ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA DOPRAVNÍ

Zdeněk Koupý

ELIMINACE NEPŘÍZNIVÝCH METEOROLOGICKÝCH PODMÍNEK NA VZLET A PŘISTÁNÍ LETOUNŮ

Diplomová práce

2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K621..... **Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Zdeněk Koupý

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Eliminace nepříznivých meteorologických podmínek na vzlet a přistání letounů**

Název tématu (anglicky): Elimination of Adverse Meteorological Conditions on Takeoff and Landing Aircraft

Zásady pro vypracování

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

- Úvod do problematiky a stanovení cílů
- Vliv meteorologických podmínek na vzlet a přistání motorových letounů
- Návrh výukové osnovy pro vzlety a přistání za nepříznivých meteorologických podmínek
- Tvorba programu pro simulátorový výcvik vzletu a přistání
- Vyhodnocení výukového programu

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Kenneth B. McCool: Aviation Meteorology Unscrambled

Předpis L3 Meteorologie

Joint Aviation Authorities Airline Transport Pilot's Licence 050 Meteorology

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

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2016**
(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 diplomové práce: **30. května 2017**
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

L. S.

doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD. MBA
vedoucí
Ústavu letecké dopravy

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Zdeněk Koupý
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 30. června 2016

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří mi při tvorbě diplomové práce pomáhali a byli oporou. Hlavní poděkování patří vedoucí mojí diplomově práce Mgr. Ivetě Kameníkové, za její lidský přístup, pochopení a odborné vedení. Dále doc. Ing. Jakubu Hospodkovi, Ph.D.za kvalifikované předvedení simulátoru a jeho propůjčení pro tvorbu práce. Poděkování patří také kolegům z řad pilotů za jejich odborné rady a členům mojí rodiny.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením vedoucí diplomové práce, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 30. 5. 2017 ……

Zdeněk Koupý

ABSTRAKT

Námětem diplomové práce jsou fyzikální vlastnosti atmosféry, meteorologické prvky a atmosférické jevy, které mají vliv na vzlet a přistání letounů. Je zde popsáno, jak se se změnou fyzikálních vlastností atmosféry mění výkony leteckých pohonných jednotek, a letounů obecně a jaký to má vliv na vzlet a přistání. V diplomové práci jsou také popsány nejčastější fyzikální jevy, které mají na tyto kritické fáze letu největší vliv. Taktéž je zde vysvětlena správná technika pilotáže při působení těchto jevů. Cílem diplomové práce bylo vytvořit ucelený soubor fyzikálních atmosférických charakteristik a jevů tak, aby si byl pilot vědom nebezpečí, která z nich mohou vyplynout. Součástí práce je také zpracovaná osnova letů na leteckém simulátoru FD ČVUT tak, aby si pilot mohl v rámci IFR letu vyzkoušet či zopakovat správné návyky pilotáže za ztížených meteorologických podmínek, jež jsou v práci popsány.

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis is the physical properties of the atmosphere, meteorological elements and atmospheric phenomena, which affect the airplane´s take-off and landing. The thesis concerns with the influence of changes in atmospheric physical characteristics on the performance of aviation engines and airplanes in general, focusing on the take-off and landing phase. The diploma thesis also describes the most frequent atmospheric phenomena which have the greatest impact on these critical phases of flight. It also explains the correct piloting technique when these phenomena occur. The aim of the diploma thesis was to create a comprehensive set of physical atmospheric characteristics and phenomena so that the pilot was aware of the dangers that could arise from them. A part of the thesis is also the syllabus of the flights on the flight simulator in Faculty of Transportation Sciences Czech Technical University in Prague. Thanks to that, pilots can try or repeat the correct piloting habits within the IFR flight under the difficult meteorological conditions described in my dissertation.

KLÍČOVÁ SLOVA:

meteorologické prvky, meteorologické jevy, eliminace, vzlet, přistání, výkon, technika pilotáže

KEYWORDS:

meteorological elements, meteorological phenomena, elimination, take-off, landing, performance, piloting technique

OBSAH

1 ÚVOD ... 12

2 FYZIKÁLNÍ PODMÍNKY PRO VZLET A PŘISTÁNÍ ... 13

2.1 Vzlet, přistání a jejich fáze ... 13

2.1.1 Fáze vzletu ... 13

2.1.2 Stanovení mezních rychlostí pro vzlet ... 15

2.1.3 Přistání ... 17

2.2 Podmínky pro stanovení výkonu leteckých pohonných jednotek ... 17

2.2.1 Tah a výkon motoru ... 17

2.2.2 Faktory ovlivňující vzlet a přistání ... 18

2.2.3 Mezinárodní standardní atmosféra ICAO ... 19

2.2.4 Korekce MSA na skutečné atmosférické podmínky ... 21

2.2.5 Využití MSA pro vzlet a přistání ... 22

3 VLIV VLASTNOSTÍ ATMOSFÉRY NA VÝKONY LETOUNU ... 24

3.1 Hustota vzduchu ... 24

3.2 Teplota vzduchu ... 24

3.2.1 Vliv teploty vzduchu na výkon letounu ... 24

3.2.2 Změny teploty v atmosféře ... 27

3.2.3 Vztažná teplota letiště ... 28

3.3 Vlhkost vzduchu ... 32

3.4 Tlak vzduchu ... 32

3.4.1 Statický a dynamický tlak vzduchu ... 33

3.4.2 Staniční tlak ... 34

3.4.3 Souvislost mezi tlakem a hustotou vzduchu ... 35

4 METEOROLOGICKÉ JEVY ... 37

4.1 Vítr ... 37

4.1.1 Vliv větru na start a přistání ... 37

4.1.2 Boční vítr ... 39

4.1.3 Střih větru 41
4.2 Bouřková činnost 46
4.2.1 Vznik a průběh bouřky 46
4.2.2 Bouřkové jevy 47
4.3 Turbulence 51
4.3.1 Druhy turbulencí 51
4.3.2 Působení turbulence na letoun 52
4.3.3 Turbulence v úplavu 53
5 VLIV STAVU A POVRCHU DRÁHY 55
5.1 Znečištění dráhy a její vliv na fázi přisání 55
5.2 Informace o znečištění a brzdných účincích 56
5.2.1 Zpráva METAR 56
5.2.2 Zpráva SNOWTAM 58
5.3 Aquaplaning 58
5.3.1 Druhy aquaplaningu 58
6 POSTUPY PŘI NÍZKÉ DOHLEDNOSTI 62
7 OSNOVA UDRŽOVACÍHO VÝCVIKU 64
8 ZÁVĚR 68

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AAL	Above aerodrome level	Nad úrovní letiště
AGL	Above grand level	Nad zemským povrchem
AIP	Aeronautical Information Publication	Letová informační příručka
AMSL	Above mean sea level	Nad střední hladinou moře
ASD	Accelerate stop distance	Délka přerušeného vzletu
ASDA	Accelerate stop distance available	Použitelná délka přerušeného vzletu
ASDR	Accelerate stop distance required	Požadovaná délka přerušeného vzletu
ATC	Air Traffic Control	Řízení letového provozu
ATIS	Automatic terminal information service	Automatická informační služba koncové řízené oblasti
BR	Mist	Kouřmo
°C	Degree Celsius	Stupeň Celsia
CAS	Calibrated airspeed	Kalibrovaná vzdušná rychlost
CFME	Continuous fiction measuring equipment	Zařízení pro měření brzdných účinků na RWY
DA	Decision altitude	Výška rozhodnutí – nad mořem
DH	Decision height	Výška rozhodnutí – nad zemí
DME	Distance measuring equipment	Měřič šikmé vzdálenosti
EAS	Equivalent air speed	Ekvivalentní vzdušná rychlost
°F	Degree Fahrenheit	Stupeň Fahrenheita
FL	Flight level	Letová hladina
ft	Foot	Stopa
GNSS	Global navigation satelite systém	Světový navigační satelitní systém
GP	Glide path	Elektronická skluzová rovina
GS	Ground speed	Rychlost vůči zemi
HAT	Height above threshold	Výška nad prahem dráhy
hPa	Hectopascal	Hektopaskal
HZ	Haze	Zákal
IAS	Indicated air speed	Indikovaná vzdušná rychlost
ICAO	Internation Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFR	Instrument flight rules	pravidla pro let podle přístrojů
ILS	Instrument Landing System	Systém pro přístrojové přiblížení a přistání
IMC	Instrument meteorological conditions	Meteorologické podmínky pro let podle přístrojů

IR(A)	Instrument Rating (Airplanes)	Přístrojová kvalifikace (letouny)
ISA	International Standard Athmosphere	Mezinárodní standardní atmosféra
K	Kelvin	Kelvin
km	Kilometer	Kilometr
kt	Knot	Uzel
LD	Landing distance	Délka přistání
LDR	Landing distance required	Požadovaná délka přistání
LDG	Landing	Přistání
LFMN	Airport	Letiště Nice
LKKB	Airport	Letiště Praha Kbely
LKKU	Airport	Letiště Kunovice
LKKV	Airport	Letiště Karlovy Vary
LKMT	Airport	Letiště Ostrava Mošnov
LKPD	Airport	Letiště Pardubice
LKPR	Airport	Letiště Praha Ruzyně
LKTB	Airport	Letiště Brno-Tuřany
LKVO	Airport	Letiště Vodochody
LLZ	Localizer	Kurzový maják
LVO	Low visibility operation	Provoz za nízké dohlednosti
LVP	Low visibility procedures	Postupy při nízké dohlednosti
m	Meter	Metr
METAR	Meteorological aviation report	Pravidelná letecká (letištní) meteorologická zpráva
MID	Mid point	Střední bod
mm	Milimeter	Milimetr
MM	Middle marker	Střední návěstidlo
MSA		Mezinárodní standardní atmosféra
MSL	Mean Sea Level	Střední hladina moře
MTOM	Maximum take off mass	Maximální vzletová hmotnost
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Národní úřad pro letectví a Kosmonautiku
NDB	Non directional beton	Nesměrový radiomaják
OM	Outer marker	Vnější návěstidlo
PART-FCL 1		Letecký předpis
QFE	Atmospheric preassure at aerodro-me elevation or at runway treshold	Atmosférický tlak vztažený k výšce letiště nad mořem nebo prahu dráhy

QFF	Atmospheric preassure reduced to mean sea level according to barometric formula	Tlak vzduchu redukovaný na hladinu moře podle barometrické formule
QNE		Výška určité hladiny v mezinárodní standardní atmosféře ICAO
QNH	Atmospheric preassure reduced to mean sea level	Tlak vzduchu redukovaný na hladinu moře podle mezinárodní standardní atmosféry
RVR	Runway Visual Range	Dráhová dohlednost
RWY	Runway	Vzletová a přistávací dráha
SID	Standard Instrument Departure	Přístrojový odlet
SOP		Svislá ocasní plocha
SPECI	Aerodrome special meteorological report	Zvláštní letištní meteorologická zpráva
STAR	Standard Terminal Arrival Route	Přístrojový přílet
SYNOP		Zpráva o přízemních meteorologických pozorováních z pozemní stanice
SNOWTAM		Zpráva o stavu povrchu vzletové a přistávací dráhy
TAS	True air speed	Pravá vzdušná rychlost
TAF	Terminal aerodrome forecast	Předpověď počasí na letišti
TDZ	Touch down zone	Dotyková zóna
TKOF	Take off	Vzlet
TOD	Take off distance	Délka vzletu
TODA	Take off distance available	Použitelná délka vzletu
TODR	Take off distance required	Požadovaná délka vzletu
TOM	Take off mass	Vzletová hmotnost
TOR	Take off run	Délka rozjezdu
TORA	Take off run available	Požadovaná délka rozjezdu
TREND	TREND forecast	Předpověď TREND
TWY	Taxi way	Pojezdová dráha
UTC	Universal Time Coordinated	Světový koordinovaný čas
VMC	Visual meteorological conditions	Meteorologické podmínky pro let za viditelnosti
VKV		Velmi krátké vlny
V_{LOF}	Lift off speed	Rychlost odpoutání
V_{MCA}	Minimum control speed	Minimální rychlost řiditelnosti
V_{MCG}	Minimum control speed on the ground	Minimální rychlost řiditelnosti na zemi
V_{mhb0}	Minimum high bank zero speed	Minimální rychlost v čisté konfiguraci s náklonem do 25°

V_{MU}	Minimum calibrated air speed at which can aircraft lift off	Nejnižší možná rychlost odpoutání
VOR	VHF Omni Directional Radio Range	Všesměrový maják
V_R	Rotation speed	Rychlost rotace
VS	Vertical speed	Vertikální rychlost
V_S	Stall speed	Pádová rychlost
V_{S0}	Stall speed in landing configuration	Pádová rychlost letounu v přistávací konfiguraci
V_{S1}	Stall speed in take off configuration	Pádová rychlost letounu ve vzletové konfiguraci
V_1		Rychlost rozhodnutí
V_2	Take off safety speed	Bezpečná rychlost vzletu
WMO	World meteorological organisation	Světová meteorologická organizace

1 ÚVOD

Tisíce let téměř neměnný způsob lidského života doznává v relativně krátkém časovém intervalu posledních několika staletí propastných změn. Stále se zrychlující tempo vědeckých a technických poznatků a objevů umožnilo dříve pro člověka nepředstavitelnou věc – létání. Od prvního vzletu letadla těžšího, než vzduch uplynulo jen několik desítek let a hustá letecká doprava propojila prakticky všechny kontinenty. Za tímto rozmachem letectví však nebyl jen vynález letadla, ale celý soubor objevů především z technických, fyzikálních, ale i přírodních oborů. Pochopení vzájemných vazeb mezi přírodními a fyzikálními zákonitostmi a technickými řešeními letounu využívajícími tyto přírodní zákony pro let, je nezbytné pro bezpečnost letectví.

Jedním z mnoha oborů, jehož základy si musí pilot při své odborné přípravě osvojit, je meteorologie, tedy nauka o atmosférických jevech a jejich vlivu na fyzikální podmínky letu.

Technologie využívané dnes při konstrukci a výrobě letadel sice dokážou vliv mnohých nepříznivých atmosférických dějů eliminovat nebo alespoň omezit a letectví se v současné době díky nim stalo jedním z nejbezpečnějších druhů dopravy. Přesto však stále platí, že příroda má nad člověkem převahu a atmosférické děje dokážou let nepříjemně zkomplikovat.

Cílem diplomové práce je shrnout a popsat ty fyzikální vlastnosti atmosféry, a z nich vyplývající meteorologické jevy, které mají vliv na let letounů především ve fázi vzletu a přistání. Práce by měla nastínit možná řešení situací, do kterých se mohou piloti letadel vlivem atmosférických jevů dostat a navrhnout schéma výcviku na simulátoru, jehož účelem by bylo opakovat, a tím i zautomatizovat, správné návyky techniky pilotáže v situacích ovlivněných atmosférickými a meteorologickými jevy.

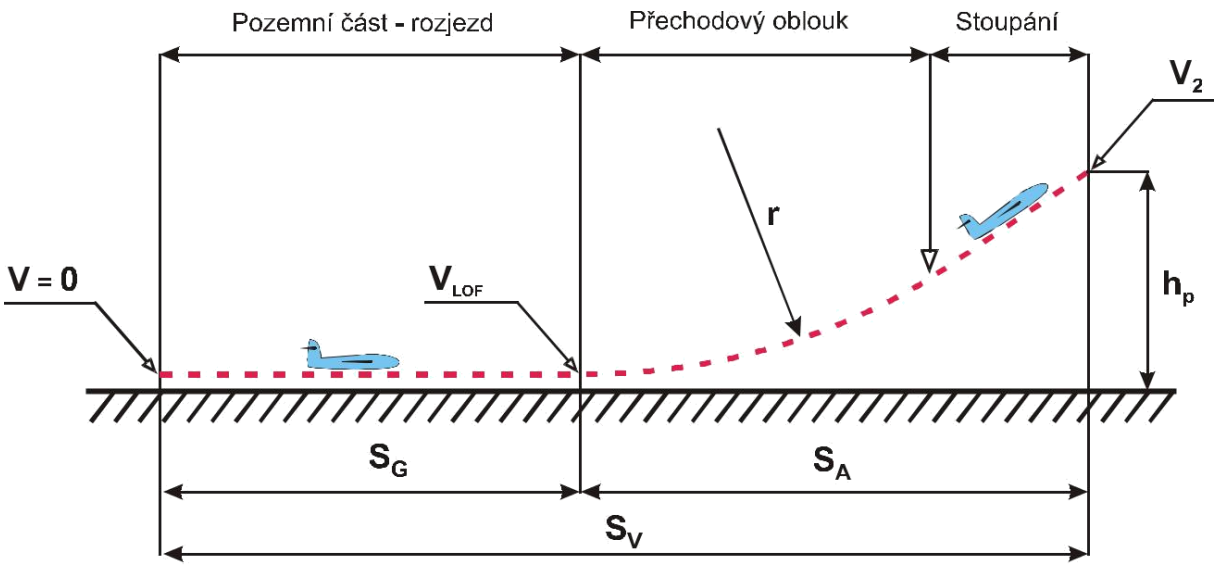
2 FYZIKÁLNÍ PODMÍNKY PRO VZLET A PŘISTÁNÍ

2.1 Vzlet, přistání a jejich fáze

Vzlet je definován jako zrychlený pohyb letounu z nulové rychlosti na RWY až po určitou výšku, které letoun dosáhne po odlepení, a kde má nejpozději tzv. bezpečnou rychlost vzletu V_2. Tato výška se nazývá výškou překážky – hp.

2.1.1 Fáze vzletu

Rozlišujeme pozemní a vzdušnou část vzletu. Pozemní část začíná v okamžiku, kdy se letoun dá do pohybu a začne akcelerovat za účelem vzletu a končí odpoutáním letounu z RWY. Vzdušná část pak zahrnuje přechodový oblouk a počáteční stoupání až do výšky překážky hp. Obě fáze vzletu jsou znázorněny na obrázku č. 1



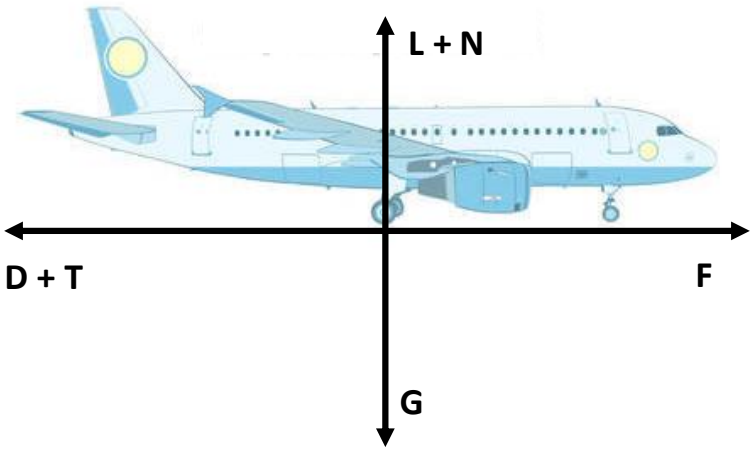
Obr. 1 Vzlet a jeho jednotlivé fáze

V první části vzletu, která se nazývá rozjezd (SG), se letoun pohybuje po RWY. Počáteční rychlost letounu je nulová. Letoun pak vykonává zrychlený pohyb po RWY až do dosažení rychlosti odpoutání – V_{LOF}. Během této části vzletu na letoun působí následující síly schematicky znázorněné na obr. 2:

- F – tah vyvíjený pohonnými jednotkami letounu
- D – aerodynamický odpor zrychlujícího letounu v atmosféře
- G – tíhová síla způsobená hmotností letounu
- L – vztlak vznikající na nosných plochách letounu
- N – normálová síla působící na podvozek jako reakce povrchu RWY proti tíhové síle G

- T – třecí síla mezi koly podvozku a RWY

V průběhu pohybu letounu po RWY během rozjezdu se velikost jednotlivých sil dynamicky mění. Proti tahu pohonných jednotek působí aerodynamický odpor vzduchu D, který se vzrůstající rychlostí letounu roste. Spolu s aerodynamickým odporem vzduchu působí proti tahu motorů ještě třecí síla T, která je dána vztahem T = f · N, kde f je koeficient smykového tření. Ten je dán povrchem RWY, znečištěním RWY, velikostí stykové plochy pneumatik podvozku s dráhou (podhuštěné pneumatiky mají větší stykovou plochu s dráhou, tudíž vyšší koeficient smykového tření a ve výsledku vyšší odpor letounu při rozjezdu), a další faktory.



Obr. 2 Schématické znázornění sil působících na letoun při pohybu po RWY

S narůstající rychlostí letounu roste ale vztlak na křídlech (L), tedy síla, která působí v opačném směru než tíhová síla G = m · g. Vztlak snižuje výslednou sílu, kterou kola podvozku letounu působí na podložku. Normálová síla je proto dána vztahem N = G – L. V okamžiku odpoutání se vztlak vyrovná tíhové síle a normálová síla se tedy rovná nule. S klesající normálovou silou klesá také třecí síla mezi koly podvozku a povrchem RWY.

Celkový odpor letounu proti tahu motorů během pozemní fáze vzletu lze potom vyjádřit vztahem $D_R = D + (G – L) \cdot f$. Rozdíl tahu motorů a sil působících proti pohybu letounu se během rozjezdu mění, nicméně pořád převládá velikost tahové síly od pohonných jednotek, a ta letounu uděluje proměnlivé zrychlení ***a***.

Vzdušná část vzletu (SA) počíná odpoutáním letounu od RWY při rychlosti V_{LOF} a končí dosažením výšky překážky hp. Tuto část vzletu tvoří přechodový oblouk mezi odpoutáním letounu od RWY a stoupáním a vlastní stoupání do výšky překážky. Délka vzletu je pak definována jako průmět trajektorie pohybu letounu při vzletu do horizontální roviny do bodu dosažení výšky překážky hp a bezpečné rychlosti pro vzlet V_2.

Výška překážky

Výška překážky není pro všechny letouny stejná, ale je dána výkonnostní třídou letounu.

Letouny výkonnostní třídy B jsou všechny letouny vybavené jedním nebo více pístovými motory, případně turbovrtulovými pohonnými jednotkami. MTOM je 5700 kg nebo větší, počet sedadel pro cestující je devět nebo méně. Do této kategorie lze zařadit československý legendární letoun L200 Morava. Do kategorie B patří i letouny typu Commuter. Ty jsou poháněny dvěma turbovrtulovými motory. MTOM je zvýšena na 19 000 liber neboli 8616 kg včetně. Počet sedadel pro cestující je zvýšen na devatenáct, včetně. Zástupcem této třídy je například L410 Turbolet.

Letouny výkonnostní třídy A jsou letouny vybavené proudovými motory, bez limitů MTOM. Dále sem patří všechny turbovrtulové letouny vybavené dvěma a více motory s MTOM 5700 kg nebo více a počtem míst pro cestující devět a více.

Výška překážky pro letouny výkonnostní kategorie B je hp = 50 ft AAL. Výška překážky pro letouny výkonnostní kategorie A je pak předpisem stanovená na hp = 35 ft AAL.

2.1.2 Stanovení mezních rychlostí pro vzlet

Při předletové přípravě musí pilot stanovit, jakých charakteristických rychlostí musí letoun dosáhnout, aby vzlet proběhl bezpečně. Kromě vzletové hmotnosti a vzletové konfigurace každá rychlost závisí na některých níže uvedených vnějších podmínkách. Jsou to aktuální tlak a teplota vzduchu, síla a směr větru, deklarovaná délka konkrétní RWY letiště atd. Mezi charakteristické rychlosti při vzletu patří:

- **V_{S1}** – pádová rychlost letounu ve vzletové konfiguraci, tedy rychlost, při které je vztlaková síla menší než hmotnost letounu
- **V_{MCG}** – minimální rychlost řiditelnosti na zemi, při které je možno po vysazení kritické pohonné jednotky ovládat letoun a držet jeho směr pouze výchylkami aerodynamických prvků řízení. Kritickou pohonnou jednotkou se stane motor, jehož případné vysazení způsobí, že druhý, pracující motor, udá letounu větší zatáčivý moment. Kritická pohonná jednotka se stanovuje pouze u vícemotorových vrtulových letounů
- **V_1** – rychlost rozhodnutí, při které má posádka poslední možnost se rozhodnout, zda bude pokračovat ve vzletu nebo vzlet přeruší. Nad tuto limitní rychlost již letoun nedokáže bezpečně na dráze za aktuálních podmínek zastavit. Rychlost V_1 závisí na vzletové hmotnosti, meteorologických podmínkách a ASDA konkrétní RWY. Při stanovení rychlosti V_1 je třeba počítat i s reakční dobu pilota. Kalkuluje se s reakční dobou 2 s. Rychlost V_1 se stanovuje před každým vzletem.

- **V_R** – rychlost rotace, při níž je již dostatečně účinné výškové kormidlo. Jeho vychýlením pilot způsobí klopivý moment na ocas a zvedne příďové kolo pro odpoutání letounu. V_R se počítá před každým vzletem
- **V_{MU}** – nejmenší možná rychlost odpoutání letounu od RWY. Skutečná rychlost odpoutání musí být vyšší než V_{MU}.
- **V_{LOF}** – skutečná rychlost odpoutání letounu
- **V_{MCA}** – minimální rychlost řiditelnosti, při níž je pilot ještě schopen pomocí ovládacích prvků řízení vyrovnávat zatáčivé, klonivé a klopivé momenty při vysazení kritické pohonné jednotky za letu u vícemotorových letadel, při vzletové konfiguraci se zasunutým podvozkem a s maximálním tahem zbývajících pohonných jednotek. Přitom nesmí síly na řídících prvcích přesáhnout 150 liber a příčný náklon překročit 5°. Toho musí být letoun schopen za nejméně příznivých podmínek pro vzlet a při všech možných vzletových hmotnostech
- **V_2** – bezpečná rychlosti vzletu, které musí být dosaženo nejpozději ve výšce překážky hp, a která musí být vyšší než rychlosti V_{S1} a V_{MCA}. Toto zvýšení rychlosti závisí na druhu a počtu motorů a musí platit následující poměr:

$$V_{MCA} \leq 1{,}2\, V_{S1}$$

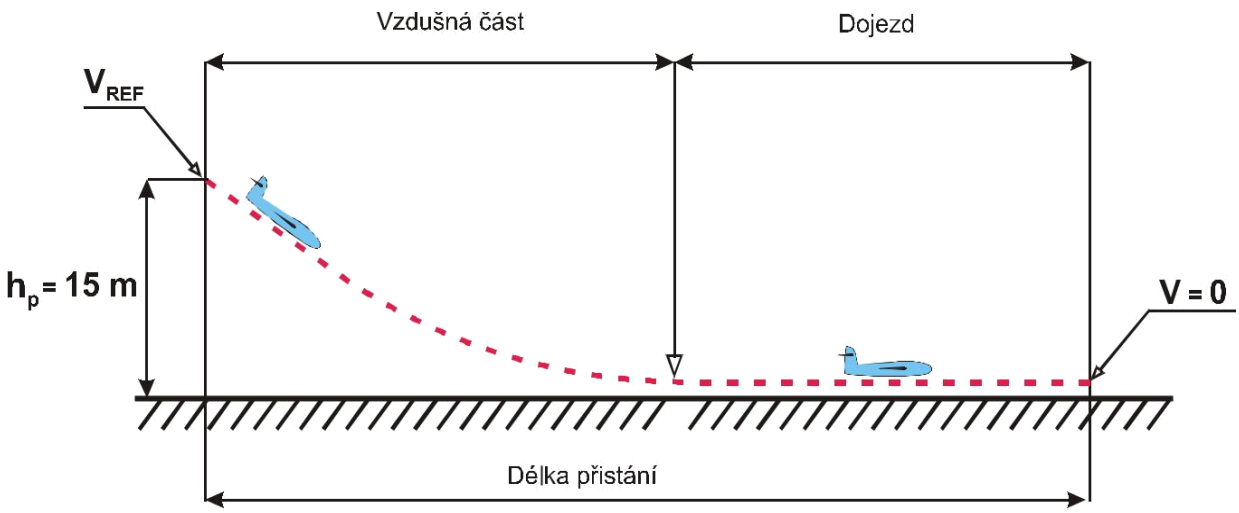
V_{MCA} … minimální rychlost řiditelnosti
V_{S1} … pádová rychlost letounu ve vzletové konfiguraci

Při pilotáži se používají ještě další pojmy pro vyjádření rychlosti letounu. V_{LOF} (Lift off) je skutečná rychlost odpoutání vyjádřená jako CAS – Calibrated Air Speed. CAS je IAS – Integrated Air Speed – opravená o takzvanou polohovou chybu snímače, měřiče dynamického tlaku vzduchu, tedy o chybu způsobenou rozrušením měřeného proudu vzduchu trupem letounu či jinými částmi konstrukce. IAS je pak rychlost kterou pilot čte na rychloměru v kokpitu. Je opravená o takzvanou přístrojovou chybu, což je nejistota měření rychlosti způsobená technickými parametry přístroje, tedy nepřesnost měření samotného rychloměru. Dále rozlišujeme rychlost EAS – Equivalent Air Speed, což je CAS opravená o vliv stlačitelnosti vzduchu. Vliv stlačitelnosti se však bere v úvahu až od vyšších rychlostí cca od 500 ÷ 600 km/h. TAS – True Air Speed je pak EAS opravená o vliv hustoty vzduchu. Ta se mění s měnící se výškou letu. U hladiny moře platí, že EAS = TAS. Se stoupající výškou letu pak klesá hustota vzduchu, tedy roste TAS.

2.1.3 Přistání

Přistávací manévr je, podobně jako vzlet, tvořen dvěma částmi – vzdušnou a pozemní. Přistání rozkreslené do jeho jednotlivých fází je znázorněno na obr. 3.

Přistání začíná v určité smluvně domluvené výšce nad prahem dráhy – většinou v 15 m (50 ft). V tomto okamžiku má letoun tzv. referenční rychlost, která je rovna 1,3 násobku pádové rychlosti letounu v přistávací konfiguraci – V_{S0}. Během vzdušné části letoun postupně zaujímá vodorovnou polohu s RWY a snižuje svoji rychlost. Tato část se nazývá přechodový oblouk. K dotyku s RWY dochází kvůli bezpečnosti v rychlosti o 10 % až 15 % vyšší, než je pádová rychlost v přistávací konfiguraci. Po dosednutí letounu začíná pozemní část přistání, tzv. dojezd. Během dojezdu letoun brzdí a snižuje svoji rychlost až na V = 0. Během brzdění je třeba brát v úvahu rychlost V_{MBE} – maximum brake energy speed. To je maximální rychlost, od které jsou brzdy letounu konstrukčně schopny pohltit jeho kinetickou energii po dosednutí až do rychlosti V = 0. Délkou přistání se rozumí dráha letounu z výšky 50 ft až do zastavení letounu promítnutá do horizontální roviny.



Obr. 3 Přistání a jeho fáze

2.2 Podmínky pro stanovení výkonu leteckých pohonných jednotek

2.2.1 Tah a výkon motoru

Letecké pohonné jednotky různých druhů vytváří sílu F, která působí ve směru pohybu letounu a letoun urychluje. Tato síla vyvolaná motorem se nazývá tah. Tah působí ve vzduchu za letu proti aerodynamickému odporu D, který vzniká v důsledku pohybu letounu vzduchem. Je-li tah větší než odpor v horizontálním letu, letoun se pohybuje zrychleným pohybem. Je-li naopak

velikost tahové síly menší než odporové síly, letoun zpomaluje. Rovná-li se v horizontálním letu tah aktuálnímu odporu, pak letí letoun konstantní dopřednou rychlostí. Ať už se jedná o čistě proudové motory, turbovrtulové motory či vrtulové pístové pohonné jednotky, stále platí, že tah vyplývá z třetího Newtonova pohybového zákona akce a reakce. Na sílu vyvolanou pohonnou jednotkou, působí v opačném směru stejně velká síla, která žene letoun vpřed.

Výkon P je definován jako množství vykonané práce A za jednotku času t:

$$P = \frac{A}{t}$$

Práce definována jako síla F, která působí na těleso pohybující se po dráze S:

$$A = F \cdot S$$

Rychlost je definována jako změna dráhy S za jednotku času t:

$$V = \frac{S}{t}$$

Z výše uvedených vztahů dostaneme po dosazení vzorec pro výkon leteckých pohonných jednotek:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot V$$

Výkon leteckých pohonných jednotek lze pak definovat jako součin jejich tahu F a rychlosti letu V.

2.2.2 Faktory ovlivňující vzlet a přistání

Vzlet i přistání jsou fáze letu, při kterých posádka musí počítat s mnoha vlivy, které by mohly bezpečnost letu ovlivnit. Mezi nejdůležitější samozřejmě patří výkon pohonných jednotek ovlivněný atmosférickými podmínkami v místě vzletu či přistání, ale je nutno vzít do úvahy i další vlivy. Dalšími faktory, které ovlivňují parametry vzletu a přistání jsou:

- hustota vzduchu
- vítr
- stav povrchu RWY
- hmotnost letounu při startu
- sklon RWY

- poloha vztlakových klapek
- znečištění povrchu letounu (degraduje aerodynamické vlastnosti a zvyšuje odpor letounu)

Aktuální podmínky atmosféry v místě přistání či vzletu může posádka zjistit z pravidelné meteorologické zprávy METAR. Jedná se o zprávu o aktuálním pozorovaném počasí na letišti, která je aktualizována většinou každých 30 minut na větších mezinárodních letištích, nebo 60 minut na méně rušných letištích. K METARu může být také připojena tzv. přistávací předpověď, ve které je uvedena předpověď vývoje počasí a případných významných změnách v počasí na letišti v následujících dvou hodinách od posledního pozorování, tedy od vydání zprávy METAR. Tato předpověď se nazývá zpráva typu TREND.

Z METARu posádka zjistí aktuální podmínky atmosféry, určí, jak se liší od podmínek (veličin) MSA a tyto hodnoty či odchylky hodnot zanese do příslušných grafů a nomogramů. Podle nich zjistí aktuální parametry vzletu, případně přistání. V letových příručkách letounů či provozních příručkách leteckých společností jsou všechny potřebné grafy a tabulky uvedeny, nicméně v dnešní době je čím dál tím více výpočtů přenecháváno nejrůznějším softwarovým programům, ať již z důvodu vyloučení rizika lidské chyby, přesnosti výpočtu nebo kvůli zjednodušení práce posádky.

2.2.3 Mezinárodní standardní atmosféra ICAO

Výkony leteckých pohonných jednotek jsou přímo závislé na aktuálních podmínkách okolní atmosféry. Aby se tyto výkony daly objektivně porovnávat, vznikl model tzv. mezinárodní standardní atmosféry ICAO (MSA), anglicky ISA – International Standard Athmosphere, který srovnání umožňuje. V modelu jsou definovány základní fyzikální veličiny, které stav atmosféry popisují. Jedná se o teplotu, tlak a hustotu vzduchu. Jejich hodnoty jsou pevně stanoveny pro střední hladinu moře. Střední hladina moře je průměrná výška světové mořské hladiny určená dlouhodobým pozorováním. Okamžitá výška hladiny moře v určitém místě je závislá na přílivech a odlivech, na sezónním období na konkrétním zeměpisném místě atd. Střední hladina moře pak kopíruje přibližně tvar geoidu, tedy fyzikálního modelu Země. Měří se speciálními přístroji – tzv. mareografy. Model mezinárodní standardní atmosféry na střední hladině moře je definován následujícími atmosférickými podmínkami:

- teplota vzduchu 15 °C
- tlak vzduchu 1013,25 hPa
- hustota vzduchu 1,225 kg/m^3

Veličiny se se vzrůstající nadmořskou výškou mění následujícím způsobem. Teplota klesá o 0.65 °C na 100 m nárůstu výšky až do 11 000 m, kde stagnuje na - 56,5 °C

Od 11 000 m do 20 000 m zůstává teplota vzduchu dle MSA konstantní. Od 20 000 m do 32 000 m nad střední hladinou moře pak teplota naopak vzrůstá, a to gradientem 0,1 °C na 100 m výšky. Vyšší výšky se pro civilní letectví prakticky nepoužívají. Nebude zde proto chování atmosféry pro vyšší výšky popisováno. [15]

Mezinárodní standardní atmosféra je ideální plyn, pro který platí stavová rovnice:

$$p\,V = n\,R\,T$$

p … tlak plynu (hPa)
V … objem plynu (m^3)
n … látkové množství
R … molární plynová konstanta 8,314 4621(75) $J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
T … termodynamická teplota (°C)

K výpočtu jednotlivých fyzikálních veličin atmosféry v libovolné nadmořské výšce MSA do 11 000 m lze použít následující vzorce:

Teplota vzduchu: $t = 15 - 0{,}0065\,H$

Tlak vzduchu: $p = 1013{,}25\left(1 - \frac{H}{44308}\right)^{5{,}2553}$

Hustota vzduchu: $\rho = 1{,}225\left(1 - \frac{H}{44308}\right)^{4{,}2553}$

H … nadmořská výška (m)

V tabulce č. 1 je vypsána závislost tří výše uvedených vlastností atmosféry na změně výšky AMSL a k nim jsou uvedeny příklady některých letových hladin. V reálné atmosféře se však hodnoty základních fyzikálních veličin neustále mění, a to ovlivňuje i výkony leteckých pohonných jednotek a na nich závisející délku vzletu a přistání.

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti vzduchu v závislosti na výšce AMSL

Výška *ft*	**Letová hladina**	**Teplota** *°C*	**Hustota vzduchu** *Kg/m³*	**Tlak** *hPa*
MSL		15,0	1,225	1013
364		14,3	1,212	1000
1773		11,5	1,683	950
3243		8,6	1,113	900
4781	FL50	5,5	1,063	850
6394		2,3	1,012	800
8091		- 1,0	0,960	750
9882	FL100	- 4,6	0,908	700
11780		- 8,3	0,855	650
13801	FL140	- 12,3	0,802	600
15962		- 16,6	0,747	550
18289	FL185	- 21,2	0,692	500
20812		- 26,2	0,635	450
23574	FL235	- 31,7	0,577	400
26631		- 37,7	0,518	350
30065	FL300	- 44,5	0,457	300
33999	FL340	- 52,3	0,395	250
38662	FL385	- 56,5	0,322	200
44647	FL445	- 56,5	0,241	150
53083		- 56,5	0,161	100

2.2.4 Korekce MSA na skutečné atmosférické podmínky

Protože MSA je jen jakýsi model neměnných atmosférických podmínek, aby bylo možno stanovit výkony pohonných jednotek letounů za srovnatelných podmínek, je zřejmé, že se od skutečných fyzikálních vlastností atmosféry může odlišovat. Fyzikální vlastnosti skutečné atmosféry v určitém konkrétním místě se mohou dynamicky měnit a závisí i na jiných vlivech, než jak je definuje MSA. Proto se pro stanovení výkonů letounů zavedly opravné veličiny „tlaková výška“

a „hustotní výška“, pomocí kterých se definování fyzikálních podmínek atmosféry v konkrétním místě podle MSA koriguje na skutečné atmosférické podmínky.

Tlaková výška – Pressure altitude

Tlaková výška je skutečná velikost tlaku v určité výšce nad střední hladinou moře zahrnující i jiné vlivy než pouze nadmořskou výšku. V reálné atmosféře neplatí vždy, že se fyzikální vlastnosti atmosféry v určité výše mění podle popsaných závislostí se vzrůstající výškou nad střední hladinou moře. Atmosféra nad letištěm je ovlivňována různými vzdušnými hmotami, atmosférickými frontami a tlakovými útvary, které ovlivňují místní aktuální tlak vzduchu. Proto je třeba tuto zkreslenou výšku nad střední hladinou moře opravit o odchylku tlaku od hodnoty MSA. Takto opravená výška se nazývá tlaková výška.

Hustotní výška – Density altitude

Skutečná teplota vzduchu, a tím i jeho hustota, se v určité výšce může lišit od teploty stanovené podle MSA. Hustotní výška je tlaková výška korigovaná podle skutečné teploty vzduchu v konkrétním místě. Hustotní výška závisí na tlaku a teplotě vzduchu. Roste-li tlak vzduchu, snižuje se hustotní výška a naopak. Roste-li teplota vzduchu, snižuje se hustota vzduchu a roste tedy i hustotní výška.

Závěrem

Výkony letounu jsou závislé na charakteristikách vzduchové hmoty, ve kterých se letoun pohybuje. Pomocí hustotní výšky se hodnotí a porovnávají výkony letounů. Na hustotní výšce jsou závislé nejen výkony leteckých pohonných jednotek, ale i aerodynamické výkony profilu nosných ploch.

Z výše uvedeného vyplývá, že nejnižší výkony mají letouny, pokud operují na vysoko položených horských letištích při vysokých teplotách vzduchu.

2.2.5 Využití MSA pro vzlet a přistání

Zjistí-li pilot z dostupných grafů, nomogramů či pomocí softwarových aplikací, že za aktuálních podmínek není schopen bezpečně vzlétnout ať již kvůli TODA, TORA, gradientu stoupání po vzletu nebo kvůli jiným omezujícím faktorům, nesmí se pokusit o vzlet. Řešení spočívá ve snížení vzletové hmotnosti stroje, odložení vzletu na noční hodiny, kdy lze očekávat pokles teploty vzduchu a podobně. Obdobná situace samozřejmě platí i při přiblížení a přistání, kdy nemusí letoun splňovat potřebné gradienty stoupání pro go – around a jiné.

Hustotní výška má zásadní a hlavní vliv na výkony letadel při vzletu a přistání. Této výšce v MSA odpovídají jak aerodynamické výkony profilu nosných ploch, tak i výkony pohonných jednotek. Letoun se pohybuje ve vzduchu o určité hustotě, která udává jeho výkony (je ovlivněna aktuálním tlakem vzduchu a teplotou). Tato hustota odpovídá určité výšce v MSA, a to je výše popsaná hustotní výška. Tlaková výška tedy poroste se snižujícím se tlakem vzduchu a se zvyšující se teplotou. Nejnižší výkony mají proto letadla při vzletech a přistáních z vysoko položených horských letišť za vysoké teploty vzduchu. I proto se hodně letů obchodní letecké přepravy uskutečňuje v noci nebo časně z rána za nižších teplot.

Tlaková a hustotní výška se dá spočítat manuálně například na letovém počítadle – tzv. Flight Computer, nebo pomocí různých výpočetních programů a aplikací, které jsou dnes již většinou běžnou výbavou tabletu každého pilota obchodní letecké dopravy.

Hustotou a teplotou vzduchu jsou ovlivněny rychlosti TAS a GS, nikoli však IAS. Indikovaná vzdušná rychlost se nemění a pilot provádí vzlet a přistání při stále stejných indikovaných rychlostech bez ohledu na aktuální teplotu a tlak vzduchu. Aktuální IAS pro konkrétní vzlet či přiblížení se vypočítává v závislosti na hmotnosti letounu případně větru atd.

3 VLIV VLASTNOSTÍ ATMOSFÉRY NA VÝKONY LETOUNU

3.1 Hustota vzduchu

Hustota vzduchu je závislá na teplotě, vlhkosti a tlaku vzduchu. Jelikož všechny tyto tři fyzikální veličiny mají vliv na výkony letounu během vzletu a přistání, dá se tedy říct, že výkony jsou závislé na hustotě vzduchu. Ze stavové rovnice plynu lze vyjádřit závislost hustoty vzduchu na jeho tlaku a teplotě. Z rovnice je patrné, že s klesajícím tlakem vzduchu nebo rostoucí teplotou klesá i jeho hustota.

$$\rho = \frac{p\,M}{R\,T}$$

p … tlak vzduchu (hPa)
R … molární plynová konstanta
M … molární hmotnost plynu
T … termodynamická teplota

Hustota vzduchu klesá velmi rychle s nadmořskou výškou. Téměř 99 % hmotnosti atmosféry Země tvoří její vrstva do výšky 36 000 m nad hladinou moře. Jelikož se vzrůstající nadmořskou výškou klesá tlak vzduchu, klesá tedy i jeho hustota.

3.2 Teplota vzduchu

3.2.1 Vliv teploty vzduchu na výkon letounu

Teplota vzduchu má zásadní vliv na výkon letounů. Se zvyšováním teploty vzduchu dochází k nárůstu kinetické energie jeho molekul v určitém objemu. Molekuly se začnou pohybovat rychleji a chaotičtěji. To vede ke zvětšení objemu daného množství vzduchu a poklesu jeho hustoty. Pokles hustoty má pak za následek snížení vztlaku na nosných plochách letounu. S nižší hustotou vzduchu klesá i obsah kyslíku v objemové jednotce vzduchu, a to má negativní vliv na tah, který je motor schopen vyvinout. Proto dochází ke snížení jeho výkonu.

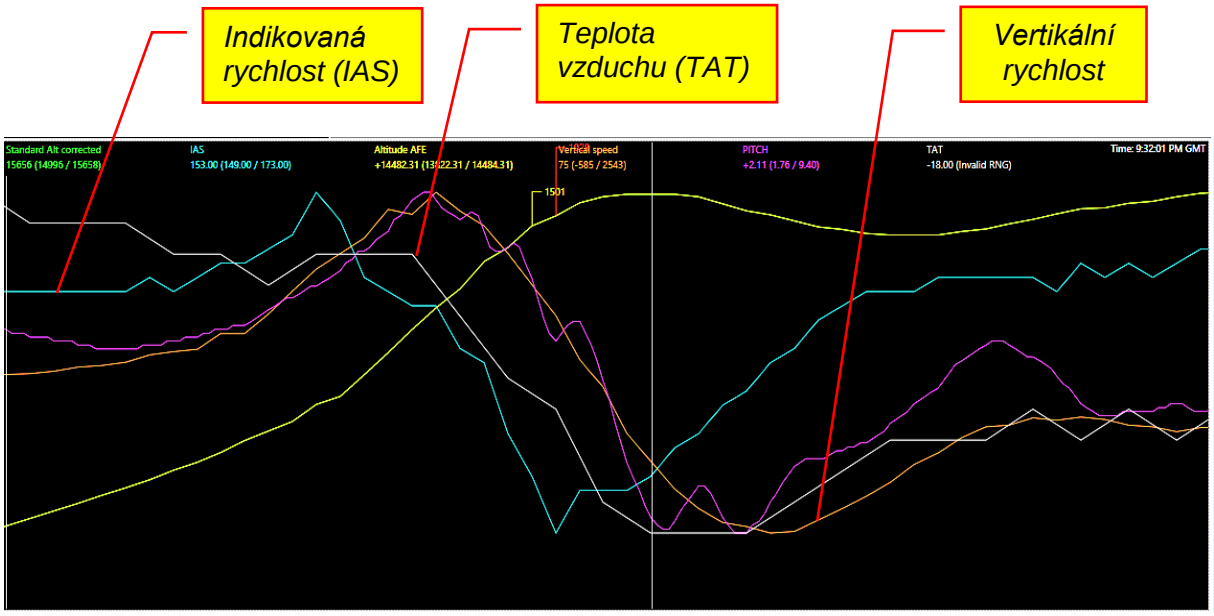
Velmi nebezpečná může být skoková změna teploty na horním rozhraní oblačnosti během stoupání zvláště u některých typů letadel, kdy se letoun pohybuje rychlostmi blízkými pádové rychlosti za daných podmínek. Například při náhlém snížení teploty a s tím souvisejícím zvýšení hustoty vzduchu mohou přístroje letounu vyhodnotit situaci jako zvýšení indikované rychlosti a při její následné korekci autopilotem pak dojde ke snížení rychlosti letu pod minimální hodnotu za daných podmínek a může tak vzniknout nebezpečná situace.

Závěrem

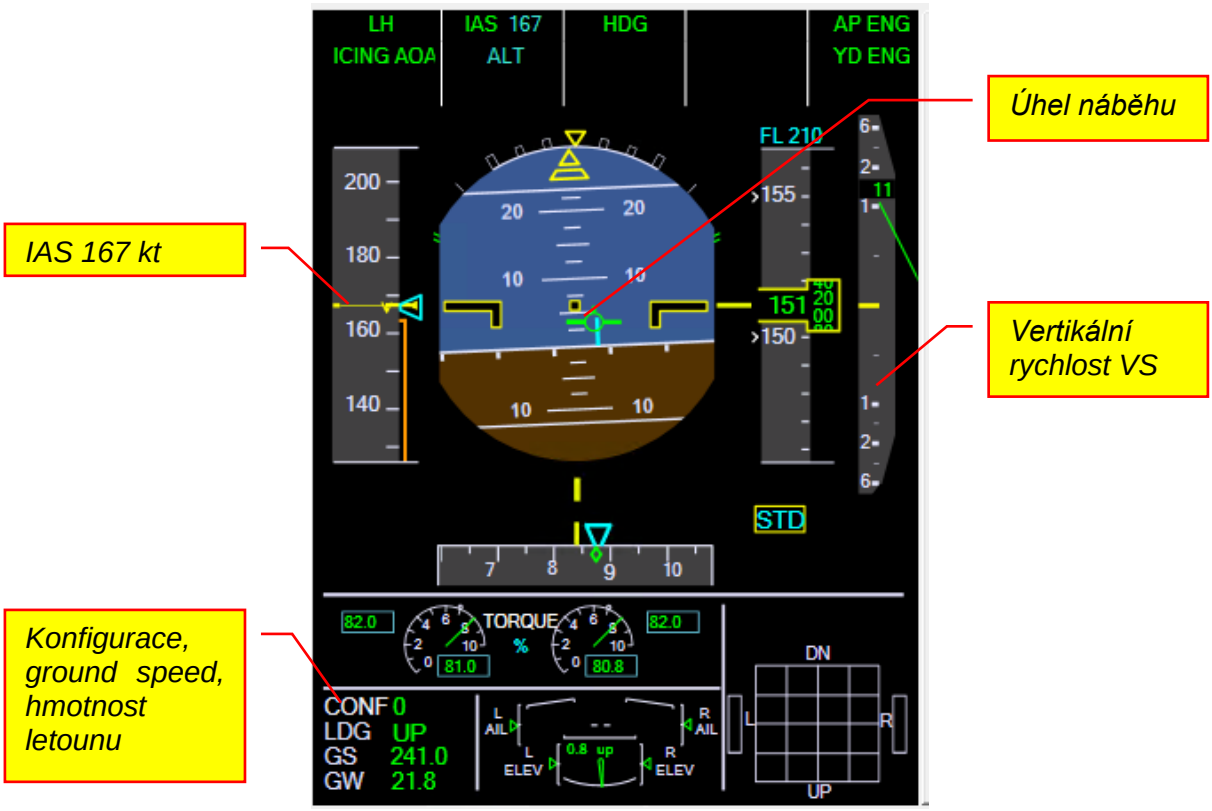
Se vzrůstající teplotou vzduchu klesá jeho hustota, což vede ke snížení výkonů motorů a horším aerodynamickým vlastnostem nosných ploch.

Náhlá změna teploty na rozhraní oblačnosti může způsobit nebezpečnou situaci během stoupání letounu. Takovou situaci a reakci pilota na ni lze demonstrovat na následujícím příkladu:

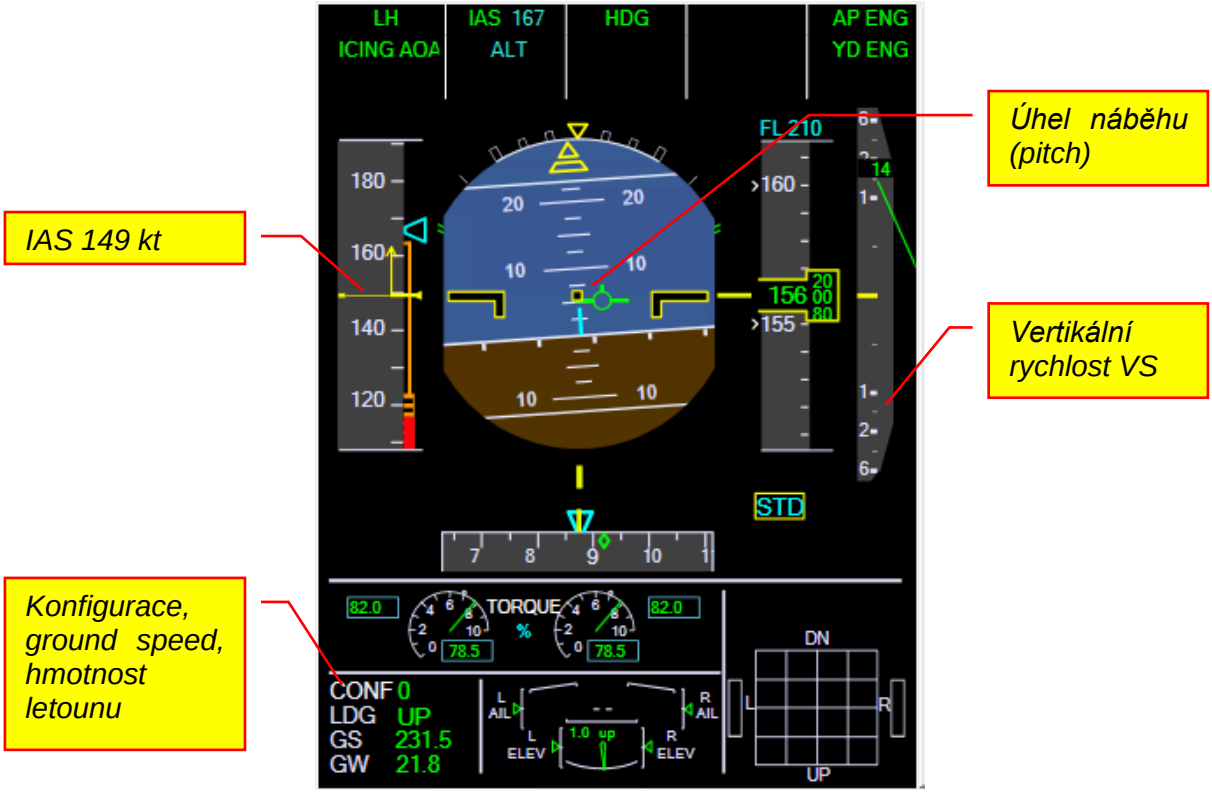
Letoun stoupal po vzletu do cestovní hladiny a autopilot udržoval konstantní rychlost 167 kt. Tato rychlost je u daného stroje označována V_{mhbo}, tedy minimální rychlost v čisté konfiguraci s náklonem do 25° za podmínek tvoření námrazy při dané hmotnosti letounu. Letoun stoupal v oblačnosti o určité teplotě vzduchu TAT. Jakmile prostoupal oblačnost, došlo na rozhraní oblačného a bezoblačného prostředí ke skokovému poklesu teploty. To vedlo ke zvýšení hustoty vzduchu, což přístroje letounu vyhodnotí jako zvýšení indikované rychlosti letu IAS. Autopilot nastavený na 167 kt zvýšil úhel náběhu a tím pádem i vertikální rychlost stoupání tak, aby udržel zadanou rychlost 167 kt. Indikovaná rychlost začala klesat, ovšem vlivem setrvačnosti klesla až pod rychlost V_{mhbo}, a to na hodnotu 149 kt. Tím byla porušena minimální rychlost letounu v dané konfiguraci, při dané hmotnosti a za daných atmosférických podmínek a vytvořil se tak předpoklad nebezpečné situace. Posádka zareagovala potlačením řízení, snížením úhlu náběhu a tím získala opět potřebnou dopřednou rychlost. I díky tomu, že letoun nebyl namrzlý, nebyly nosné plochy letounu aerodynamicky narušeny a nedošlo tak v tomto případě k pádu stroje. Parametry tohoto letu popisují obrázky 4 až 6.



Obr. 4 Grafický průběh vybraných parametrů letu



Obr. 5 Grafická simulace parametrů letu během stoupání konstantní rychlostí V_{mhb0}



Obr. 6 Grafická simulace kritického poklesu rychlosti pod V_{mhb0}

3.2.2 Změny teploty v atmosféře

Změny teploty v určitém místě v průběhu roku závisí na vlastnostech podnebí v daném místě. Jsou úzce spjaty s cirkulačními charakteristikami atmosféry, s množstvím slunečního záření a také jej ovlivňuje typ aktivního povrchu země na daném místě. Obecně lze říct, že roční chod teploty na většině zemského povrchu lze popsat sinusovou charakteristikou. Teplotní maxima nastávají v naší geografické oblasti v létě, přesněji přelom července a srpna. Minima se zase vyskytují v průběhu ledna. V horských oblastech a nad rozsáhlými plochami oceánů se roční teplotní maxima a minima vyskytují přibližně o měsíc později. Sinusový tvar ročního chodu teploty nelze pozorovat jen v rovníkových oblastech, kde nejsou zdaleka takové teplotní výkyvy během ročního cyklu.

Dlouhodobější teplotní výkyvy v průběhu roku tvoří tzv. teplotní amplitudu, která popisuje roční chod teploty. Teplotní amplituda je definována jako rozdíl průměrné teploty vzduchu v nejteplejším a nechladnějším měsíci v roce. V našich podmínkách střední Evropy a na našich českých letištích, dosahuje teplotní amplituda přibližně 20°C.

Amplitudu teploty vzduchu ovlivňuje poloha konkrétního letiště. Amplituda se zvětšuje s rostoucí zeměpisnou šířkou ale i s kontinentalitou. Na pobřeží moře jsou amplitudy nižší než hluboko ve vnitrozemí. Proto některá letiště například na severovýchodní Sibiři mají teplotní amplitudu až 60°C.

Na jižní polokouli je teplotní amplituda charakterizována obrácenou sinusoidou než na severní polokouli. Nejteplejší měsíce roku připadají na leden až únor, a naopak mezi nejchladnější měsíce se řadí červenec a srpen.

Změnu teploty během dne nazýváme denním chodem teploty vzduchu. Ten se projevuje v tzv. vrstvě tření. Vrstva tření neboli mezní vrstva je vertikálně nevýrazná část atmosféry sahající do výšky cca 1500 m nad zemský povrch. Tato část atmosféry je nejvíce ovlivňována zemským povrchem.

Obecně lze říct, že denní chod teploty je ovlivňován daleko více faktory, než roční chod teploty vzduchu a nelze v něm vypozorovat takovou pravidelnost. Mezi hlavní faktory patří tzv. aktivní povrch. Definice aktivního povrchu zní:

„Přechodná plocha mezi litosférou nebo hydrosférou a atmosférou (povrch půdy, vody, porostu, popřípadě umělý povrch jako povrch vozovky, střech domů a podobně), na níž dochází k odrazu záření i jeho transformaci v jiné druhy energie (především teplo). Aktivní povrch patří k hlavním klimatickým faktorům.“ [7]

Dalšími faktory majícími vliv na denní chod teploty vzduchu jsou vítr a poloha místa. Jiný denní chod teploty bude na rovinách nížin s dostatkem slunečního svitu a jiný v horských údolích s minimem slunečního svitu během dne. Dále stupeň pokrytí oblohy oblačností či přechod atmosférických front přes místo pozorování. Přes letiště České republiky přechází v průměru 115 atmosférických front za rok.

Teplota se na meteorologických stanicích měří v meteorologické budce ve výšce 2 m nad zemí. Amplituda denního chodu teploty je vyšší na pevnině, než nad oceánem a dále roste s kontinentalitou. Je vyšší v létě než v zimě a se vzrůstající zeměpisnou šířkou se zmenšuje.

Čas výskytu teplotních denních maxim se liší na poloze místa pozorování. Nejdříve nastává denní teplotní maximum nad oceánem sice už mezi 12:00 a 13:00 hod. Na pevnině se v průměru teplotní denní maxima vyskytují kolem 14:00 hod. Ve městech s mnoha stavbami, asfaltem a betonem pak až kolem 16:00.

Teplotní denní minima se pak vyskytují obecně nad ránem se svítáním.

3.2.3 Vztažná teplota letiště

Jak bylo vysvětleno, má teplota vzduchu významný vliv na jeho hustotu, a tedy i na výkon letounu při vzletu a přistání. Proto se zavedl pojem „vztažná teplota letiště“. Je definována pro každé letiště zvlášť. Je to orientační hodnota pesimálních, tedy pro let nejméně vhodných podmínek na letišti.

Pro vyjádření teploty se v letectví užívají dvě teplotní stupnice. Nejpoužívanější a ve světě nevíce rozšířená je stupnice Celsiova, ale v Kanadě, USA a ve Velké Británii včetně Severního Irska se z historických důvodů používá teplotní stupnice Fahrenheitova. Posádky letadel tedy musí často použít pro stanovení teploty přepočet mezi oběma stupnicemi:

$$°\mathrm{F} = \frac{9\ °\mathrm{C}}{5} + 32 \qquad °\mathrm{C} = \frac{5\ (°\mathrm{F} - 32)}{9}$$

Dříve se vztažná teplota letiště určila z průměrných nejvyšších teplot vzduchu podle vzorce:

$$T_V = T + \frac{T_M - T}{3}$$

T_V … průměrná vztažná teplota (°C)
T … průměrná teplota v nejteplejším měsíci v roce (°C)
T_M … průmět maximálních denních teplot vzduchu v nejteplejším měsíci v roce (°C)

Novějším způsobem určení vztažné teploty letiště je její stanovení z průměru teplot za třicetileté období.

Určí se nejteplejší měsíc v roce. To je měsíc s nejvyšším měsíčním průměrem teplot. Z nejteplejšího měsíce v roce se spočítá průměr maximálních denních teplot. V posledním kroku se určí průměr takto vypočítaných hodnot za tzv. normálové období. To je třicetileté období. Poslední skončené normálové období bylo mezi roky 1961-1990.

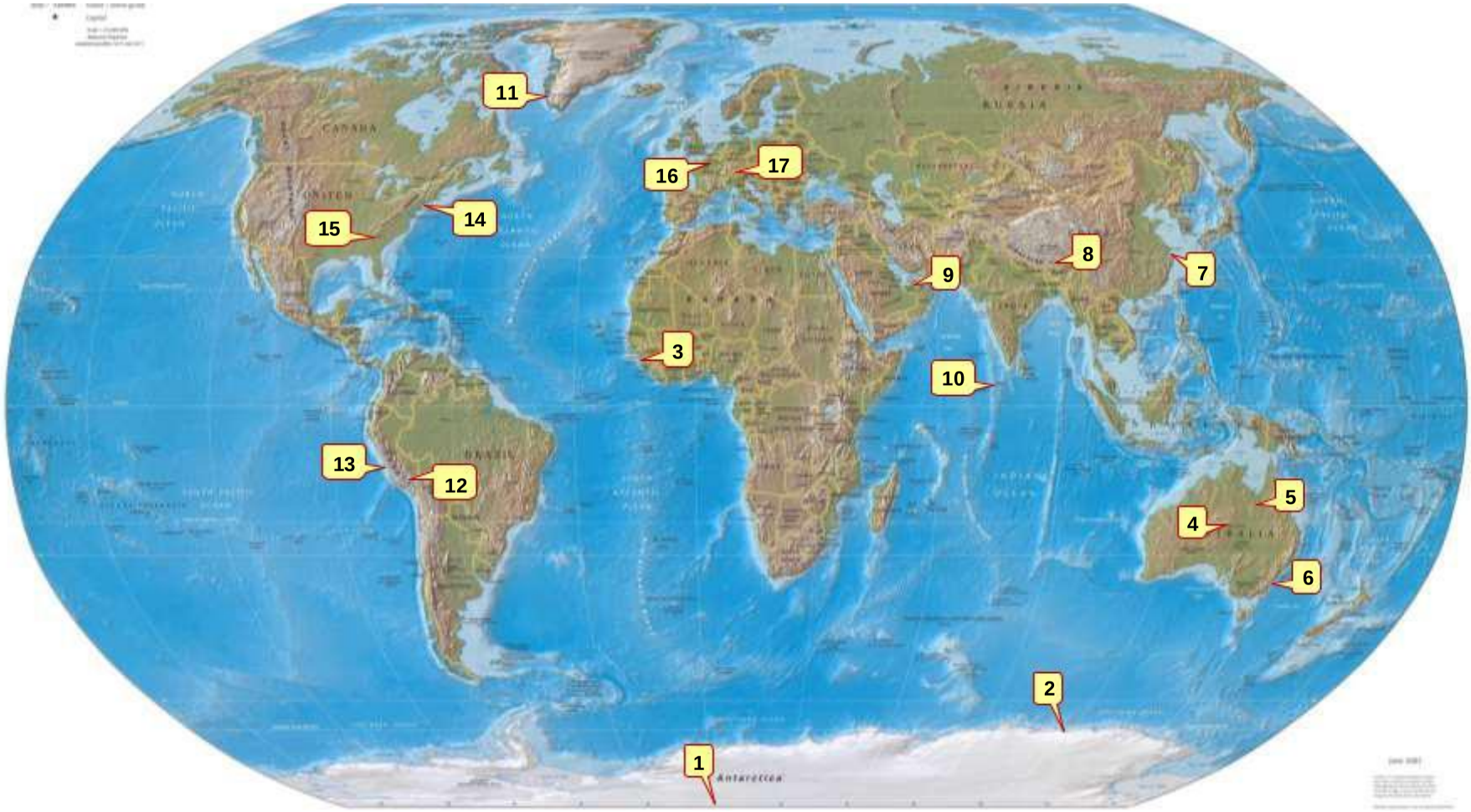
V tabulce č. 2 je vypočítaná vztažná teplota jednotlivých letišť v České republice. Dále je uvedena vztažná teplota vybraných letišť ve světě v tabulce č. 3. Letiště byla vybrána tak, aby byla rovnoměrně rozložena na všech kontinentech a v různých podnebných pásmech a nadmořských výškách. Na obr. 7 je uvedená mapa pro ilustraci polohy vybraných světových letišť. Povšimněme si, jak se vztažná teplota letišť liší v závislosti právě na nadmořské výšce, podnebném pásu, jaké jsou nejteplejší měsíce v roce na daných letištích atd.

Tab. 2 Vztažná teplota na IFR letištích v České republice podle příručky AIP [8]

Letiště	**Nadmořská výška** *m*	**Vztažná teplota** *°C*	**Vztažná teplota** *°F*
LKTB	238	24,6	76,3
LKKV	606	21,9	71,4
LKKB	286	23,3	73,9
LKKU	177	21,0	69,8
LKMT	257	23,5	74,3
LKPD	226	22,2	72,0
LKPR	376	23,6	74,5
LKVO	280	22,5	72,5

Tab. 3 Vztažná teplota na vybraných světových letištích [9]

	Stát	Letiště	Nadmořská výška *m*	Vztažná teplota *°C*	Vztažná teplota *°F*	Měsíc
1	Antarktis	Amundsen – Scott NZSP	2800	- 13,9	7,0	Prosinec
2	Antarktis	Mawson	8	2,9	37,2	Leden
3	Guinea	Conakry CKY	26	33,6	92,5	Duben
4	Australia	Alice Springs YBAS	546	36,2	97,2	Leden
5	Australia	Cloncurry YCCY	189	38,1	100,6	Prosinec
6	Australia	Sydney Airport YSSY	6	26,4	79,5	Leden
7	Čína	Shanghai ZSSS	3	31,6	88,9	Červenec
8	Čína	Lhasa ZULS	3649	22,7	72,9	Leden
9	SAR	Dubai OMDB	5	34,4	93,9	Srpen
10	Maledivy	Male VRMM	2	31,5	88,7	Duben
11	Grónsko	Godthab BGGH	50	10,6	51,1	Červenec
12	Peru	Cuzco SPZO	3312	20,9	69,6	Říjen
13	Peru	Lima SPIM	13	26,8	80,2	Únor
14	USA	New York – La Guardia KLGA	16	28,8	83,8	Červenec
15	USA	Atlanta KATL	338	31,1	88,0	Červenec
16	Francie	Paris – Le Bourget LFPB	65	23,6	74,5	Červenec
17	Švýcarsko	Curych LSZH	556	22,4	72,3	Červenec



Obr. 7 Geografické rozložení letišť uvedených v tabulce 3

3.3 Vlhkost vzduchu

Vlhkost vzduchu je definována jako:

„základní meteorologický prvek popisující množství vodní páry ve vzduchu. V meteorologii se vyjadřuje pomocí vlhkostních charakteristik, jako například absolutní vlhkosti, deficitu teploty rosného bodu, sytostního doplňku, měrné vlhkosti, poměrné vlhkosti, směšovacího poměru, tlaku vodní páry, popřípadě dalších.“ [7]

Vlhkost vzduchu je způsobena vodní párou, která je ve vzduchu obsažena. Množství vodní páry ve vzduchu lze měřit a vyjádřit jako absolutní nebo relativní vlhkost vzduchu.

Absolutní vlhkost vzduchu vyjadřuje, kolik gramů vodní páry obsahuje objem 1 m^3 vzduchu.

Relativní neboli poměrná vlhkost vzduchu se udává v procentech. Je to poměr okamžitého množství vodní páry v 1 m^3 vzduchu k množství páry ve stejném objemu tzv. nasyceného vzduchu, tedy množství páry, kterou by 1 m^3 vzduchu byl schopen přijmout za stejného tlaku a teploty.

Vlhkost vzduchu má vliv i na výkon leteckých pohonných jednotek. Vlhký vzduch je směsí suchého vzduchu a vodní páry v určitém poměru. Jelikož vodní pára má menší hustotu než suchý vzduch, a to v poměru 0,623 : 1, je tedy i hustota výsledného vlhkého vzduchu nižší než hustota suchého vzduchu. To má vliv na vztlak nosných ploch letounu. Čím větší je obsah vodní páry ve vzduchu, tím nižší je obsah suchého vzduchu, který je potřeba pro spalování paliva ve spalovacím motoru. To vede k vyšší bohatosti směsi – vyšší podíl paliva a nižší podíl suchého vzduchu – potřebné pro spalování a motor proto ztrácí výkon.

Závěrem:

Z výše uvedeného je tedy patrné, že čím vyšší bude absolutní vlhkost vzduchu, tím nižší bude tah / výkon spalovacích motorů obecně. Vlhkost vzduchu snižuje jeho hustotu.

3.4 Tlak vzduchu

Tlak vzduchu je nepřímo úměrný tlakové výšce letiště. V čím vyšší nadmořské výšce je letiště položeno, tím nižší bude jeho tlaková výška a naopak. S rostoucí nadmořskou výškou letiště, respektive s jeho klesající tlakovou výškou klesají i výkony leteckých pohonných jednotek.

3.4.1 Statický a dynamický tlak vzduchu

Dochází-li kvůli tlakovým poměrům k proudění plynu, mluvíme o dynamickém tlaku vzduchu. K určení výkonů leteckých pohonných jednotek nás zajímá ovšem statický tlak vzduchu. Ten můžeme chápat jako tlak vzduchového sloupce, který působí na jednotku plochy. Statický tlak nazýváme také atmosférický tlak nebo jen tlak vzduchu. Jeho přesná definice zní:

„…v dané výšce tíha vzduchového sloupce o jednotkovém průřezu, který sahá od dané výškové hladiny až na horní hranici atmosféry.“ [7]

Tlak vzduchu se měří rtuťovými tlakoměry. Mezinárodní Standardní Atmosféra definuje tzv. normální tlak. Jeho hodnota je 1013,25 hPa. Ta se rovná 760 mmHg (milimetry rtuťového sloupce) neboli torrům. Jako jednotka tlaku se v letectví nejčastěji používají Pascaly. Vzhledem k jeho velikosti se používá vyjádření tlaku v hektopascalech – hPa (1 hPa = 100 Pa = 100 N/m^2).

V letectví se k měření tlaku ve výškoměrech používají tzv. aneroidy. Je to tenkostěnný kovový, vzduchotěsně uzavřený válec, uvnitř něhož je vakuum. Okolní tlak vzduchu způsobuje jeho větší či menší deformaci a míra deformace se mechanicky přenáší na ukazatel tlaku v kabině pilota. Stupnice tlakoměru je pak cejchována v jednotkách výšky. V letectví se dnes jako jednotka výšky používají téměř výhradně stopy (ft). Zejména ve státech východního bloku se před rokem 1990 používal metrický systém.

Moderní výškoměry používají k měření tlaku vzduchu čidla, která pracují na snímání změny elektrické kapacity a z toho dále vyhodnocují nadmořskou výšku.

Na výsledný atmosférický tlak na letišti však mají vliv ještě jiné faktory než jen nadmořská výška. Významným vlivem je například nestejné zahřívání zemského povrchu. To vede ke tvorbě oblastí s rozdílnými teplotami vzduchu. Jelikož teplejší vzduch je řidší, má nižší hustotu, je tedy i statický tlak vzduchu v takovéto oblasti nižší. Rozdíly v atmosférických tlacích nad různými oblastmi popisujeme pomocí síly tlakového neboli barického gradientu. Tato síla je příčinou vzniku větru. Tlak se vždy v přírodě snaží vyrovnat a vzduchová masa proudí z oblasti vyššího tlaku vzduchu do oblasti s nižším tlakem.

Mezi další faktory ovlivňující výslednou hodnotu tlaku vzduchu na letišti řadíme Corriolisovu sílu (uchylující síla zemské rotace), třecí sílu a odstředivou sílu. Svoji roli hraje i reliéf krajiny – tvar zemského povrchu. Tyto všechny faktory jsou příčinou vzniku tlakových útvarů s tlakem odlišným od okolí. Nazýváme je tlakové výše – anticyklony, tlakové níže – cyklony, tlaková – barická sedla, tedy hřebeny vysokého a nízkého tlaku vzduchu.

Tyto tlakové útvary společně s nadmořskou výškou letiště určují výsledný atmosférický tlak na letišti v konkrétní okamžik.

Podobně jako u teploty, lze i u tlaku pozorovat jeho denní chod. Denní chod má tvar dvojité sinusoidy. Tlak dosahuje své minimální hodnoty kolem 4:00 hodiny a pak v 16:00 hodin. Nevyšší hodnoty lze pak pozorovat kolem 10:00 a večer kolem 22:00. Výraznější rozdíly jsou pozorovatelné během letních měsíců a v oblastech s nižší zeměpisnou šířkou. Zde změny tlaku dosahují rozdílů až 4 hPa. Mimo denní chod je tlak vzduchu ovlivňován spíše nepravidelnými změnami, jako jsou přechody front a výměna tlakových útvarů nad letištěm. Tyto změny tlaku jsou výraznější než změny související s denním chodem tlaku vzduchu.

Barický stupeň

Barický stupeň je definován jako změna výšky, která způsobí změnu tlaku o 1 hPa. S nadmořskou výškou barický stupeň roste. Na hladině moře je to 8 m, v 5000 m. n. m je to již 15 m a v 10 000 m. n. m. je hodnota barického stupně 30 m.

3.4.2 Staniční tlak

Staniční tlak je důležitou informací pro stanovení výkonů leteckých pohonných jednotek při vzletu a přistání. Je definován jako:

„tlak vzduchu změřený na meteorologické stanici redukovaný na teplotu rtuti 0°C a se započtenou přístrojovou opravou.“ [7]

Letiště položené u hladiny moře, jako například Amsterdam, bude mít standardní, tedy jinými faktory neovlivněný tlak vzduchu vyšší než například horské letiště v Limě. Abychom mohli srovnávat okamžitý tlak vzduchu, který je výsledkem mnoha atmosférických i zeměpisných vlivů, musíme je vztáhnout ke společné základně, nadmořské výšce. Proto je dohodou zavedena tzv. střední hladina moře (MSL – Mean Sea Level) a na ni se tlak přepočítá.

Přepočet staničního tlaku

Staniční tlak se přepočte na jednotný tlak tak, že se přičte tlak vyvolaný tíží vzduchového sloupce od MSL po nadmořskou výšku letiště. Tíže vzduchového sloupce je však závislá na teplotě vzduchu v něm.

Přepočet lze provést dvěma způsoby:

- Podle modelu MSA – tímto přepočtem se získá tlak pro nastavení výškoměrů letounů QNH, který se používá ve většině států na světě. Staniční tlak se v tomto případě

přepočte na hladinu MSL dle podmínek MSA, které předpokládají, že teplota na hladině moře je 15 °C a teplota klesá konstantním gradientem 0,65 °C na 100 m výškového rozdílu.

- Podle barometrické formule – barometrická formule udává, že průměrná teplota vzduchového sloupce mezi MSL a stanicí – letištěm je dána reálnou teplotou na stanici a konstantním teplotním gradientem 0,5 °C / 100 m výškového rozdílu. Pro přepočet platí následující vztah:

$$P_O = P\, e^{\frac{g\,H}{287\,T}}$$

P_O … tlak přepočtený podle barometrické formule (hPa)
P … staniční tlak (hPa)
E … Eulerovo číslo 2,71828
G … tíhové zrychlení 9,81 m/s^2
H … nadmořská výška tlakoměru
T … termodynamická teplota na stanici v době měření (°C)

Přepočet podle barometrické formule je přesnější než podle modelu MSA, neboť zohledňuje reálnou teplotu na letišti. Je také doporučován WMO – Světovou meteorologickou organizací, pro přepočet staničního tlaku pro letiště o nadmořské výšce do 500 m. n. m. Značí se Q – kódem QFF. Tento tlak je uveden v přízemních povětrnostních mapách a zakreslen v meteorologickém kódu SYNOP.

Je-li výškoměr nastaven na standardní tlak 1013,25 hPa, je označován Q – kódem jako QNE. V některých zemích světa jako například v Rusku, se používá pro nastavování výškoměrů tlak QFE. Je to staniční tlak nepřepočítaný na střední hladinu moře. Takto nastavený výškoměr ukazuje na letišti výšku 0 m.

Závěrem

Z uvedených faktů lze konstatovat, že letecké pohonné jednotky vykazují největší výkony na nízko položených letištích ve studeném a suchém vzduchu o vysokém tlaku.

3.4.3 Souvislost mezi tlakem a hustotou vzduchu

Uvažujeme-li určitý objem vzduchu o konstantní teplotě, pak platí, že s rostoucím tlakem vzduchu roste i jeho hustota a naopak, hustota vzduchu klesá se snižujícím se tlakem vzduchu. Dle MSA je tlak a hustota vzduchu na střední hladině moře pevně stanovena – tlak 1013,25 hPa a hustota vzduchu 1,225 kg/m^2.

Z výše uvedených závislostí je zřejmé, že dojde ke snížení výkonů letounů při operování na a z letišť s nízkým tlakem vzduchu, vysokou teplotou, a tedy i nízkou hustotou vzduchu. Pilot musí počítat se sníženým gradientem stoupání jak po vzletu, tak během go – around postupu. To vyžaduje delší dráhu jak pro pozemní část vzletu, tak i pro vzlet jako celek. V případě přiblížení a přistání bude nutno se vypořádat s vyšší rychlostí při přistání, neboť TAS bude vyšší, tedy i s delší dráhou pro zastavení letounu. Dojde k degradaci výkonů letounu ve srovnání s podmínkami definovanými mezinárodní standardní atmosférou.

Nižší hustota vzduchu zapříčiněná nízkým tlakem a vysokou teplotou má za následek i zhoršené aerodynamické vlastnosti letounu. Kolem profilu křídla proudí méně molekul vzduchu a dochází tak ke snížení vztlaku.

Podobný vliv má řidší vzduch i v případě vrtulového pohonu letounu. Méně molekul v řidším vzduchu způsobí stejně jako u profilu křídla menší účinnost rotujících listů vrtule. To je například jedna z příčin omezeného dostupu vrtulníků.

Vzduch nasávaný do motoru je řidší, je narušen ideální poměr směsi palivo / vzduch a dochází tak k degradaci výkonu motoru. U pístových motorů používaných v letectví tento deficit částečně kompenzují turbodmychadla.

Závěrem:

Vzduch o nižším tlaku vzduchu má i nižší hustotu. Ta vede ke snížení výkonů motorů, zhoršeným aerodynamickým charakteristikám jak nosných ploch, tak vrtulí.

4 METEOROLOGICKÉ JEVY

4.1 Vítr

4.1.1 Vliv větru na start a přistání

Vítr je významným faktorem ovlivňujícím vzlet a přistání obecně. Pro start letadla platí, že při konkrétní hmotnosti, teplotě, vlhkosti a tlaku okolní atmosféry, vždy potřebuje k odlepení stejnou IAS, tedy stejnou rychlost proudění molekul vzduchu kolem profilu jeho nosných ploch. Tím se dosáhne vždy stejné velikosti vztlakové síly potřebné pro vzlet.

Působí-li na vzlet čelní vítr nebo složka čelního větru, sčítá se tato rychlost s rychlostí letadla pohybujícího se vůči RWY, tzv. GS – Ground Speed. Čím větší je rychlost čelního větru, tím menší je třeba vyvinout rychlost letounu vůči RWY, aby výsledný součet těchto rychlostí dal onu rychlost V_R – rychlost rotace, tedy rychlost, při které se stane výškové kormidlo dostatečně účinné a pilot může jeho vychýlením nahoru zahájit rotaci letounu za účelem jeho odlepení od RWY a stoupání. Existuje-li při vzletu složka čelního větru, stačí letounu vyvinout vůči zemi nižší rychlost než za bezvětří. Tento rozdíl se rovná právě velikosti čelní složky větru. Nižší potřebná rychlost letounu vůči zemi tedy umožní zkrátit délku rozjezdu potřebnou pro odlepení letounu od RWY.

Je-li však přítomna zadní složka větru při vzletu, rychlost letounu vůči RWY a zadní složka větru se pak odečítají. Letoun je nucen pro V_R a dosažení potřebné hodnoty vztlaku vyvinout větší GS a to takovou, aby rozdíl GS a zadní složky větru opět dal potřebnou hodnotu rychlosti V_R. Pro dosažení větší rychlosti vůči RWY však letoun potřebuje delší dráhu a celková délka vzletu se tím pádem prodlouží.

Předpis PART – FCL 1 umožňuje například pro letouny výkonnostní třídy B počítat s 50 % čelní složky větru a 150 % zadní složky větru. Opatření opět slouží pro zachování bezpečnosti při vletu, neboť rychlost větru může značně kolísat.

Stejný princip platí i pro přistání. Opět při zachování stejných parametrů pro přiblížení, přibližovací rychlost letounu bude mít stále stejnou hodnotu IAS bez ohledu na vítr. Zadní či čelní složka větru ovlivňuje pouze GS, ke které se odečítají či přičítají složky větru tak, že výsledná IAS zůstává konstantní. Čelní složka větru snižuje GS a zadní naopak zvyšuje hodnotu rychlosti vůči zemi. Nižší GS, menší potřebná dráha pro zastavení letounu na RWY a naopak. Při zpomalování letounu na RWY má čelní složka větru také pozitivní účinek na účinnost aerodynamických brzd – spoilerů, které pomáhají snížit rychlost letounu po přistání.

Na většině letišť ve světě jsou dráhy situovány směry, ze kterých vane vítr po většinu roku nejčastěji, nebo je dráhový systém více drah stavěn přibližně do kříže, aby vždy bylo možné používat pro vzlet a přistání dráhu ve směru proti větru. Málokdy vane vítr přesně v ose dráhy. Ve většině případů svírá směr vanoucího větru s osou dráhy určitý úhel. Pilot však potřebuje znát hodnotu čelní, boční či zadní složky větru, aby mohl přesně určit výkony letounu a zajistit tak bezpečný vzlet a přistání.

K rozložení vektoru větru na jednotlivé složky má několik možností. Nejzákladnější je použití pravoúhlého trojúhelníka a goniometrických funkcí, kde přepona trojúhelníka charakterizuje vektor reálného větru a odvěsny pak znázorňují boční a přední nebo zadní složku větru. Pokročilejší metody výpočtu lze provést pomocí navigačních počítadel – flight computer. V letových příručkách pak nalezneme na rozklad určené nomogramy – grafy. Na obr. 8 je uveden příklad takového nomogramu. Dnes nejčastější metodou jsou však různé softwarové aplikace, které mají piloti k dispozici.

Další úpravu musíme provést, když směr větru pro vzlet a přistání získáme z meteorologických zpráv SYNOP, METAR, TAF a SPECI. V nich je směr větru uváděn vzhledem k zeměpisnému severu. Směr dráhy je však určen vzhledem k magnetickému severu. Rozdíl mezi oběma směry se rovná deklinaci v místě letiště. V našich geografických podmínkách, kde je deklinace přibližně 3°, není oprava nijak významná. V oblastech, kde deklinace nabývá větších hodnot, je však tento rozdíl potřeba brát v úvahu. Deklinace dosahuje hodnot od - 90° do + 90° a průběhu času se v místě pozorování mění až o 1° za 8 let. Směr větru opravený o deklinaci pak můžeme rozložit do jednotlivých složek vzhledem k ose dráhy.

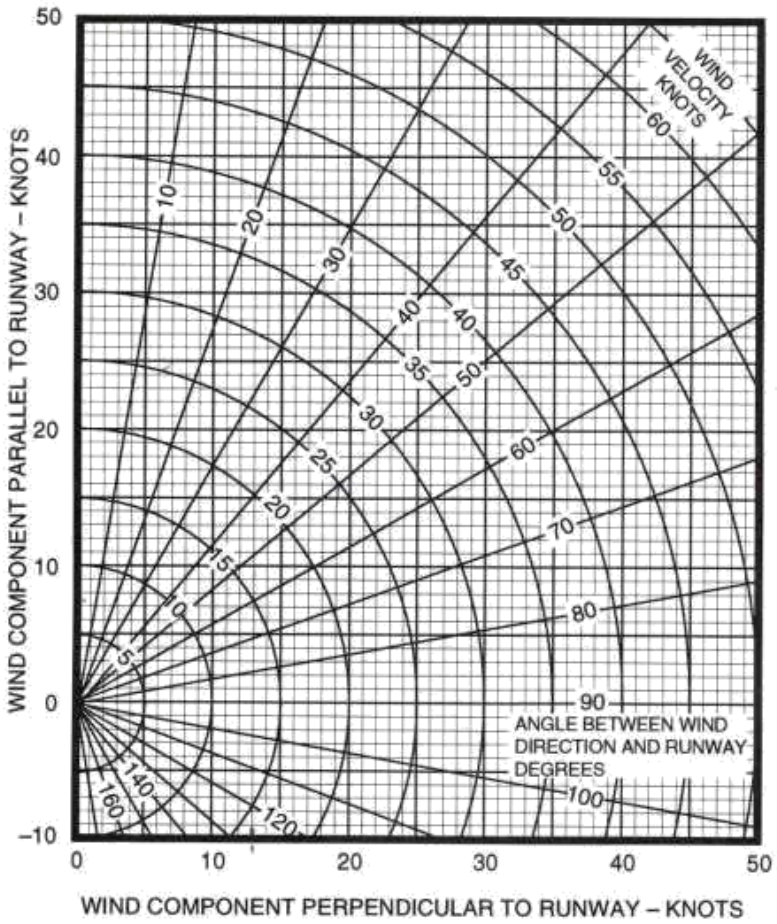
Směr větru stanovený přímo vzhledem k magnetickém pólu se udává ve zprávě ATIS a po VKV spojení přímo od řídícího letového provozu posádkám letadel.

Závěrem

Závěrem lze tedy říct, že vzlet a přistání je vhodné vždy provádět proti směru větru. Tím se dosáhne potřebné rychlosti proudění molekul vzduchu kolem profilu křídla a potřebného vztlaku při nižší rychlosti letadla vůči zemi. To umožní snížit délku rozjezdu a celé dráhy vzletu a při přistání se sníží délka přistání. Vzlety a přistání se zadní složkou větru tyto manévry značně prodlužují a snažíme se jim vyhnout. Každé letadlo má také výrobcem stanovenou maximální zadní složku větru při vzletu a přistání, přičemž hodnota přední složky často omezená vůbec nebývá.

Pro zachování bezpečnosti letu při vanoucím čelním větru se často přidává určitá část této čelní složky nebo hodnota nárazů větru k vypočtené přibližovací rychlosti při bezvětří.

.



Obr. 8 Příklad nomogramu pro určení složek větru

4.1.2 Boční vítr

Boční vítr (cross wind) patří mezi faktory nepříznivě ovlivňující vzlet i přistání. Je to složka větru vanoucí pod pravým úhlem ke dráze startujícího nebo přistávajícího letadla. Tato složka nesmí překročit mez stanovenou výrobcem letounu v letové příručce.

Pro každé letadlo jsou přesně stanoveny limity pro provoz s bočním větrem. Limity se mohou lišit pro vzlet a pro přistání a různé limity mohou být stanoveny i pro provoz při různých meteorologických podmínkách. Například limity bočního větru pro přistání za kategorie II nebo III přesného přístrojového přiblížení bývají nižší, než při přistání za podmínek CAT I. To platí i pro vzlety, kde limity bočního větru mohou být nižší za LVO než za příznivého počasí

Vliv bočního větru na vzlet a technika pilotáže

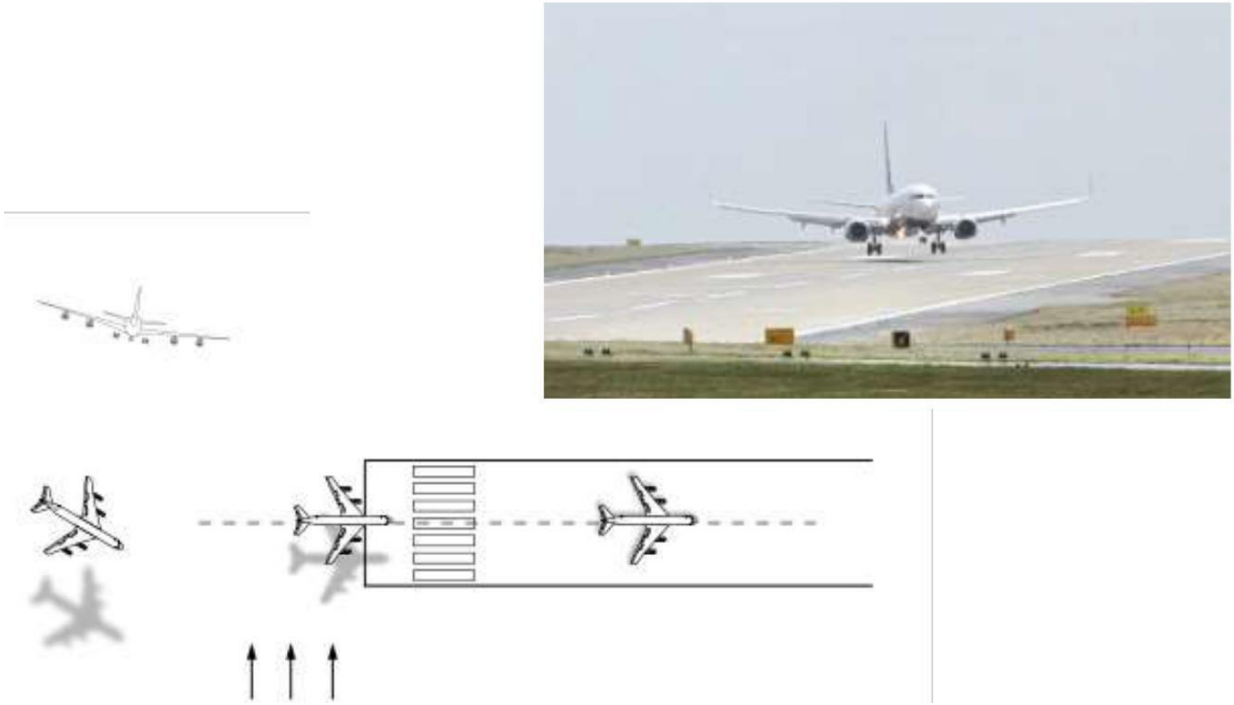
Boční vítr při vzletu působí na značnou plochu svislé ocasní plochy – SOP a je příčinou otáčivého momentu letounu kolem jeho svislé osy směrem proti větru. Při pozemní části vzletu – rozjezdu – je rotační moment způsobený bočním větrem korigován především příďovým podvozkem, pomocí kterého pilot drží osu dráhy. Při dosažení rychlosti rotace V_R dojde k nadzdvižení příďového kola a zatáčivý moment do směru odkud vane vítr se projeví naplno.

Je proto nyní nutné opět pedály směrového řízení držet výchylkou směrovky osu dráhy. Fouká-li vítr zprava, je potřebná levá výchylka nožního řízení a směrovky pro udržení se ve směru. Zároveň během rozjezdu i celého vzletu je nutno pracovat s kormidly příčného řízení – křidélky. Jejich vychýlení, opět proti směru větru, kompenzuje rozdílné hodnoty vztlaků na návětrném a závětrném křídle. Se zvyšující se dopřednou rychlostí se výchylka křidélek pomalu ubírá, přičemž si pilot hlídá tzv. wing level – křídla v horizontu dle umělého horizontu případně na primárním displeji pomocí sky pointeru.

Závěrem:

Přiblížení a technika přistání při bočním větru

Při přiblížení a přistání s bočním větrem je situace obdobná a směr osy dráhy musí být udržován vyosením celého letounu proti směru větru tak, že křídla jsou držena v horizontu a výslednice pohybu letounu má směr osy dráhy. Druhou variantou je tzv. skluzová metoda, kdy je podélná osa letounu držena ve směru osy dráhy, avšak letoun letí s tzv. zkříženým řízením, kdy křidélka jsou vychýlena proti větru a směrovým kormidlem je pak držena osa dráhy.



Obr. 9 Technika přistání letounu při bočním větru

Samotné podrovnání a přistání se dá provést také skluzovou metodou se zkříženým řízením, kdy letoun dosedne nejdříve na kolo podvozku na návětrné straně trupu a potom teprve na druhé

kolo. Tato metoda se častěji používá u letounů hornoplošníků nebo u menších letounů, které nemají velké proudové motory zavěšené pod křídlem. U dopravních letounů s podvěšenými motory, kde není moc prostoru mezi spodní částí velkého obtokového motoru a zemí, se provádí spíše technika přistání znázorněna na obr. 9. Téměř až do podrovnání letí letoun vyosený proti větru. Teprve ve výdrži pak pilot srovná podélnou osu letounu s osou dráhy, přičemž prakticky hned poté nastává dotyk hlavního podvozku s RWY. Zamezí se tak větším náklonům těsně nad zemí a nebezpečí kontaktu podvěšeného motoru s přistávací dráhou.

4.1.3 Střih větru

Střih větru je další meteorologický jev, který nepříznivě ovlivňuje vzlet a přistání letounů všech kategorií. Anglický název je wind shear a je nebezpečný nejvíce při letech v blízkosti země, kdy se letadlo pohybuje nižší rychlostí blízko od překážek.

Střih větru je definován jako:

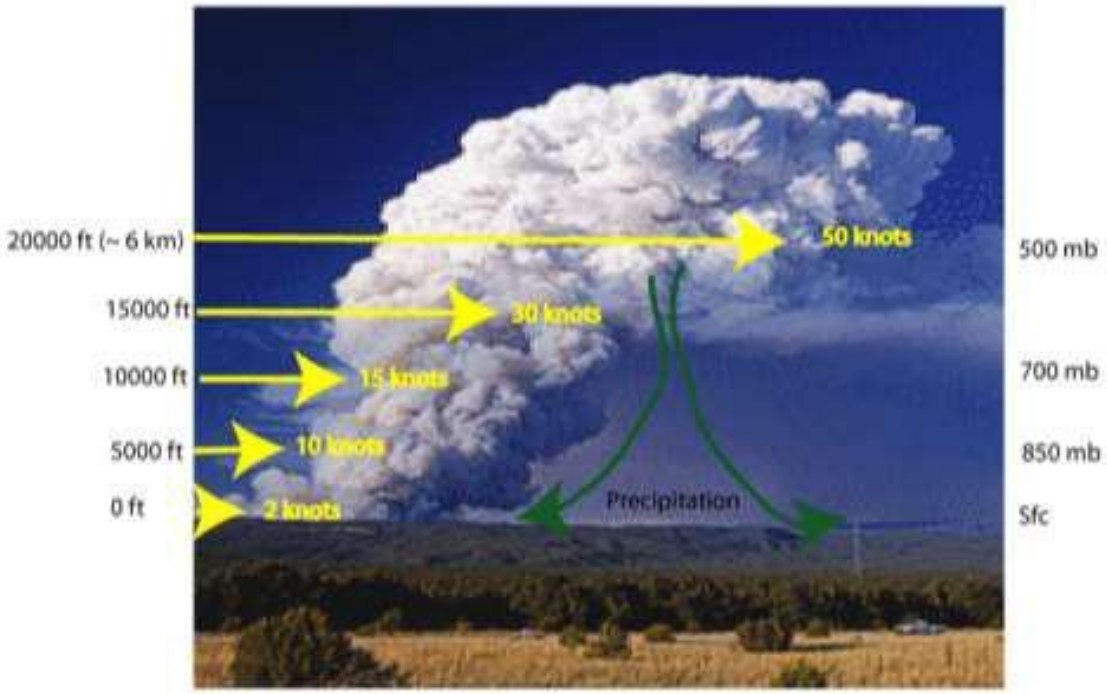
„prostorová změna vektoru rychlosti proudění připadající na jednotkovou vzdálenost. Nejčastěji se uvažuje tzv. vertikální střih větru, který definujeme jako parciální derivaci vektoru rychlosti proudění podle vertikální souřadnice (obr. 10). Pod pojmem horizontální střih větru rozumíme změnu vektoru rychlosti proudění v určitém směru horizontální roviny připadající na jednotku vzdálenosti čili analogicky parciální derivaci vektoru rychlosti proudění v daném horizontálním směru. V případech, kdy uvažujeme jen rychlost proudění bez ohledu na směr, hovoříme o gradientu rychlosti proudění, slangově gradientu větru, který vyjadřujeme v případě vertikální změny v m.s^{-1} na 100 m, či na 1000 m nebo v uzlech na 1000 stop. V případě horizontální změny v m.s^{-1} nejčastěji na 100 km.“ [7]

„Informace o střihu větru se zařazují, pokud se wind shear vyskytuje v prostoru mezi úrovní RWY a výškou 500 m nad RWY a pokud jsou tyto údaje k dispozici, ať už získané měřením nebo pozorováním jevu posádkou letadla. Pokud se vyskytne wind shear jak ve fázi stoupání (TKOF), tak i při přiblížení na přistání (LDG), zařazují se obě skupiny; jinak jen příslušná jedna skupina. Samotná formulace má fixní tvar; mění se jen označení dráhy.“ [4]

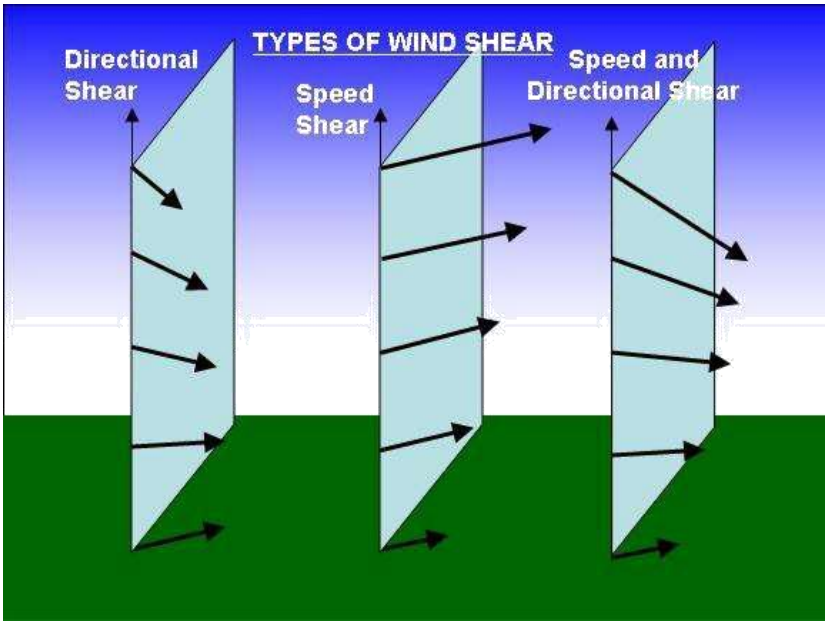
Schéma vzniku vertikálního střihu větru je znázorněno na obr. 10. Vítr při zemi má mnohem menší rychlost než vítr ve vyšších vrstvách atmosféry. Z obr. 11 je zřejmé, že za střih větru se považuje významná změna směru proudění větru na krátké vzdálenosti (A) nebo změna rychlosti proudění větru (B) nebo změna obou charakteristik dohromady (C).

Střihy větru se mohou objevovat ve všech výškových hladinách, kde se uskutečňuje provoz letounů obchodní letecké dopravy. Z hlediska naší problematiky zabývající se vlivy ovlivňujícími

vzlet a přistání letounů, zajímá nás tento jev hlavně v tzv. vrstvě tření, kterou definujeme do 2000 ft nad zemským povrchem. Zde ještě můžeme cca do výšky 100 m nad zemí zavést tzv. přízemní mezní vrstvu. V této vrstvě je proudění větru významně ovlivněno orografickými charakteristikami terénu.



Obr. 10 Vertikální střih větru



Obr. 11 Druhy střihu větru

Ke vzniku střihu větru ve vrstvě tření může dojít z několika příčin. První z nich může být například teplotní inverze a s tím spojený vertikální střih větru. Nejčastěji se tak stane při tzv. radiační inverzi, která nastává při podmínkách bezvětrné noci. Při tomto jevu dochází k tomu, že vzduch u zemského povrchu je v klidu, kvůli tření se nehýbe, avšak nad teplotní inverzí nad vrstvou tření vzduch může proudit značnou rychlostí. Tento nárůst rychlosti proudění nastává celkem náhle a může se projevit jako vertikální střih větru. Změna rychlosti proudění v tomto případě dosahuje hodnot až 70 km/h, přičemž zároveň změna směru proudění může být až o 90°.

Střih větru ve vrstvě tření se nazývá nízkohladinový střih větru (low level wind shear) a na vertikální nízkohladinové střihy větru mohou být vydány výstrahy v pravidelné meteorologické zprávě typu METAR a to formou dodatku.

Dalším faktorem, který má vliv na vznik střihu větru, je samotná orografie terénu v okolí letiště. Takto vzniklé střihy větru lze pozorovat na mezinárodním letišti na Madeiře (LPMA). Okolí letiště se vyznačuje hornatým terénem svažujícím se strmě k mořské hladině. Kombinace hor a mořské hladiny spolu s větry vanoucími z Atlantického oceánu tvoří ideální podmínky pro střihy větru, a to jak horizontální, tak i vertikální, se změnou rychlosti, směru i kombinací obojího. Hlavně kvůli střihům větru je toto letiště považováno za nestandardní a piloti na něm přistávající mají speciální výcvik.

Na obr. 12 je zachycen Airbus A319 společnosti Air France, jehož piloti nezvládli při přistání dostatečně zareagovat na střih větru těsně nad vzletovou a přistávací dráhou a přistávací manévr skončil leteckou nehodou.

Obr. 12 Nehoda letounu způsobená střihem větru

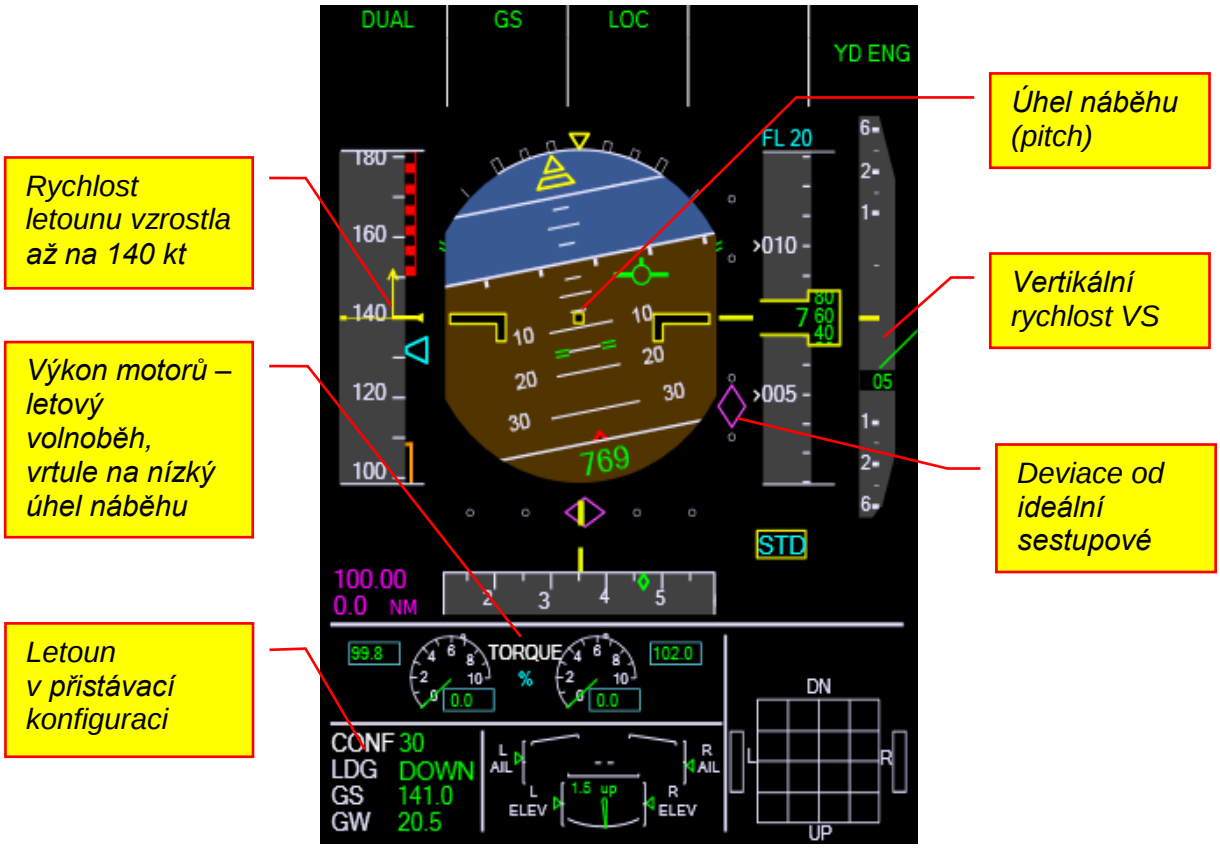
Závěrem

Setká – li se pilot se střihem větru po vzletu, kdy letoun letí nízkou rychlostí v blízkosti překážek, jeho správnou rekcí je zvýšit výkon motorů tak, aby udržel kladný gradient stoupání a potřebnou rychlost letu. To provede zvýšením úhlu náběhu, hlídá rychlost a pozitivní gradient stoupání. Nestoupá-li letoun a stále ztrácí výšku, aplikuje pilot maximální výkon pohonných jednotek a natáhne letoun na úhel náběhu takový, že udržuje dopřednou rychlost V_2. Teprve jakmile dojde prokazatelně k pozitivnímu stoupání, zavírá se podvozek, uvádí se motory zpět do stoupacího režimu a následně se zavírají vztlakové klapky.

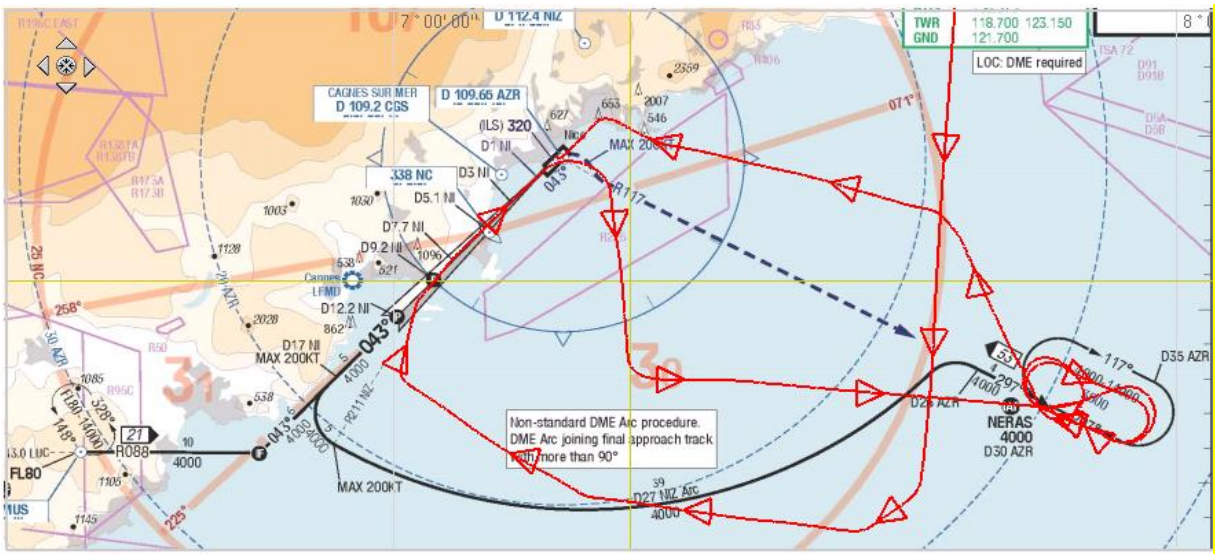
Reálným příkladem, kdy se dopravní letoun setkal se střihem větru může být níže popsaný let. Posádka na tento jev správně zareagovala, provedla go – around a přistála na dráhu v opačném směru.

Letoun ATR 72 byl na přiblížení na letiště v Nice (LFMN). Ve vzdálenosti 3,5 NM od prahu dráhy ve výšce cca 800 ft HAT se dostal do náhlého střihu větru, a to mělo za následek pokles vertikální rychlosti letounu. Piloti stáhli výkon motorů na letový volnoběh, přestavili úhel náběhu vrtule na minimální možný, avšak nedokázali doklesat sestupovou rovinu v rámci kritérií stabilizovaného přiblížení. Správně situaci vyhodnotili a rozhodli se provést postup nezdařeného přiblížení.

Grafika na obr 13 ukazuje, jak se piloti snažili držet ideální sestupovou rovinu. Snížili úhel náběhu až na 8° pod horizont. Rychlost letounu vzrostla, avšak sestupová rovina je stále více než jednu tečku pod ideální stav. Obr. 14 popisuje trajektorii letu, tedy přílet, přiblížení na dráhu 04L, go – around, vyčkávání ve vyčkávacím obrazci, kdy piloti hodnotili situaci a rozhodovali se pro další postup, následné přiblížení na dráhu 22R a přistání, které proběhlo již bez problémů a v rámci všech stabilizačních kritérií.



Obr. 13 Grafická simulace parametrů letu ovlivněných střihem větru



Obr. 14 Trajektorie letu

4.2 Bouřková činnost

4.2.1 Vznik a průběh bouřky

Bouřka je výsledným projevem například mohutné termické konvekční činnosti v atmosféře. Ta vzniká, když se na určitém místě uvnitř jedné vzduchové hmoty v atmosféře vyskytují molekuly vzduchu, které mají vyšší teplotu než okolní vzduch. Mají tedy nižší hustotu, tudíž nižší hmotnost než okolní molekuly vzduchu, což vede k jejich vertikálnímu pohybu směrem vzhůru. To za předpokladu nestabilního neboli labilního zvrstvení atmosféry. Tím rozumíme dostatečný pokles teploty vzduchu s výškou tak, aby mohl tento samovolný vzestupný děj probíhat. K vzestupnému pohybu částic směrem vzhůru může dojít i jinak než samovolně kvůli rozdílné hustotě. Tento případ nastává například na atmosférických frontách, kdy vzájemný pohyb a klouzání dvou vzduchových hmot také způsobí vzestupný pohyb molekul vzduchu z nižších hladin atmosféry do vyšších. Obecně se bouřky mohou vyskytnout na všech třech typech atmosférických hmot. Teplé, studené i okluzní. Nejmohutnější bouřky jsou však spjaty se studenými frontami. Tento pohyb molekul vzduchu je však již nucený. O stejném principu mluvíme, když je vlhký teplý vzduch větrem hnán na horský hřeben, kde se opět ochlazuje, pára kondenzuje a vzniká oblak.

Vždy je tedy pro vznik bouřky důležitý vzestupný pohyb molekul vzduchu o vyšší teplotě směrem vzhůru. Tato oblast vzduchu o vyšší teplotě a nižší hustotě se vlivem nižšího tlaku v okolí ve větších výškách rozpíná, což vede spolu s nižší teplotou okolí k jejímu ochlazování. Jakmile dosáhne teplota této stoupající vzduchové masy teploty tzv. rosného bodu, dojde ke kondenzaci vodní páry a tím ke vzniku viditelného oblaku. Oblak se nazývá Cumulus congestus (věžovitý kumulus). Je prvním stádiem bouřkové činnosti.

Rozlišujeme celkem tři stádia vývoje bouřkového oblaku.

Kumulové stádium

V tomto stádiu dochází k růstu oblaků cumulus congestus. Zárodkem bouřky bývá většinou více těchto oblaků, ve kterých se vyskytují různě silné vzestupné proudy a oblaky rostou do výšky a mohutnějí. Do vzestupných proudů vstupuje vzduch z okolí z různých výšek a je vzestupnými proudy vyzvedáván vzduch pocházející z pod oblaku. Další mohutnění a vývoj oblaku závisí na vlhkosti tohoto vzduchu. K prvním odrazům na radaru dochází ve výškách 5 km až 8 km, kde jsou již částice v tomto stádiu vývoje pro meteorologický radar viditelné. Do 60 minut od vzniku kumulu přesáhne výška oblaku hladinu o teplotě -12°C. Zde dochází k tuhnutí vodní složky a ke vzniku ledových krystalků. Dále se v horní části mraku, která obsahuje ledové krystalky a přechlazené vodní kapky, oblak charakteristicky tvaruje. Například ve tvaru kovadliny.

Bouřkové stádium

Nyní již bouřkový oblak – kumulonimbus Cb – neroste. Přidají se mohutné srážky. Ty přispějí k termické stabilizaci prostředí. Dojde ke změně pohybu vzestupných proudů a převládají v oblaku proudy sestupné. Srážky jsou výrazně viditelné na radaru. Z kumulonimbu vytéká studený vzduch, který se nárazem o zem rozšiřuje do okolí. Tento vítr je znám pod pojmem húlava. Roztékající se studený vzduch do okolí může působit na svém rozhraní s okolním vzduchem jako lokální studená fronta. Teplý vzduch je tímto studeným vytlačován do výšky, čímže se tvoří nová kupovitá oblačnost, případně může dojít ke vzniku nových podružných bouřek. Bouřkové stádium trvá maximálně 30 minut, nicméně intenzita vzestupných proudů dosahuje až 30 m/s a sestupných okolo 15 m/s. Dochází k elektrickým výbojům, které vznikají vyrovnáváním elektrických potenciálů mezi kladně a záporně nabitými částmi mraků nebo mezi mrakem a zemí.

Stádium rozpadu

Sestupné proudy zasáhnou všechny části oblaku. Intenzita srážek a elektrických výbojů slábne. Dochází k rozpadání částí oblaku. Doba trvání stádia rozpadu se pohybuje mezi 15 až 30 minutami.

Je-li bouřka tvořena jednou buňkou kumulonimbu, trvá průběh uvedených tří stádií 45 až 55 minut. Většinou se však navenek vypadající jedna bouřka skládá z několika jader – kumulonimbů. Ty vznikají a zanikají v různých časových úsecích, a tak se může bouřka jevit jako déletrvající. Zvláštním případem jsou bouře, které rotují okolo svojí vertikální osy. Ty bývají tvořeny jednou buňkou a trvají i několikanásobně déle než uvedených 45 až 55 minut. Jsou nazývány supercely. Uvnitř těchto bouří se tvoří nejničivější bouřkové jevy.

4.2.2 Bouřkové jevy

V předchozí kapitole byl popsán vznik a průběh bouře sestávající z jednoho bouřkového jádra. Bouře se však mohou skládat i z více bouřkových jader. Existuje několik uskupení bouřkových jader a podle nich lze bouře rozdělit na:

- Bouřky tvořené jednou buňkou – jejich vznik a průběh je popsán v předchozí kapitole
- Bouřky tvořené více buňkami – rozpad jedné buňky a s tím související húlava může přispět k vývoji a mohutnění jiné buňky.
- Supercely – charakteristické jsou rotující vzestupné proudy. Vznikají často z bouřek tvořených více buňkami. Mají ničivé následky a delší dobu trvání.

- Squall line – čára instability. Několik bouřek situovaných v řadě. Nefrontální čáry nestability jsou více vázány na denní chod a vyznačují se kratší dobou trvání než frontální bouřky.

Závěrem

Bouřkové oblaky jsou jedny z nejnebezpečnějších jevů pro letectví obecně. Vyskytují se v nich silné vzestupné proudy v jejich horních částech, silné sestupné proudy v nižších hladinách a s nimi související střihy větru, turbulence, často extrémní srážky přechlazených vodních kapek či krup, elektrické výboje, velmi nízká dohlednost či námraza. Proto se bouřky vždycky pokud možno oblétají. Vyvinuté kumulonimby nicméně mohou sahat v mírných zeměpisných šířkách i do 10 až 14 km. Proto je mnohdy i dnešní moderní dopravní letadla ne vždy nadlétnou. Méně výkonná turbovrtulová letadla pro regionální tratě jako například ATR, se musí bouřkám často vyhýbat. Pokud se ovšem setkají se squall line nezbude mnohdy nic jiného než ji za pomocí povětrnostního radaru prolétnout. Proto piloti musí dobře znát tento jev a jeho projevy a být na všechny rizikové faktory související s bouřkovou činností připraveni.

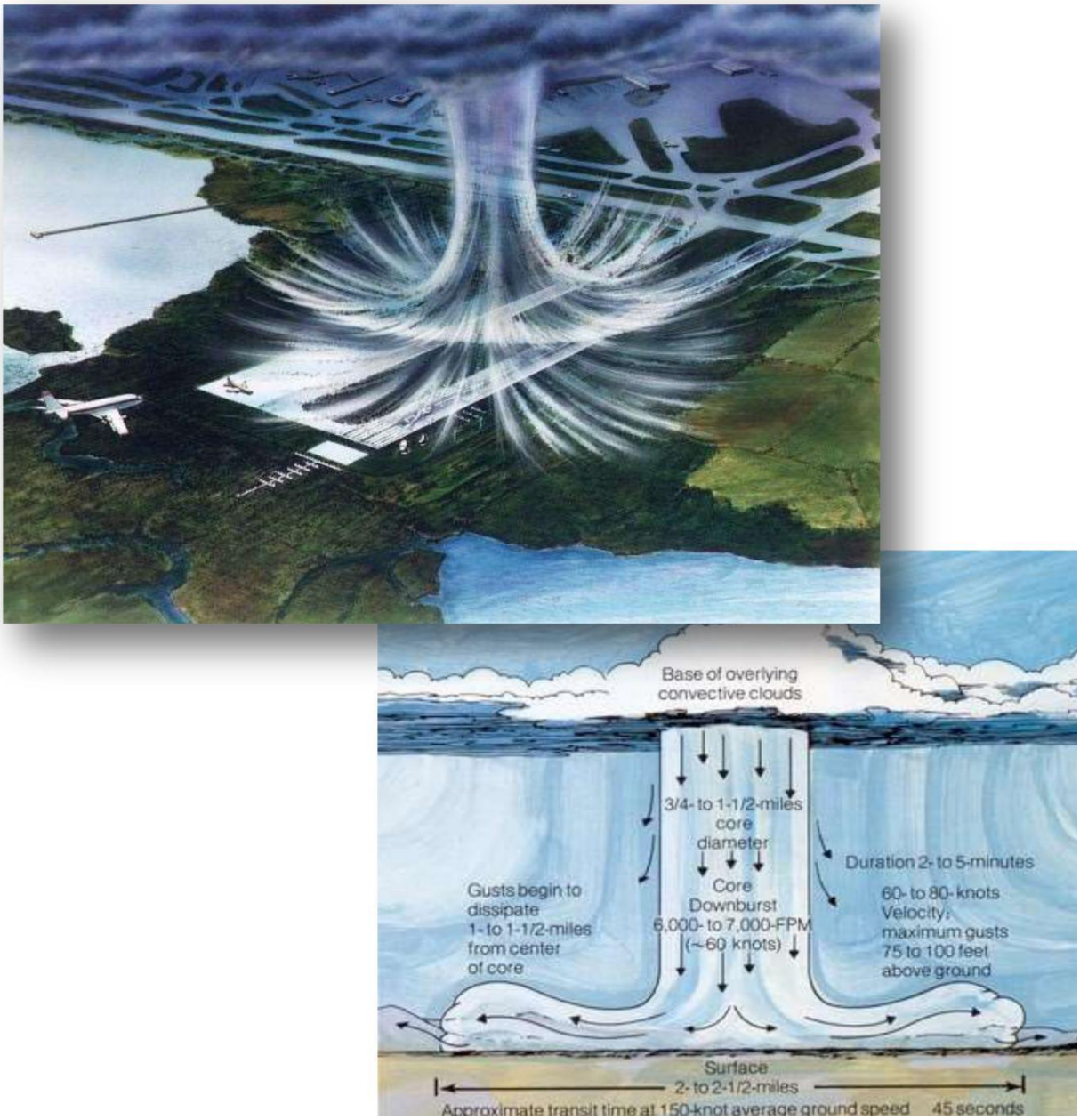
Downburst

Zvláště nebezpečné jsou projevy bouřky, nachází-li se letoun v blízkosti země s nižší rychlostí letu. Zde se můžeme pod bouřkovým oblakem setkat například s jevem downburst. Jedná se o propad studeného vzduchu, který vytéká z oblaku jako proud vody z vodovodního kohoutku a poté se roztéká po zemském povrchu a způsobuje střih větru. Na obr. 15 je ilustrace downburstu a jeho průběh.

Jev downburst dělíme na dva typy - microburst a macroburst. Odlišují se intenzitou projevu a dobou trvání.

Microburst

Jev trvá krátkou dobu. Uvádí se většinou do 5 minut. Není také plošně rozsáhlý – nepřesahuje 4 km v průměru. To bohužel znesnadňuje jeho detekci specializovanými pozemními přístroji. Může se vyskytovat beze srážek, ale i s mohutnými srážkami. Vítr v něm dosahuje hodnot až okolo 75 km/h.



Obr. 15 Downburst a schéma jeho vzniku

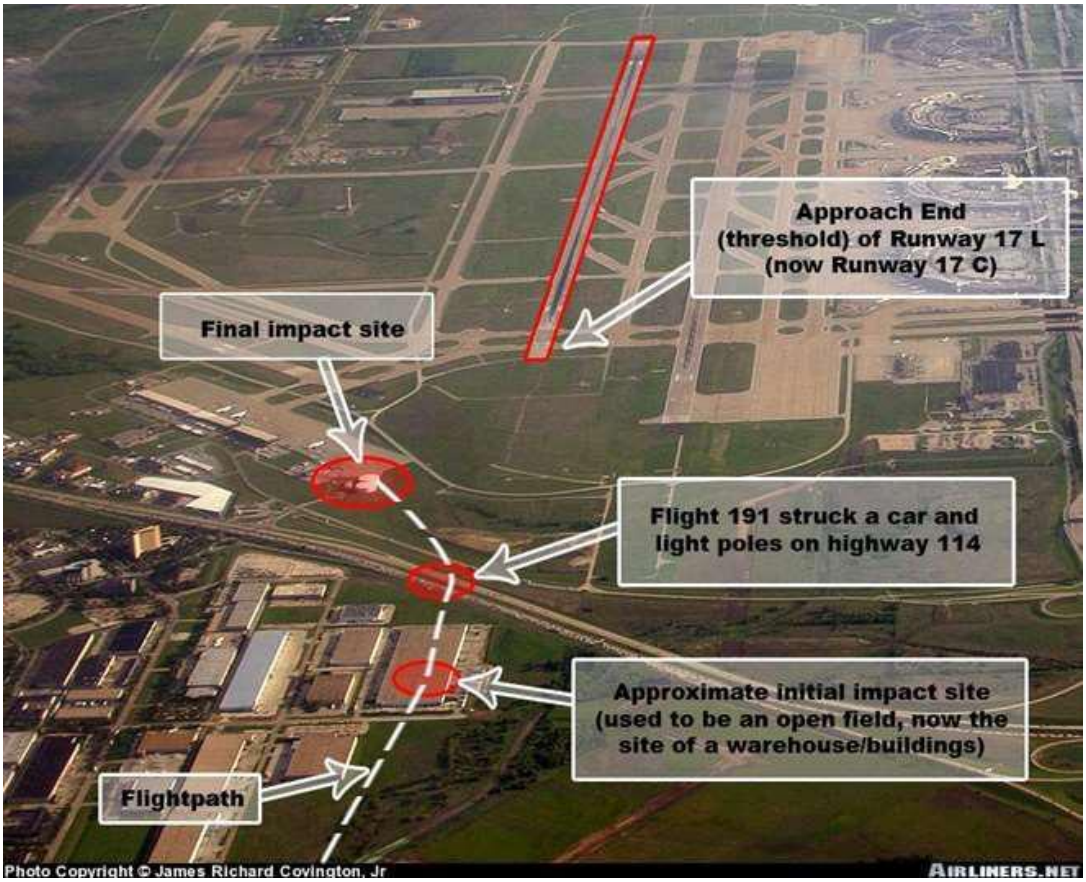
Macroburst

Plošný rozsah tohoto jevu je větší než v případě microburstu a přesahuje často 4 km v průměru. Také trvá déle, a sice 5 až 30 minut. Rychlost větru zpravidla nepřesahuje 60 km/h.

Downburst se již v minulosti stal příčinou řady leteckých nehod. Obzvlášť nebezpečný je tento jev, pokud zasáhne letoun v malé výšce při nízké přibližovací či stoupací rychlosti. Příkladem je událost z 2. srpna 1985, která se stala na letišti Dallas / Fort Worth International Airport (KDFW). Letoun L-1011 společnosti Delta Airlines prováděl konečné přiblížení na dráhu 17, když vletěl do downburstu. V okolí letiště bylo v tu dobu několik lokálních letních bouřek. Ve výšce 800 ft

AGL náhle vzrostla jeho rychlost o 24 kt z přibližovacích 149 kt na 173 kt. Pilotem letícím byl první důstojník. Kapitán zpozoroval nárůst rychlosti a rozpoznal střih větru. Očekával, že vzápětí přijde značný pokles rychlosti a upozornil na to pilota letícího. Když rychlost klesla až na 133 kt, tedy celkem výrazně pod rychlost přiblížení, dal první důstojník plný výkon motorů, aby získal zpět dopřednou rychlost a zabránil dalšímu klesání vertikální rychlosti. Bohužel silný zadní vítr a významný sestupný proud vzduchu o hodnotách až 30 ft/s již nedovolil pilotům převést letoun do stoupání a stabilizovat jej. Letoun se zřítil 1900 m severně od dráhy 17. Nikdo z letadla nehodu nepřežil. Na obr. 16 je znázorněna trajektorie tragického přiblížení letu č. 191.

Reakcí na tuto nehodu bylo rozsáhlé testování a zkoumání systémů schopných detekovat střihy větru, tedy možný výskyt downburstu. NASA prováděla mnoho zkušebních letů na svém B737-200 a byl vyvinut vylepšený palubní dopplerovský radar, který dnes již tuto detekci umožňuje. Před nehodou dokázaly palubní meteorologické radary detekovat pouze bouřkovou oblačnost, nikoli samotné střihy větru.



Obr. 16 Trajektorie přiblížení letu 191

Závěrem

Doporučená reakce při vlétnutí do downburstu je následující. Je třeba zvýšit výkon motorů na maximálně možný, zasunout aerodynamické brzdy (speed brakes), aby se co nejvíce snížil odpor letounu, udržovat křídla v horizontu a co nejrychleji začít stoupat. Obecně se také doporučuje nezasouvat vztlakové klapky. Tím by se sice snížil aerodynamický odpor, ale také by se zvýšila pádová rychlost. Stejný postup platí i pro podvozek, který se doporučuje ponechat i přes zvýšený odpor vysunutý pro případ kontaktu se zemí a ztlumení nárazu. Ovšem pro každé letadlo mohou v tomto případě platit lehce odlišné postupy.

4.3 Turbulence

Pod pojmem turbulence se rozumí pohyb (proudění) vzduchu, který se vyskytuje v určitém, poměrně ne příliš rozsáhlém prostoru, a právě svým pohybem (směrem i rychlostí proudění) se liší od okolního prostředí. Vzhledem k tomu, že turbulence není vidět okem, ani není zachytitelná radarem, může náhlá změna proudění vzduchu způsobit značné problémy letounu, který do turbulence vlétne z okolního prostředí.

4.3.1 Druhy turbulencí

Termická turbulence

Tento typ turbulence vzniká jako důsledek nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu. Některé povrchy dobře absorbují teplo, ohřívají se rychleji než jiné typy povrchů. Od takového zemského povrchu se ohřívá i vzduch v jeho okolí. Vzduch o vyšší teplotě má nižší hustotu než okolní vzduch a stoupá vzhůru a na jeho místo se tlačí klesající studený vzduch. Letoun prolétající touto oblastí se pak může setkat s termickou turbulencí. Většinou se tento typ turbulence vyskytuje na jaře a v létě, a to do výšek, ve kterých se letoun pohybuje ve fázi vzletu nebo přiblížení a přistání letadla. Termická turbulence většinou nesahá výše než do 2000 m až 4000 m nad zemský povrch a rychlost běžného termického proudění se pohybuje kolem 10 až 15 km/h.

V oblasti s výskytem bouřek mohou vznikat mnohem intenzívnější turbulentní proudění, ve kterých rychlost stoupavých i klesavých proudů může dosahovat až kolem 100 km/h a jejich výška může být i přes 10 km. Pokud takovou oblastí prolétá letadlo, bude jej v jednu chvíli zvedat stoupavý proud rychlostí až 100 km/h a následně jej bude stejně silný klesavý proud tlačit směrem dolů. Rozdíl v rychlostech proudění vzduchu až 200 km/h v krátkém časovém intervalu může být i pro velké letadlo dosti nepříjemným problémem.

Závěrem

Pravděpodobnost vlétnutí do termické turbulence lze snížit volbou času odletu na brzké ráno nebo později večer, kdy již nejsou aktivní termické proudy, které v našich oblastech vznikají v období od března do září v době zhruba mezi 10 a 18 hodinou.

Turbulence v bouřkových oblastech může sahat výše, než je letová hladina dopravního letadla. Letadla se vyhýbají oblastem, ve kterých hrozí výskyt turbulencí vždy, kdy je to možné. Standardním postupem je takovou oblast obletět.

Mechanická turbulence

Tato turbulence vzniká, pokud vzduchu proudícímu nad zemským povrchem stojí v cestě překážka (budova, kopec, horský hřeben…). Proudění se z laminárního – ustáleného proudění před překážkou změní za překážkou na proudění turbulentní – chaotické. Za překážkou mohou vznikat vzdušné víry či rotory. Ty jsou dobře známé a nebezpečné právě za horskými hřebeny. Proudění může být turbulentní až do vzdálenosti za překážkou, která se rovná desetinásobku převýšení překážky. Je to nebezpečný a nepříjemný typ turbulence během vzletu a přistání.

Dynamická turbulence

Dynamická turbulence nastává, pohybují-li se dvě vzduchové hmoty vedle sebe jiným směrem a jinou rychlostí. Na jejich rozhraní pak vzniká turbulentní proudění, které nazýváme dynamickou turbulencí. Pokud takovou oblastí proletí letadlo, na velmi malé dráze se změní směr okolního větru. Také tady může být rozdíl v rychlostech až 200 km/h. S tímto typem turbulence se můžeme setkat jak v nižších výškách při vzletu či přiblížení, tak v cestovních hladinách. Souvisejí obvykle se střihem větru.

4.3.2 Působení turbulence na letoun

Na letoun působí ve vertikální rovině v ustáleném horizontálním letu vztlaková síla vznikající na nosných plochách letounu a proti ní tíhová síla způsobená hmotností letounu. Tyto dvě síly jsou za ustáleného letu v rovnováze. Dostane-li se letoun do turbulence, je vystaven různým přídavným zrychlením a z toho vyplývajícímu přetížení. Přetížení je poměr vztlaku k tíze letounu – tzv. přetížení v ose ***z***. Rozeznáváme tři druhy přetížení, se kterými se může letoun a jeho posádka setkat:

- + G_Z – kladné přetížení (ve směru hlava – nohy)
- + G_X – lineární přetížení (ve směru hrudník – záda)
- + G_Y – radiální přetížení (ve směru pravé rameno – levé rameno)

Během turbulence je letoun ovlivňován i dalšími aerodynamickými silami a dochází tak ke zvyšování a snižování vztlaku. To je závislé na několika faktorech. Na velikosti vertikálního poryvu vzduchu, dopředné rychlosti letounu, obsahu nosné plochy křídel letounu, na šípu křídel, na změně úhlu náběhu, hustotě vzduchu.

Rozlišujeme čtyři intenzity turbulence, založené na zrychlení, jaké je uděleno letounu působícími aerodynamickými silami a je zaznamenáno citlivými akcelerometry na palubě. Přehled jednotlivých druhů turbulence podle jejich intenzity je uveden v tabulce č. 4.

Dle statistik je naprostá většina turbulencí, se kterými se letouny obchodní letecké dopravy setkají, slabých – až 80 %. Kolem 17 % případů pak spadá do kategorie mírná. Zbytek zaujímají turbulence silné či velmi silné.

Tab. 4 Klasifikace intenzity turbulence podle ICAO [6]

Intenzita turbulence	Zrychlení	Poryv $m\ s^{-1}$	Projevy
slabá	do 0,2 g	1 – 5	Malé záchvěvy letadla, u citlivých osob mohou vyvolat nepříjemné pocity.
mírná	0,2 – 0,5 g	5,1 – 10	Silnější nárazy mohou u některých osob vyvolat nevolnost a chůze v kabině letadla je obtížná. Letadlo je stále možno udržet v letové hladině.
silná	0,5 – 1,0 g	10,1 – 15	Prudké výkyvy letadla, nelze dodržet letovou hladinu a kurz. Některé přístroje (variometr, rychloměr) ukazují nepřesně, chůze v kabině je nemožná. Je nutno se připoutat k sedadlům.
velmi silná	nad 1 g	nad 15	Může dojít k mechanickému poškození letadla.

4.3.3 Turbulence v úplavu

Specifickým typem turbulence je tzv. turbulence v úplavu – wake turbulence. Jedná se o druh mechanické turbulence vznikající za letounem v důsledku jeho pohybu.

„Turbulence v úplavu je jev vyvolaný rotačním pohybem vzduchu v prostoru koncových částí křídel velkých proudových letadel během letu nebo při pojíždění. Její účinek na jiná letadla závisí na poměru hmotností daných letadel, rychlosti zdroje turbulence, ale i na teplotním zvrstvení vzduchu a výškového profilu větru.“ [8]

Intenzita turbulence v úplavu roste s velikostí a rychlostí letounu, za nímž vzniká. Aby nedocházelo k ohrožení jiných letadel vyskytujících se v okolí, jsou stanovena pravidla pro rozestup letounů při jejich vzájemném přiblížení.

Dle organizace ICA, předpisu Annex 11, dělíme letouny do tří váhových kategorií, mezi kterými jsou na přiblížení a po vzletu udržovány řídícím letového provozu radarové rozestupy pro eliminaci vlivů turbulence v úplavu.

- Kategorie Light – letouny o MTOM do 7000 kg včetně
- Kategorie Medium – letouny o MTOM od 7000 kg do 136 000 kg
- Mategorie Heavy – letouny o MTOM od 136 000 kg včetně

  ……
- Letoun A380 musí při navazování spojení s ATC bezprostředně za svým volacím znakem použít dovětek „Super“ značící kategorii Super Heavy speciálně použitou pro tento typ letounu.

Tab. 5 Radarové rozestupy letadel podle turbulence v úplavu [3]

Předchozí letadlo	Následující letadlo	Radarové rozestupy při turbulenci v úplavu
HEAVY	HEAVY MEDIUM LIGHT	7,4 km (4,0 NM) 9,3 km (5,0 NM) 11,1 km (6,0 NM)
MEDIUM	LIGHT	9,3 km (5,0 NM)

Minima uvedená v tab. 5 se musí uplatňovat, když:

- letadlo letí bezprostředně za jiným letadlem ve stejné nadmořské výšce nebo méně než 300 m (1000 ft) pod
- obě letadla používají stejnou dráhu nebo paralelní dráhy, které jsou od sebe vzdáleny méně než 760 m
- letadlo křižuje trať jiného letadla za ním ve stejné nadmořské výšce nebo méně než 300 m (1000 ft) pod [3]

5 VLIV STAVU A POVRCHU DRÁHY

5.1 Znečištění dráhy a její vliv na fázi přisání

Za znečištěnou dráhu lze považovat takový povrch, který je více než z 25 % pokryt znečišťujícím nánosem. Znečišťujícími nánosy mohou být zbytky pneumatik, které se na dráhu dostaly otěrem při brždění přistávajících letadel v dotykové zóně, bláto, hlína, písek atd. Za hlavní znečišťující nános lze však považovat vodu v tekutém nebo pevném skupenství:

- stojící vodu o hloubce 3 mm a více, či rozbředlý nebo suchý sníh o výšce odpovídající 3 mm stojící vody
- udusaný nebo uježděný sníh, který pod koly podvozku již odolává dalšímu stlačování
- led nebo mokrý led

Z meteorologického hlediska rozlišujeme tři stupně stavu povrchu vzletové a přistávací dráhy. Dráha je suchá, kontaminovaná nebo znečištěná. Jakákoli kontaminace dráhy je pro akcelerující či brzdící letadlo zdrojem odporu proti jeho pohybu. Třecí síla vyjádřená vztahem $T = f \cdot N$ se vlivem znečištění dráhy zvýší. To má za následek zvýšení TOR – délky rozjezdu a s tím související zvětšení TODR – požadované délky vzletu. Zvýší se tím samozřejmě i TOD – délka vzletu, tedy trajektorie pohybu letounu od začátku rozjezdu po výšku překážky hp, promítnutou do horizontální roviny. Uvažujeme-li případ přerušeného vzletu do V_1, tak i ASDR – požadovaná vzdálenost pro přerušený vzlet, se díky přídavnému odporu kontaminace dráhy zvýší.

V případě přistání na kontaminovanou dráhu, vykazuje letoun zhoršené brzdné účinky, čímž dojde k prodloužení LDR – požadované délky pro přistání.

Je-li dráha znečištěná, má horší brzdné účinky, což se promítne do prodloužení pozemní fáze přistání nebo vzroste potřebná délka pro přerušený vzlet.

Brzdné účinky se měří, pokud je dráha kluzká. Za kluzkou je dráha považována, je-li znečištěna sněhem či ledem. Změřené brzdné účinky se udávají tzv. koeficientem tření mezi pneumatikou a dráhou. Tento koeficient tření a jemu odpovídající brzdný účinek je pilotům předáván zprávami typu METAR či ATIS. Piloti jsou tímto způsobem informováni i o hloubce nánosu na dráze a rozměrech očištěné plochy dráhy. Je-li na dráze voda, není považována za kluzkou a brzdné účinky se neměří.

Brzdné účinky se měří nejčastěji dvěma metodami. Buď pomocí speciálně zařízeného automobilu, který změří brzdné účinky v jednotlivých třetinách vzletové a přistávací dráhy, nebo pomocí zařízení pro tento účel vyvinutého. Tato zařízení se nazývají „continuous fiction

measuring equipment“ – CFME. Jejich výhodou je, že oproti automobilu měří brzdné účinky kontinuálně po celé délce dráhy, čímž se výsledky stávají přesnějšími.

5.2 Informace o znečištění a brzdných účincích

5.2.1 Zpráva METAR

Ve zprávě METAR jsou informace o znečištění dráhy a s tím související brzdné účinky, případně i další informace, zakódované pomocí 8 čísel [6].

První dvě čísla udávají číslo dráhy, další číslo značí na dráze (runway of deposit), čtvrté číslo pak míru znečištění (contamination), další dvě tloušťku nánosu (depth) a poslední dvě číslice udávají koeficient tření nebo brzdný účinek (braking action). Jejich význam uvádí tabulka č. 6.

Runway deposit (nános na dráze):

1 clear and dry *(čistá a suchá)*
2 damp *(mokrá)*
3 wet or water patches *(mokrá nebo mokré pásy)*
4 rime or frost covered, depth normally less than 1 mm *(pokrytá jinovatkou nebo ledem, tloušťka pod 1mm)*
5 dry snow *(suchý sníh)*
6 wet snow *(mokrý sníh)*
7 slush *(rozbředlý sníh)*
8 ice *(led)*
9 compacted or rolled snow *(ztvrdlý a uježděný sníh)*
10 frozen ruts or rimes *(zmrzlé koleje a rýhy)*
/ type of deposit not reported *(typ nánosu není hlášen, např. kvůli probíhajícímu čištění dráhy)*

Contamination (rozsah znečištění):

1 less than 10 % runway covered *(méně než 10 % dráhy znečištěno / pokryto)*
2 11 ÷ 25 % runway covered *(11÷ 25 % dráhy znečištěno / pokryto)*
5 26 ÷ 50 % runway covered *(26 ÷ 50 % dráhy znečištěno / pokryto)*
9 51 ÷ 100 % runway covered *(51 ÷ 100 % dráhy znečištěno / pokryto)*

Depth of deposit (tloušťka nánosu):

00 lessthan1 mm *(méně než 1 mm)*
01 1 mm
02 2 mm
etc.
89 89 mm
90 90 mm
91 not used
92 10 cm
93 15 cm
94 20 cm
95 25 cm
96 30 cm
97 35 cm
98 40 cm and more *(40 cm a více)*
99 runway closed due to snow / slush / ice / large drift or cleaning *(dráha mimo provoz kvůli sněhu, rozbředlému sněhu, ledu, velkým závějím nebo čištění)*
// not measured or operationally not important *(tloušťka nánosu neměřitelná nebo provozně nevýznamná)*

Tab. 6 Braking action (brzdný účinek)

Measured fiction coefficient *Naměřený koeficient tření*	**Estimated braking action** *Odhadovaný brzdný účinek*	**Code** *kód*
0,40 and above *a více*	**Good** *dobrý*	5
0,39 to 0,36	**Medium to good** *střední až dobrý*	4
0,35 to 0,30	**Medium** *střední*	3
0,29 to 0,26	**Medium to poor** *střední až špatný*	2
0,25 and below *a méně*	**Poor** *špatný*	1

Zakódované informace o znečištění dráhy ze zprávy METAR může pilot získat i ze zprávy ATIS či přímo od řídícího letového provozu. Po VKV spojení se však většinou neudává rozsah znečištění RWY.

5.2.2 Zpráva SNOWTAM

V zimních obdobích se vydávají mimo zprávu METAR také zprávy SNOWTAM. Zpráva SNOWTAM se vydává, pokud je dráha kontaminovaná sněhem, ledem nebo stojící vodou o hloubce 3 mm případně kombinací všech těchto faktorů. SNOWTAM může být platný až na 24 hodin, nezmění-li se významně podmínky na letišti. Jsou definována přesně stanovená pravidla, kdy je potřeba zprávu aktualizovat. Zaměstnanec letiště měřením zjistí hodnotu koeficientu tření, hloubku nánosu a rozměry očištěné RWY. Tyto informace jsou pak zpracovány do formuláře a zveřejněny pro potřeby posádek ve zprávě SNOWTAM.

Ta obsahuje datum a čas vydání, číslo dráhy, pro kterou se informace vydávají, délku a šířku očištěné plochy jsou-li tyto rozměry menší než uvedené rozměry v AIP průměrnou výška nánosu v každé třetině dráhy, koeficienty tření pro jednotlivé třetiny RWY a jak byly koeficienty měřeny.

Ve zprávě se podle potřeby uvedou i další důležité informace, jako podmínky na pojížděcích drahách, odbavovacích plochách, upozornění na zhoršenou viditelnost dráhových světel, kdy se bude RWY a další pohybové plochy znovu upravovat nebo kdy bude provedeno další měření.

5.3 Aquaplaning

Jedná se o velmi nebezpečný jev, který může způsobit ztrátu kontroly nad řízením letounu a následnou nehodu letounu. Při aquaplaningu dojde k tomu, že při určité rychlosti pneumatik odvalujících se po dráze, nestačí jejich odvodňovací drážky dostatečně rychle odvádět nečistoty, kterými je dráha pokryta. Těmi může být sníh, rozbředlý sníh, voda a jiné. Kontaminát se tak dostane mezi dráhu a pneumatiku a pneumatika ztratí přilnavost k podložce. Dojde ke klouzání pneumatiky po znečišťujícím materiálu a ztrátě ovladatelnosti letounu.

5.3.1 Druhy aquaplaningu

Existují tři typy aquaplaningu. Viskózní, dynamický a blokační.

Při nízkých rychlostech letounu na dráze hrozí tzv. viskózní aquaplaning (obr. 17). Tento typ nastane již při nepatrném pokrytí podložky kontaminátem. Stačí vrstvička vody do 0,25 mm či zbytky pneumatik v dotykové zóně RWY. Podmínkou pro vznik tohoto typu aquaplaningu je proto také dostatečně hladký povrch podložky, například asfalt.

Při viskózním aquaplaningu dojde k tomu, že kolo najede na vrstvičku nánosu, ztratí přilnavost s podložkou a dojde ke klouzání kola po kontaminátu.

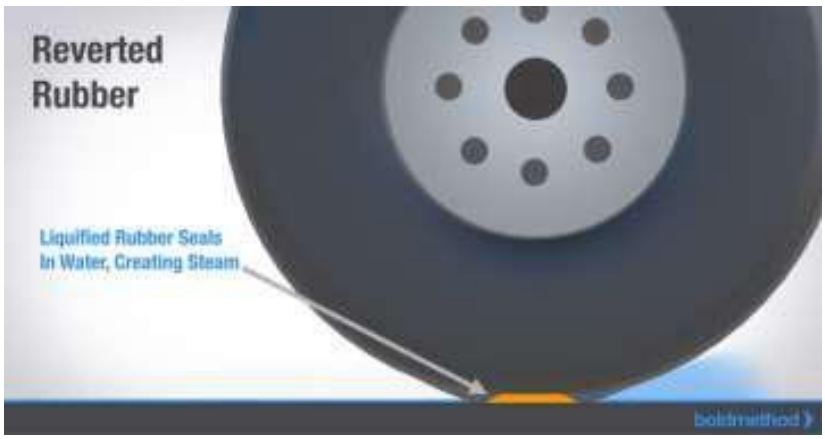
Obr. 17 Viskózní aquaplaning

Při vyšších rychlostech letounu po dráze hrozí tzv. dynamický aquaplaning (obr. 18). Vzorek pneumatiky dokáže efektivně odvádět znečišťující hmotu mimo styk plochy kola s dráhou jen do určité rychlosti. Při určité rychlosti kolo opět najede na kontaminát, zablokuje se a začne po něm klouzat. K případům, kdy vzorek pneumatiky nestačí odvádět vodu a vznikne dynamický aquaplaning, dochází při vysokých rychlostech letounu. Tím je případná ztráta kontroly nad řízením letounu nebezpečnější. Rychlost, kdy k dynamickému aquaplaningu dojde, je závislá na tlaku dusíku v pneumatikách a tloušťce vrstvy kontaminátu na povrchu dráhy.

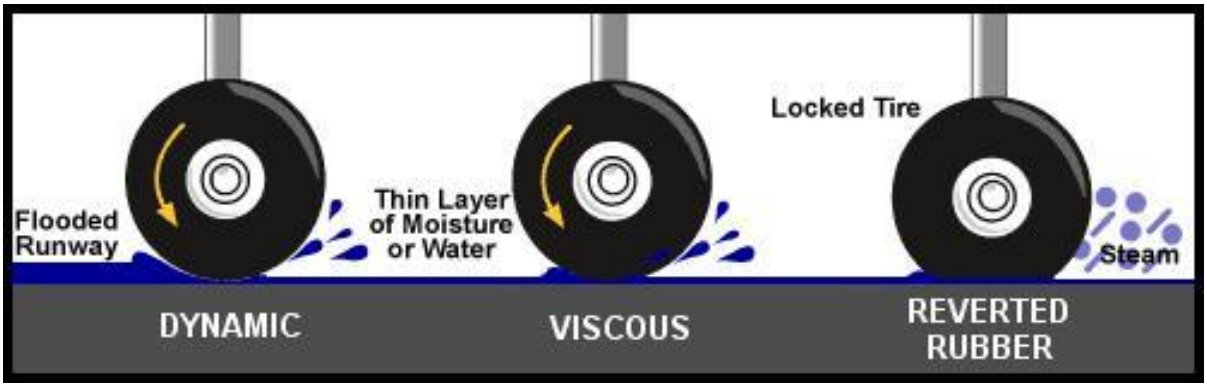
Obr. 18 Dynamický aquaplaning

Specifickým typem aquaplaningu je tzv. blokační aquaplaning (obr. 19). Dochází k němu při intenzivním brzdění. Zablokuje-li se při brzdění pneumatika, jejím značným třením o RWY vzniká teplo. Je-li přitom na dráze, byť i malá vrstva vody či jiného druhu kontaminátu, promění jej

vzniklé teplo kolem zablokované pneumatiky v páru. Ta vytvoří vzduchový polštář, který se dostane mezi pneumatiku a podložku a kolo opět nekontrolovatelně začíná klouzat.



Obr. 19 Blokační aquaplaning



Obr. 20 Typy aquaplaningu

Aquaplaning obecně je nebezpečný jev, neboť bez jakéhokoli předchozího varování dokáže způsobit ztrátu řiditelnosti letounu na dráze. V minulosti již způsobil několik tragických leteckých nehod. Příkladem může být nehoda z roku 1999 letu 1420, kdy letoun MD 82 společnosti American Airlines vyjel po přistání v Little Rocku (KLIT) z dráhy. Při následné havárii přišlo o život 11 lidí. Při přistání nad letištěm silně pršelo. Dráha byla zaplavená a letoun se po dosednutí stal neovladatelným, přičemž vyjel z dráhy. Při vysoké rychlosti došlo k výše popsanému dynamickému aquaplaningu. Následky byly tragické.

Závěrem

Správná technika pilotáže při přistání na kontaminovanou dráhu by měla být:

- *Pozitivní dotyk na hlavní podvozek*
- *Nečekat s položením příďového kola*
- *Aplikovat středně silné brzdění a využít všechny další prostředky pro snížení rychlosti letounu krom brzd na kolech – spoilery, reverz, …*
- *Při prvních náznacích ztráty přilnavosti pneumatiky k podložce – povolit brzdu na inkriminovaném kole tak, aby se kolo mohlo i nadále odvalovat po RWY (antiskid systémy)*
- *Směrové řízení co nejdéle řídit směrovým kormidlem*

6 POSTUPY PŘI NÍZKÉ DOHLEDNOSTI

Naprostá většina letů v obchodní letecké dopravě se dnes provádí podle pravidel IFR – Instrument Flight Rules. A to ať už za IMC nebo VMC. Všechny manévry letadel a jejich rozstupy nicméně podléhají pravidlům pro IFR lety, která jsou specifikována předpisem L2. Pilot letící IFR let určuje polohu letounu na základě informací z palubních přístrojů, což umožňuje provést let v podmínkách mimo dohlednost země bez možnosti klasické srovnávací navigace. Za rozestupy od okolního provozu zodpovídá řídící letového provozu, nicméně za rozestupy od překážek v naprosté většině IFR procedur zodpovídá pilot. Letouny obchodní letecké dopravy dnes provádějí lety i za nepříznivého počasí a aktuální stav atmosféry se se zdokonalujícím se technickým vybavením stává čím dál tím méně limitujícím pro provedení letu.

Závěrečná fáze IFR letu se nazývá přiblížení podle přístrojů. Sestává se z jednotlivých segmentů. Můžeme jej rozdělit na přesné přiblížení nebo přístrojové přiblížení. Dalšími typy přiblížení podle přístrojů je přiblížení okruhem a vizuální přiblížení, které jsou však vázány na příznivější meteorologické podmínky a vyšší minima. V případě přesného přiblížení má pilot stále k dispozici informaci o horizontální ale i vertikální odchylce od ideální sestupové roviny a trajektorie letu. U přístrojového přiblížení vertikální spojitá informace chybí. Proto pro provoz letounů za nízké dohlednosti (LVO) může být použito pouze přesných přiblížení.

Nejpoužívanějším a stále nejspolehlivějším zařízením pro přesná přiblížení zůstává zařízení ILS – Instrument Landing Systém. Podle něj se dají provádět přiblížení tří kategorií, podle aktuálních meteorologických podmínek. Dle předpisu je výška rozhodnutí pro ILS přiblížení kategorie I nejméně 200 ft nad prahem dráhy a požadovaná meteorologická dohlednost, případně RVR, je-li měřena, je 550 m. To jsou minima pro provoz klasického IFR přiblížení I kategorie. Pod tyto hodnoty se již jedná o LVO a II a III kategorii. LVP (Low visibility procedures) je pak soubor podmínek, které musí být splněny, aby mohly být prováděny vzlety a přistání za podmínek II a III kategorie. Zahrnují provozní postupy, způsobilost posádek, způsobilost letadel a technické vybavení letiště pro tento provoz.

Příprava na LVP je zahájena, když RVR v TDZ zóně nebo MID zóně dosáhne 1500 m a méně, anebo spodní základna oblačnosti je 300 m nad letištěm nebo níže a předpokládá se zhoršení podmínek. Během přípravy na LVO musí být zkontrolována správná funkce následujících zařízení: ILS LLZ, GP, OM, MM, Monitoring ILS zařízení, DME, světelná zabezpečovací zařízení, pojížděcí dráha pro rychlé odbočení z RWY, měření RVR ve všech třech třetinách dráhy plus anemometry pro měření parametrů větru na prahu dráhy. LVP začne platit, když klesne RVR v TDZ zóně na 600 m nebo níže, anebo když spodní základna oblačnosti klesne na

60 m nebo níže. Zpráva o aktivaci LVO se ihned dostane do zprávy ATIS. Piloti jsou povinni používat vyčkávací místa CAT II / III.

Přiblížení II a III kategorie lze provádět za následujících podmínek:

Letoun musí být vybaven pro provoz za LVO a musí být pro tento provoz schválen leteckým úřadem. Musí mít například autopilota, Flight Director, 3 umělé horizonty, radio výškoměr a další vybavení navíc oproti provozu za CAT I.

Posádka se skládá vždy ze dvou pilotů, kteří mají odpovídající výcvik a platnou licenci pro provoz za LVO. Tato licence se vydává po absolvování výcvikové osnovy stanovené provozovatelem a složením zkoušky. Pilot letící je vždy kapitán.

Všechny nařízení a požadavky na IFR lety jsou uvedeny v předpise L-8168.

Minima pro přiblížení za CAT II:

- Výška rozhodnutí – DH 100 ft nebo vyšší
- Dráhová dohlednost RVR – 300 m nebo vyšší

Minima pro přiblížení CAT III A:

- Výška rozhodnutí – DH 50 ft nebo vyšší
- Dráhová dohlednost RVR – 200 m nebo vyšší

Minima pro přiblížení CAT III B:

- Výška rozhodnutí – DH 50 ft nebo nižší, případně není stanovena
- Dráhová dohlednost RVR – méně než 200 m ale ne méně než 75 m

Minima pro přiblížení CAT III C:

- Výška rozhodnutí – DH není stanovena
- Dráhová dohlednost RVR – není stanovena

Při přiblížení za podmínek CAT III musí být přistání provedeno systémem autoland, automaticky.

Jevy způsobující sníženou dohlednost jsou mlha – dohlednost pod 1000 m, kouřmo – dohlednost snížena vodními kapičkami či krystalky ledu, avšak ne méně než na 1 km, ve zprávě METAR a TAF značeno značkou BR, zákal – pevné částečky v atmosféře jako smog, ve zprávách METAR a TAF značeno HZ, dále prach nebo písek v ovzduší, zvířený sníh.

7 OSNOVA UDRŽOVACÍHO VÝCVIKU

Ve své práci uvádím různé meteorologické jevy, ale i fyzikální veličiny, které ovlivňují vzlet a přistání letounů. Ty jsou zde popsány tak, aby pilot pochopil souvislosti mezi proměnnými charakteristickými fyzikálními vlastnostmi atmosféry a výkonem letounů obecně. U jednotlivých meteorologických jevů je popsána i správná technika pilotáže pro bezpečné provedení vzletu, přiblížení či přistání.

Jelikož správné pilotní návyky se rychle vytrácejí, je nezbytné je pravidelně opakovat a tím je zautomatizovat, aby pilot na případné změny podmínek reagoval rychle a podvědomě. Proto jsem vytvořil osnovu udržovacího výcviku na Dvou pilotním IFR simulátoru Beechcraft OK-ULD. Tento udržovací výcvik je určen především pilotům, kteří již mají za sebou výcvik přístrojového létání IR(A), avšak nelétají pravidelně a jejich správné pilotní návyky v této letecké disciplíně a návyky pro zvládání pilotáže za nepříznivých meteorologických podmínek se tak vytrácejí. Osnova je založena na opakování základních IFR procedur jako jsou SID, STAR, zařazení a let ve vyčkávacím obrazci (holding), ILS, VOR / DME, NDB, GNSS přiblížení, přiblížení okruhem či vizuální přiblížení. Během osnovy jsou pilotovi postupně zhoršovány meteorologické podmínky, přičemž si během udržovacího výcviku uchazeč zopakuje a vyzkouší většinu nepříznivých meteorologických jevů popsaných v této diplomové práci Tím si upevní návyky a postupy IFR letu a správnou techniku pilotáže za nepříznivých meteorologických podmínek.

Instruktor – simuluje ATC, ovládá instruktorské stanoviště a nastavuje meteorologické podmínky, sleduje a hodnotí činnost pilota – žáka.

Pilot žák – zodpovídá za bezpečné provedení letu a dodržení všech požadavků a omezení dané předpisy a ATC.

1	*SID, z posledního bodu odletové tratě vlastní navigací zpět nad letiště, standardní ILS procedura – odlet po radiálu od letištního VOR, nalétnutí LLZ, sestup, přistání*	40 min
	Meteorologické podmínky: CAVOK, bezvětří	
	Pilot – žák se soustředí na dodržování základních parametrů letu a snaží se dodržovat režimy letu, výšková omezení ATC, zůstat na trati, přestavení výškoměru v TA, udržet zadanou výšku. Vlastní navigací případně na povel ATC po určeném radiálu zpět nad letištní VOR, postup pro ILS přiblížení. Přitom dbát na dodržení rychlosti v obrazci pro kategorii letadla, nepodklesat výšku středního přiblížení, dodržet kritéria stabilizovaného přiblížení ± 1 tečku LLZ, GS, správná technika přistání.	
2	*Odlet na základě klasických konvekčních zařízení pro radionavigaci (NDB, VOR, DME) – Ne RNAV body. Vektorování do holdingu nad letištěm, vlastní navigací ILS přiblížení, přistání.*	40 min
	Meteorologické podmínky: Základna oblačnosti 1000 ft nad letištěm, vertikální rozsah oblačnosti 8000 ft. Turbulence v oblačnosti mírná. Vítr 20° vlevo od směru osy dráhy, 10 kt. Dohlednost 3 km. Doporučená letiště pro bod 2 jsou: Ljubljana, Norimberk, Mallorka	
	Soustředit se na dodržování základních parametrů letu – dodržovat režimy letu, výšková omezení ATC, zůstat na trati, přestavení výškoměru v TA udržet zadanou výšku. Správný vstup do vyčkávacího obrazce, dodržení rychlosti v holdingu. Dbát na dodržení rychlosti v obrazci standardního ILS přiblížení pro kategorii letadla, nepodklesat výšku středního přiblížení, dodržet kritéria stabilizovaného přiblížení. Správná technika přistání.	
3	*Odlet straight ahead, po zasunutí mechanizace vektorování na VOR / DME přiblížení, sestup, přistání.*	40 min
	Meteorologické podmínky: Základna oblačnosti 200 ft nad DA, vertikální rozsah oblačnosti 1000 ft. Vítr o 45° k ose dráhy, rychlost 10 kt. RVR 800 m.	
	Soustředit se na dodržování základních parametrů letu – dodržovat režimy letu, výšková omezení ATC, zůstat na trati, udržet zadanou výšku. Správný vstup do vyčkávacího obrazce, dodržení rychlosti v holdingu. Dbát na dodržení rychlosti	

	v obrazci standardního ILS přiblížení pro kategorii letadla, nepodklesat výšku středního přiblížení, dodržet kritéria stabilizovaného přiblížení. Správná technika přistání.	
4	*SID, po odletění části SID vektorování nad letištní VOR, standardní NDB procedura a NDB přiblížení, go-around, vektorování, nové NDB přiblížení, přistání*	**40 min**
	Meteorologické podmínky: První pokus – základna oblačnosti pod minima NDB přiblížení, déšť, boční vítr 10 kt. Druhý pokus po go-around – základna oblačnosti 200 ft nad DA, RVR 1000 m, déšť, mokrá RWY, boční vítr 10 kt.	
	Soustředit se na dodržování základních parametrů letu – dodržovat režimy letu, výšková omezení ATC, zůstat na trati, udržet zadanou výšku. Nepodklesat výšku středního přiblížení, dodržet kritéria stabilizovaného přiblížení, správná technika přistání, správná reakce při go-around, nepodklesat minima. Správná technika pilotáže přistání na mokrou dráhu a s bočním větrem.	
5	*SID – po vzletu windshear, z posledního bodu SID předpisová zatáčka a napojení se na STAR, let nad letištní VOR, holding, standardní ILS přiblížení, sestup, go-around z důvodu letadla na dráze (ATC), vektorování, GNSS přiblížení, přistání.*	**80 min**
	Meteorologické podmínky: wind shear po vzletu – gradual, základna oblačnosti 500 ft nad letištěm, vertikální mohutnost oblačnosti 2000 ft. Cloud coverage 8/8. Jakmile bude žák ve vyčkávacím obrazci, nastavit boční vítr vzhledem k ose dráhy 13 kt. Na GNSS přiblížení nastavit základnu oblačnosti 200 ft nad minima.	
	Správná reakce na windshear po vzletu. Soustředit se na dodržování základních parametrů letu – dodržovat režimy letu, výšková omezené ATC, zůstat na trati, přestavení výškoměru v TA, udržet zadanou výšku. Správná předpisová zatáčka a napojení se na příletovou trať, správný vstup do vyčkávacího obrazce, dodržení rychlosti v holdingu. Dbát na dodržení rychlosti v obrazci standardního ILS přiblížení pro kategorii letadla, nepodklesat výšku středního přiblížení, dodržet kritéria stabilizovaného přiblížen. Správná technika pilotáže s bočním větrem, provedení go-aroundu. Správně GNSS přiblížení, udržení stabilizovaného přiblížení s bočním větrem, technika přistání s bočním větrem.	

6	*Odlet – vzlet s bočním větrem, vektorování, vstup do holdingu nad letištním VOR. Vlastní navigací VOR / DME přiblížení na dráhu vzletu, přiblížení okruhem na opačnou dráhu, přistání.*	**50 min**
	Meteorologické podmínky: boční vítr při vzletu 10 kt, CAVOK. Jakmile bude žák ve vyčkávacím obrazci, nastavit vítr pod úhlem 20° opačné osy dráhy, velikost 10 kt, gusty 17 kt, než ze které byl proveden vzlet.	
	Soustředit se na dodržování základních parametrů letu – dodržovat režimy letu, výšková omezené ATC, zůstat na trati, přestavení výškoměru v TA, udržet zadanou výšku. Správný vstup do vyčkávacího obrazce, dodržení rychlosti v holdingu. Dbát na dodržení rychlosti v obrazci standardního VOR / DME přiblížení pro kategorii letadla, nepodklesat výšku středního přiblížení, dodržet kritéria stabilizovaného přiblížení, správné přiblížení okruhem, nepodklesat minima.	
7	*Vzlet, vysazení motoru po vzletu, vektorování do holdingu, holding, vektorování na ILS, sestup na jeden motor, přistání na mokrou dráhu.*	**40 min**
	Meteorologické podmínky: vítr 10 kt pod 20° k ose dráhy, základna oblačnosti v minimech, 8/8, vertikální rozsah 8000 ft. Turbulence v oblačnosti, Déšť, RVR 600 m.	
	Správná reakce na vysazení motoru po vzletu, vyhlášení stavu tísně, nastavení odpovídače 7700. Soustředit se na dodržování základních parametrů letu – dodržovat režimy letu, zůstat na trati, dodržet výšková povolení ATC, zadanou výšku. Správný vstup do vyčkávacího obrazce, dodržení rychlosti v holdingu. Správná technika pilotáže a přistání na jeden motor a mokrou dráhu.	
8	*Opakování prvků, které pilotovi dělaly v osnově problém.*	**60 min**

8 ZÁVĚR

V atmosféře Země neustále dochází k nesčetnému množství meteorologických jevů, které mají vliv na její fyzikální vlastnosti. Fyzikální charakteristiky atmosféry se mění v závislosti na denní či roční době, přechodu atmosférických front, pod vlivem různých tlakových útvarů nebo jsou závislé na geografické poloze letiště. Tyto měnící se charakteristiky mají přímý vliv na výkony nejen leteckých pohonných jednotek, ale i samotných aerodynamických vlastností letounu. Pilot proto musí být s touto problematikou dobře obeznámen, musí si být vědom nebezpečí vyplývajícího z měnících se atmosférických podmínek a musí umět správně určit, zda při daném stavu atmosféry na letišti při vzletu nebo přistání bude mít jeho letoun výkony potřebné ke splnění všech výkonnostních požadavků daných předpisy či publikovanými mapami pro dané letiště a danou proceduru. Náhlá změna charakteristik atmosféry jako je střih větru, silné projevy fenoménů jako například boční vítr, či zaplavená dráha a s tím související aquaplaning, vyžadují od pilota opět dobrou teoretickou znalost těchto jevů, většinou rychlou reakci a aplikaci správné techniky pilotáže. Jelikož se pilot nesetkává s takovými extrémními podmínkami každý den, je dobré mít pro tyto případy průběžnou průpravu na leteckém simulátoru, aby se správné návyky na tyto situace udržovaly. Stejně jako je tomu v případě nácviku nouzových situací.

Proto jsem v diplomové práci vytvořil osnovu pro udržovací výcvik na Dvou pilotním IFR simulátoru Beechcraft OK-ULD, která je určená pro držitele IR(A) doložky a je zaměřená na IFR postupy spolu se vzlety a přistáními za nepříznivých meteorologických podmínek. Všechny nepříznivé meteorologické podmínky aplikované v osnově jsou spolu se správnou technikou pilotáže rozebírány v mojí diplomové práci.

Osnova udržovacího výcviku zajistí zopakování nejdůležitějších IFR postupů a zároveň správné techniky pilotáže a reakcí pilota na nepříznivé meteorologické podmínky ovlivňující vzlet a přistání letounů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] AIP ČR

[2] Daněk, V. – Filakovský, K.: Základy letu (081 00). Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL-1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 315 s.

[3] Daněk, V.: Mechanika letu I – Letové výkony. Brno: Akademické Nakladatelství CERM, 2009, 293 s.

[4] Daněk, V.: Výkonnost (032 00). Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL-1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 145 s.

[5] Dvořák, P.:Letecká meteorologie, 1. Vydání. Cheb: Svět křídel, 2010. 481 s.

[6] Frynta, J. – Loubal, J. – Schoř, J.: Plánování letu a monitorování letu (033). Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL-1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 189 s.

[7] Holub, J.: Meteorologické kódy. 2. část (letecké). Brno: Univerzita obrany, 2007. 103 s.

[8] Karas, P. – Zárybnická, A. – Míková, T.: Skoro jasno. Praha: Česká televize, 2007, 208 s.

[9] Klimatické normály 1961 – 1990 vydané Světovou meteorologickou organizací v Ženevě

[10] Krška, K. – Kráčmár, J. – Sobota, J. – Svatoš, V.: Meteorologie (050 00). Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL-1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 305 s.

[11] Letecký předpis Zkratky a kódy L8400. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, Úřad pro civilní letectví, 2008.

[12] Nedělka, M. a kol.: Slovenský letecký slovník terminologický a výkladový. Bratislava: Magnet – Press Slovakia, 1998. 494 s.

[13] Nedelka, M.: Organizácia zabezpečovania leteckej činnosti a základná letecká meteorologická správa. Metar 93. Bratislava:Slovenský hydrometeorologický ústav, Letecká meteorologická služba, 1993. 43 s.

[14] Nedelka, M.: Prehlaď leteckej meteorologie. Bratislava: ALFA, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatury, 1984. 222 s.

[15] Sobíšek, B. a kol.: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Praha: Academia + Ministerstvo životního prostředí ČR, 1993. 594 s.

[16] Učebnice pilota 2008. Cheb: Svět křídel, 2008, 708 s.

[17] https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-4444/data/effective/hl4.pdf

[18] http://www.inadhled.cz/zajimavosti/turbulence-v-letadle/

[19] static.balon.cz/download/meteo/LM-07.ppt

SEZNAM VYOBRAZENÍ

str. 12 obr. 1 Vzlet a jeho jednotlivé fáze

Daněk, V.: Výkonnost (032 00). Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL-1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 145 s.

str. 13 obr. 2 Schématické znázornění sil působících na letoun při pohybu po RWY

str. 16 obr. 3 Přistání a jeho fáze

Daněk, V.: Výkonnost (032 00). Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL-1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 145 s.

str. 24 obr. 4 Grafický průběh vybraných parametrů letu

Zdroj si nepřeje být uveden

str. 25 obr. 5 Grafická simulace kritického poklesu rychlosti pod V_{mhb0}

Zdroj si nepřeje být uveden

str. 25 obr. 6 Grafická simulace parametrů letu během stoupání konstantní rychlostí V_{mhb0}

Zdroj si nepřeje být uveden

str. 30 obr. 7 Geografické rozložení letišť uvedených v tabulce 3

www stránky:

http://mapaonline.cz/mapa-sveta/
http://mapaonline.cz/pictures/35_o.jpg

str. 38 obr. 8 Příklad nomogramu pro určení složek větru

www stránky:

http://www.mtc.gob.pe/
http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/aereo/examenes_licencias/examenes/diagramas/31_2.jpg

str. 39 obr. 9 Technika přistání letounu při bočním větru

www stránky:

http://fr.wikipedia.org/wiki/Atterrissage_par_vent_de_travers
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/92/Crosswind_landing_sideslip-notext.svg/470px-Crosswind_landing_sideslip-notext.svg.png

www stránky:

http://forums.flyer.co.uk/viewtopic.php?f=1&t=82791
http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2013/04/18/article-2311018-195ED53C000005DC-56_634x389.jpg

str. 41 obr. 10 Vertikální střih větru

www stránky:

http://tornado.sfsu.edu/geosciences/classes/m302/Tornado_Topics_pastF14.html
http://tornado.sfsu.edu/geosciences/classes/m302/Severe_Illustrations/VerticalWindS hear.jpg

str. 41 obr. 11 Druhy střihu větru

www stránky:

http://www.weatherquestions.com/What_is_wind_shear.htm
http://www.weatherquestions.com/wind_shear.jpg

str. 42 obr. 12 Nehoda letounu způsobená střihem větru

www stránky:

http://article.wn.com/view/2015/05/15/Dramatic_video_filmed_from_cockpit_shows_terrifying_moment_p/
http://i.ytimg.com/vi/dOx5Knk6S9I/0.jpg

str. 44 obr. 13 Grafická simulace parametrů letu ovlivněných střihem větru

Zdroj si nepřeje být uveden

str. 44 obr. 14 Trajektorie letu

Zdroj si nepřeje být uveden

str. 48 obr. 15 Downburst a schéma jeho vzniku

www stránky:

http://en.wikipedia.org/wiki/Microburst
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Microburstnasa.JPG

str. 49 obr. 16 Trajektorie přiblížení letu 191

www stránky:

http://lessonslearned.faa.gov/ll_main.cfm?TabID=1&LLID=32&LLTypeID=2
http://lessonslearned.faa.gov/DeltaL1011/DFW_Airport.jpg

str. 59 obr. 17 Viskózní aquaplaning

www stránky:

http://www.boldmethod.com/blog/2014/04/hydroplaning/
http://www.boldmethod.com/images/blog/2014/04/hydroplaning/viscous-hydroplaning.jpg

str. 59 obr. 18 Dynamický aquaplaning

www stránky:

http://www.boldmethod.com/blog/2014/04/hydroplaning/
http://www.boldmethod.com/images/blog/2014/04/hydroplaning/dynamic-hydroplaning.jpg

str. 60 obr. 19 Blokační aquaplaning

www stránky:

http://www.boldmethod.com/blog/2014/04/hydroplaning/
http://www.boldmethod.com/images/blog/2014/04/hydroplaning/reverted-rubber.jpg

str. 60 obr. 20 Typy aquaplaningu

www stránky:

https://www.faasafety.gov/gslac/ALC/course_content.aspx?cID=34&sID=171&preview=true
https://www.faasafety.gov/files/gslac/FTB/Maneuvering/3_types_hydroplaning.gif