdělení vzdušného prostoru a radionavigační pokrytí.

Tato bakalářská práce komplexně shrnuje teoretický základ nezbytný pro porozumění problematice provádění korekcí výšky vlivem teploty a tlaku. Stejně tak jsou zohledněny legislativní požadavky kladené na jednotlivé strany podílející se na provedení letu. Následně je shrnuta metodika provádění oprav výšky s ohledem na provozní využití. Součástí teoretické části je také úvod do automatických systémů umožňujících provádění korekcí výšky. Ty představují směr, jakým se bude tato problematika do budoucna pravděpodobně ubírat.

Úvod praktické části se zabývá průzkumem provozních příruček leteckých dopravců, který umožnil získat povědomí o současném stavu v provozu. Na základě toho jsou společně s legislativními požadavky doporučeny postupy pro provádění oprav výšky. V první řadě se jedná o definování výšek, kde je nutné opravu provádět, a následně o metodu provádění takových oprav. Výsledné doporučení je přehledně shrnuto a doplněno o vzorový příklad přístrojového přiblížení.

Cílem práce není zvýšit zatížení posádek, ale upozornit je na možná rizika a doporučit způsob, který nebude významným způsobem omezovat jejich pracovní kapacitu. Práci lze využít také jako doporučující materiál pro letecké provozovatele tak, aby posádkám usnadnili výběr výšek pro opravu v závislosti na fázi letu a typu přiblížení s doplněním o vhodnou metodu. Díky uvedeným vzorovým příkladům je práce vhodná pro teoretickou přípravu budoucích dopravních pilotů.

Dané téma by bylo možné do budoucna rozšířit o provádění korekcí pomocí automatických systémů s ohledem na profil terénu a vliv meteorologických jevů jako je například inverze. To by mohlo znamenat přesnější určování výšky a tím zvýšenou přesnost trajektorie letu. Rozsah tématu již neumožnil tuto část zahrnout v rámci této bakalářské práce.

14 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Model ISA atmosféry [1].....	14
Obrázek 2 – Nastavení teplotní opravy pro FMS Primus Epic na letounu G450 [18]	30
Obrázek 3 – Vliv tlaku na výšku [2]	32
Obrázek 4 – Vliv teploty na výšku (upraveno autorem) [2]	33
Obrázek 5 – LKPD TBV 6P departure routing [15]	44
Obrázek 6 – EDDC BEBEX 7E departure [14]	45
Obrázek 7 – LKMT vyčkávací obrazec [15]	46
Obrázek 8 – LKPD NDB (GPS) RWY 27 vertikální profil [15]	48
Obrázek 9 – LKMT VOR/DME RWY 04 tabulka sestupové roviny [15].....	50
Obrázek 10 – LKPD ILS DME RWY 27 postup nezdařeného přiblížení [15].....	54
Obrázek 11 – LKKV ILS RWY 29 [15].....	57

15 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Vztah QNH a QFE (upraveno autorem) [2]	17
Tabulka 2 – Vztah QNH a QFF (upraveno autorem) [2]	18
Tabulka 3 – Vertikální vývoj teploty	22
Tabulka 4 – Chyby výškoměru vlivem větru [11]	27
Tabulka 5 – Chyby výškoměru vlivem teploty [11].....	29
Tabulka 6 – Výpočty výšek	31
Tabulka 7 – Opravované výšky konvenční přiblížení.....	55
Tabulka 8 – Opravované výšky RNAV přiblížení	55
Tabulka 9 – výpočet přídavku výšky k MSA (upraveno autorem) [11]	57

16 Seznam grafů

Graf 1 – Země provozovatele.....	36
Graf 2 – Typ provozu	37
Graf 3 – Opravované výšky.....	37
Graf 4 – Oprava na teplotu.....	38
Graf 5 – Oprava na tlak.....	39
Graf 6 – Oprava na vítr	40

17 Použité zdroje

- [1] TALAY, Theodore A. Introduction to the aerodynamics of flight. Springfield, Va.: for sale by the National Technical Information Service, 1975. NASA SP, 367 [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://practicalaero.com/wp-content/uploads/2010/04/NASA-SP-367.pdf>
- [2] CAE OXFORD AVIATION ACADEMY. *ATPL Ground Training Series: Meteorology*. Fourth edition. Transair (UK) Ltd, Shoreham, England, 2008.
- [3] ČESKÁ REPUBLIKA. Letecký předpis L8400: Zkratky a kódy. In: . MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. číslo jednací: 710/2007-220-SP/2. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [4] ČESKÁ REPUBLIKA. Letecký předpis L3: Meteorologie. In: . MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. číslo jednací: 584/2008-220-SP/4. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [5] ČESKÁ REPUBLIKA. Letecký předpis L2: Pravidla létání. In: . MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. číslo jednací: 153/2014-220. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [6] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Density Altitude*. 2008. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: https://www.faa.gov/gslac/ALC/libview_normal.aspx?id=56396
- [7] CAE OXFORD AVIATION ACADEMY. *ATPL Ground Training Series: Instrumentation*. Fourth edition. Transair (UK) Ltd, Shoreham, England, 2008.
- [8] KUČERA, Pavel. *Palubní přístroje I*. Praha, 2001. Diplomová práce. Fakulta dopravní ČVUT v Praze. Vedoucí práce RNDr. Martin Vecko CSc.
- [9] ČESKÁ REPUBLIKA. Letecký předpis L6/I: Provoz letadel Část I. In: . MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. číslo jednací: 35/2012-220-SP/2. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [10] ČESKÁ REPUBLIKA. Letecký předpis L8168/I: Provoz letadel – Letové postupy. In: . MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. číslo jednací: 127/2018-220-LPR/3. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [11] ČESKÁ REPUBLIKA. Letecký předpis L8168/III: Provoz letadel – Provozní postupy letadel. In: . MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. číslo jednací: 127/2018-220-LPR/3. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [12] ČESKÁ REPUBLIKA. Letecký předpis L4444: Postupy pro letové navigační služby, Uspořádání letového provozu. In: . MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. číslo jednací: 439/2011-220-SP/1. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [13] EUROCONTROL *Guidelines for Cold Temperature Corrections by ATS*. In: . Brussels: EUROCONTROL, 2014, číslo 1.0. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-guidelines-cold-temperature-corrections-ats>
- [14] JEPPESEN. *General Airway Manual*. Englewood, Colorado, 2014.

- [15] JEPPESEN. *Jeppesen Database DSA a.s.* 2019.
- [16] EASA. *Airworthiness Approval and Operational Criteria for RNP APPROACH (RNP APCH) Operations Including APV BARO-VNAV Operations: Annex III to ED Decision 2010/012/R of 16/12/2010. AMC-20-27.2018.* [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/regulations#regulations-additional-airworthiness-specifications>
- [17] Shehi, et al. "Altitude Correction for Aircraft under Non-ISA Temperature Conditions - Honeywell International Inc." FPO IP Research & Communities. 17 July 2001. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: www.freepatentsonline.com/6263263.html.
- [18] HONEYWELL INTERNATIONAL INC. *Gulfstream 350/450/500/550: Cert Foxtrot Update.* In: . 2011-03-03. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: http://new.mygdc.com/attachment/cpsfltops/presentations/Gulfstream_Cert_Foxtrot.pdf
- [19] HONEYWELL INTERNATIONAL INC. *Next Generation Flight Management Systems (NGFMS)* [online]. [cit. 2019-07-26]. Dostupné z: https://aerospace.honeywell.com/en/products/cockpit-systems/next-generation-flight-management-systems?qclid=EA1alQobChMIwoSGopDS4wIVSrTtCh0a4wzIEAAYASAAEgKxl_D_BwE
- [20] TORRE, Tiago. *Calculation of in-flight cruise performance for integration in an EFB System.* Lisboa, Portugal, 2016. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1407770020545144/resumo.pdf>
- [21] ICAO. *Civil aviation statistics - ICAO classification and definition: Review of the classification and definitions used for civil aviation activities.* Montreal, November 2009. [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: https://www.icao.int/Meetings/STA10/Documents/Sta10_Wp007_en.pdf