



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

VYUŽITÍ TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ V CIVILNÍ LETECKÉ DOPRAVĚ

EXPLORATION OF THE JET STREAM IN THE CIVIL AIR TRANSPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL ŠVEC

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

RNDr. KAREL KRŠKA, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Švec

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Letecký provoz (3708T011)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využití tryskového proudění v civilní letecké dopravě

v anglickém jazyce:

Exploration of the jet stream in the civil air transport

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tryskové proudění v horní troposféře a spodní stratosféře, vývoj poznání. Geografická klasifikace tryskového proudění. Vztah k turbulenci. Tryskové proudění nad severním Atlantikem, event. nad severním Pacifikem, jeho předpověď a využití v letecké dopravě.

Cíle diplomové práce:

Na základě české a zahraniční literatury pojednejte o tryskovém proudění jako významném meteorologickém jevu a jeho důsledcích v letectví. Soustřed'te se na tryskové proudění mezi Severní Amerikou a Evropou, na jeho časové a prostorové změny, na jeho předpověď a možnosti využití v pravidelné civilní letecké dopravě (ekonomické a časové úspory).

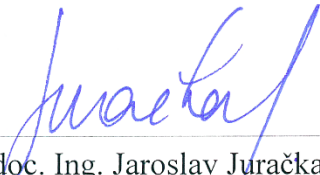
Seznam odborné literatury:

1. Beneš, L. a kol.: Učebnice pilota. Cheb 1995.
2. Dvořák, P.: Letecká meteorologie. 2. vyd. Cheb 2010.
3. Meteorologie (050 00). Učební texty. Brno 2006.
4. Materiály z letecko-meteorologických konferencí.

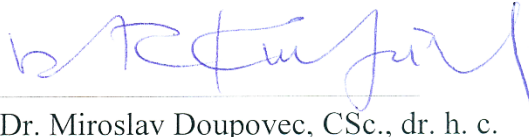
Vedoucí diplomové práce: RNDr. Karel Krška, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 22.11.2013


doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
Ředitel ústavu




prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá tryskovým prouděním. Její rešeršní část pojednává o podmínkách vzniku tryskového proudění, jeho charakteristikách, rozdělení podle zeměpisné polohy a jevech, které tryskové proudění doprovázejí. Obsahuje také popis způsobů měření tryskového proudění a jeho zobrazení v leteckých meteorologických mapách. Dále rozebírá organizaci letového provozu nad severním Atlantikem v dosahu výskytu tryskového proudění. Praktická část práce obsahuje vlastní autorovo řešení, které se týká posouzení časové a ekonomické výhodnosti transatlantických letů plánovaných podle tryskového proudění. Princip vyhodnocení spočíval v porovnání skutečných letů s lety po nejkratších možných tratích. Bylo prokázáno, že ke zmíněným úsporám dochází pouze v oceánských částech letu.

KLÍČOVÁ SLOVA

atlantský oceán, nat, nats, nav canada, oacc, oca, ortodroma, ots, track, tryskové proudění, výškový vítr

ABSTRACT

This master's thesis deals with jet streams. The exploration part describes conditions of jet stream formation, its characteristics, classification on the geographical basis and phenomena attendant on the jet streams. It also contains a description of jet stream measurement methods and methods of its interpretation in aeronautical meteorological charts. Organization of aeronautical traffic in the north Atlantic region within reach of the jet streams is further described. Practical part of this thesis contains author's own research which compares time and economical profitability of transatlantic flights planned according to the jet streams. The principle of this evaluation was based on assessment of real flights and flights via shortest possible routes. It was proven, that profits mentioned above are gained only in the oceanic parts of flights.

KEY WORDS

great circle, jet stream, north atlantic, nat, nats, nav canada, oacc, oca, ots, track, upper wind

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVEC, M. *Využití tryskového proudění v civilní letecké dopravě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 94 s. Vedoucí diplomové práce RNDr. Karel Krška, CSc.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Využití tryskového proudění v civilní letecké dopravě* zpracoval sám. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, byly řádně citovány a jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 30. května 2014

.....
Michal Švec

PODĚKOVÁNÍ

Moc děkuji vedoucímu své diplomové práce, panu RNDr. Karlu Krškovi, CSc., za velké množství času, ochoty, energie a vlastních zkušeností, které mi během vstřícného a vždy trpělivého vedení věnoval, slečně Lence Novákové, studentce doktorského programu katedry meteorologie na University of Reading ve Velké Británii, za osobní konzultaci, informace a doporučení a panu Johnu Michaelovi Flemingovi ze společnosti NAV CANADA za jeho velkou ochotu a poskytnuté cenné materiály.

OBSAH

ÚVOD	11
1 DEFINICE A HISTORIE TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ.....	13
2 TRYSKOVÉ PROUDĚNÍ – METEOROLOGICKÝ JEV	15
2.1 CÍRKULACE ATMOSFÉRY.....	15
2.1.1 Primární cirkulace atmosféry a základní systémy	15
2.1.2 Sekundární cirkulace atmosféry	16
2.2 VZNIK TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ.....	18
2.3 ROSSBYHO VLNY	19
2.4 ČASOVÉ A PROSTOROVÉ ZMĚNY TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ	21
2.4.1 Rozložení front na severní polokouli v zimním období	23
2.4.2 Rozložení front na severní polokouli v letním období	24
2.5 CHARAKTERISTIKY, VÝSKYT A ROZDĚLENÍ TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ	24
2.5.1 Tryskové proudění mírných šířek.....	26
2.5.2 Subtropické tryskové proudění	27
2.5.3 Nízkohladinové tryskové proudění.....	27
2.6 METEOROLOGICKÉ JEVY SPOJENÉ S TRYSKOVÝM PROUDĚNÍM	27
2.6.1 Oblačnost	27
2.6.2 CAT – turbulence v bezoblačném prostoru	28
2.7 MĚŘENÍ TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ.....	29
2.7.1 Měření prováděná ze země	29
2.7.2 Letadlová měření	31
2.7.3 Kosmická měření	32
2.8 INTERPRETACE TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ V LETECKÝCH MAPÁCH A PŘEDPOVĚDÍCH	33
2.8.1 Definované mapy ICAO	34
2.8.2 Mapy IS	34
2.8.3 Mapy SWH.....	35
3 VLIV TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ NA LETOVÝ PROVOZ	37
3.1 VLIV TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ NA LETOVÉ VÝKONY	37
3.2 OCEÁNSKÉ VZDUŠNÉ PROSTORY	38
3.2.1 Prostory OCA regionu NAT.....	39
3.2.2 Hlasová komunikace v oceánských prostorech	40
3.2.3 Další prostředky komunikace	42
3.2.4 Prostory NAT MNPS.....	43
3.2.5 Prostory OTA.....	45

3.3 ORGANIZACE A ŘÍZENÍ OCEÁNSKÉHO LETOVÉHO PROVOZU	45
3.3.1 OTS – systém organizovaných tratí	45
3.3.2 Sestavování OTS a vliv tryskového proudění	46
3.3.3 Letový provoz mimo OTS – volné tratě	48
3.3.4 Provádění a řízení letů v prostorech OCA regionu NAT	49
4 VYUŽITÍ TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ	53
4.1 VSTUPNÍ DATA	53
4.2 VÝBĚR LETŮ	55
4.3 METODY VYHODNOCENÍ	57
4.3.1 Metoda vyhodnocení celého hladinového letu	57
4.3.2 Metoda vyhodnocení oceánské části letu	58
4.4 PŘÍKLAD VÝPOČTU METODY VYHODNOCENÍ CELÉHO HLADINOVÉHO LETU	58
4.5 PŘÍKLAD VÝPOČTU METODY VYHODNOCENÍ OCEÁNSKÉ ČÁSTI LETU	66
4.6 KONEČNÉ VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	68
4.6.1 Vyhodnocení metody oceánské části letu	69
4.6.2 Vyhodnocení metody celého hladinového letu	71
4.6.3 Vyhodnocení ekonomických úspor	74
5 BUDOUCÍ SYSTÉMY PRO POUŽITÍ V OCEÁNSKÝCH PROSTORECH	77
5.1 ADS-B	77
5.2 VYUŽITÍ ADS-B PŘI TRANSOCEÁNSKÝCH LETECH	78
5.2.1 ASEP-ITF	78
5.2.2 ASEP-ITP	78
5.2.3 SSEP-FFT	78
ZÁVĚR.....	79
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	80
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	84
OBSAH CD.....	93
SEZNAM PŘÍLOH.....	94
PŘÍLOHY	A - I

ÚVOD

Tryskové proudění je dnes již známým meteorologickým jevem, i když se s ním lidé v porovnání s ostatními meteorologickými jevy setkali poměrně nedávno. První ověření jeho účinků v praxi je úzce spojeno s vývojem letecké techniky schopné dosahovat velkých výšek letu. Letectví je zároveň oblastí, která pravidelně tohoto jevu využívá a snaží se tím dosahovat lepších výkonů. Z toho důvodu je nutné, aby tryskové proudění pro letecké aplikace bylo měřitelné a bylo možné z těchto měření vytvářet předpovědi jeho charakteristik s dostačující přesností.

Předpovědi slouží jako podklady nejen pro plánování letů, nýbrž také pro organizaci transoceánského letového provozu. Zároveň je nutné tyto informace správně a racionálně využívat tak, aby bylo možné v průběhu letů dosahovat co nejlepších výkonů, ať už se jedná o zvýšení traťové rychlosti, zkrácení letového času nebo ekonomické úspory a redukci škodlivých látek vypouštěných do ovzduší. Jsou to právě oceánské vzdušné prostory, kde samotný způsob organizace letového provozu vytváří na letecké provozovatele i na poskytovatele letových provozních služeb značné nároky.

Letečtí provozovatelé mají povinnost adekvátně vybavit svá letadla avionickými systémy a vycvičit své posádky pro transoceánské lety. Poskytovatelé letových provozních služeb pak musejí řídit letový provoz procedurálním způsobem, neboť ve značné části oblasti severního Atlantského oceánu neexistuje žádné radarové pokrytí. Klíčovou snahou však stále zůstává dosažení bezpečného, plynulého a hospodárního provozu, který leteckým provozovatelům i přes všechna tato omezení umožní dosažení provozního zisku na těchto letech a jejich cestujícím bezpečnou a rychlou cestu do jejich destinací. Stále však ještě existuje mnoho oblastí, v nichž je možné lidské poznání tryskového proudění prohloubit a zefektivnit tím využití zmíněných prostorů a letů v nich prováděných.

1 DEFINICE A HISTORIE TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ

Tryskové proudění je meteorologický jev, který se vytváří na základě několika komplexních meteorologických procesů. Jednoduše řečeno, jedná se o velmi rychle vanoucí výškový vítr, který se vyznačuje poměrně stálou polohou jeho výskytu, směrem proudění a tvarem průřezu. I přesto, stejně jako u všech procesů počasí, se někdy vyskytují neobvyklé situace. Tryskové proudění není všeobecně známým jevem. Jeho existence přímo nijak neovlivňuje život lidí na zemi. Až s technickým rozvojem a prvními výškovými lety, ať už s posádkou či bez ní, se začaly objevovat první domněnky o tomto jevu.

Tryskové proudění (anglicky jet stream, německy Strahlströmung, slovensky dýzové prúdenie) je podle [37] definováno jako silné proudění vzduchu ve tvaru zploštělé trubice s kvazi horizontální osou maximální rychlosti proudění vzduchu, zpravidla 1 až 2 km pod tropopauzou, jež je charakterizováno nejen velkými rychlostmi, nýbrž i výraznými horizontálními a vertikálními střihy větru. WMO dále podle [49] rozšiřuje definici tím, že je tryskové proudění vymezeno izotachou $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, horizontálním střihem větru alespoň $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ na 100 km a vertikálním střihem větru 5 až $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ na 1 km. Tryskové proudění je v horizontální rovině dlouhé řádově tisíce km a široké řádově stovky km. Jeho vertikální rozsah se pohybuje řádově v jednotkách kilometrů [22]. Přesnější údaje budou uvedeny v kap. 2.5.

O tryskovém proudění se začalo poprvé mluvit ve 20. letech 20. století v Japonsku, kde tamější meteorolog Wasaburo Ooishi sledoval lety pilotovaných výškových balónů, které dosahovaly ve výškách nezvykle velkých rychlostí. Výsledky jeho pozorování však byly mimo Japonsko zcela neznámé. V roce 1931 americký pilot Wiley Post obletěl sám v letounu Lockheed Vega pojmenovaném Winnie Mae a vybaveném RDF celou Zemi za 8 dní a stal se tak prvním člověkem, kterému se to sólově podařilo. Později vykonal i několik transoceánských letů a díky přetlakovému obleku se pohyboval i ve výškách nad 7 km. Konstatoval, že rychlost vůči zemskému povrchu byla značná a výrazně vyšší než rychlost jeho rychloměru.

Další etapou v poznávání tryskového proudění se stala 2. světová válka. V roce 1939 německý meteorolog Heinrich Seilkopf poprvé použil slovo Strahlströmung. Tryskové proudění bylo prokázáno při letech amerických i německých vojenských pilotů nad Atlantským a Tichým oceánem a Středozemním mořem, kdy se za určitých podmínek projevoval vítr o rychlosti až 100 kt. Japonsko za války využívalo výškových nepilotovaných balónů k bombardování USA, kam doletěly s využitím tryskového proudění [3, 37].

Po válce se stalo tryskové proudění využívaným jevem. V komerčním letectví se první cílené využití tryskového proudění datuje 18. 11. 1952, kdy kapitán Logan D. Scott společnosti Pan American World Airways se svou posádkou zaletěl spojení z Tokia do Honolulu za 11 hodin a 30 minut, čímž jej zkrátil o 7 hodin vzhledem k letovému řádu. Další piloti na této lince poté vykonali stovky takových letů až do března, kdy se tento proud tryskového proudění posouvá směrem k rovníku. Jeden z pilotů řekl, že „v tryskovém proudění není žádné počasí ani oblačnost. Necítíte zvýšenou rychlost. Je to hladký let, dokud se nedostanete blízko k severní hraně trubice, kde je silná turbulence“ [41]. Jak bude uvedeno dále, tato informace je poměrně přesná a v současnosti také ověřená. Znamená to, že již tehdy dokázali letci vysledovat a správně využívat tento meteorologický jev, který byl v té době jen málo známý.

V současnosti je již tryskové proudění prozkoumaným jevem a je hojně využíváno především při transoceánských letech. Kromě leteckého provozu se v posledních letech zmiňuje tryskové proudění i v souvislosti s globálním oteplováním a především oteplováním Atlantského oceánu a táním arktických ledovců.

2 TRYSKOVÉ PROUDĚNÍ – METEOROLOGICKÝ JEV

V dalším textu bude termín tryskové proudění nahrazen standardní k němu určenou leteckou zkratkou JTST podle [25].

Jak bylo zmíněno výše, JTST je jev založený na ostatních meteorologických procesech, mezi které patří především primární a sekundární cirkulace atmosféry. Ta způsobuje vznik téměř všech JTST na Zemi. Následující odstavce byly sepsány podle [3 a 22].

2.1 Cirkulace atmosféry

Procesy probíhající v zemské atmosféře jsou podmíněny nestejnoměrným ohříváním zemského povrchu. To má za následek nerovnoměrné rozložení tlaku v atmosféře a vzduch, který na tyto rozdíly reaguje, se poté začíná pohybovat a vytváří tzv. cirkulaci atmosféry, jejíž snahou je tyto rozdíly vyrovnat. Všeobecná cirkulace atmosféry představuje systém proudění vzduchu v planetárním nebo kontinentální měřítku, ve kterém nastává přenos energie, hybnosti a vláh. Podle měřítka lze rozlišit primární, sekundární a terciální cirkulaci atmosféry. Dále bude zmíněna pouze primární a sekundární cirkulace, které jsou pro JTST zásadní.

Pro ujasnění je vhodné uvést, že proudění, stejně jako vítr, se označuje podle směru, ze kterého proudění do daného místa směřuje. Severní proudění má tedy jižní směr, jihozápadní proudění má severovýchodní směr a tak podobně.

2.1.1 Primární cirkulace atmosféry a základní systémy

Primární cirkulace atmosféry představuje systém proudění vzduchu kolem Země v planetárním měřítku. Způsob cirkulace je určen měnicí se radiací s polohou na Zemi (zeměpisnou šířkou), rozdělením povrchu Země na pevniny a oceány a také zemskou rotací, která ve všech pohybujících se vzduchových hmotách s meridionální složkou pohybu (podél poledníků) vytváří Coriolisovu sílu, neboli v tomto případě uchylující sílu zemské rotace, která na severní polokouli působí vpravo od směru pohybu. Na jižní polokouli působí doleva od směru pohybu.

V této cirkulaci lze vyzorovat, že oblasti s nejnižším tlakem vzduchu jsou na rovníku, které jsou také nejteplejší, a nejstudenější oblasti s nevyšším tlakem vzduchu jsou na pólech. Kvůli rozdělení pevnin a oceánů ale nejsou tato pásma rovnoměrná.

V primární cirkulaci atmosféry je proto možné pozorovat několik vzduchových systémů, které vytvářejí základní představu o rozložení tlaku na Zemi a o převládajícím směru větrů v různých zeměpisných šířkách.

a) Tropická cirkulace

Teplý vzduch rozkládající se v okolí rovníku vystupuje a pod tropopauzou se rozděluje do proudů směřujících k severu a k jihu. Na vzduch pohybující se severním směrem působí uchylující síla zemské rotace a postupně jej stáčí směrem k severovýchodu a poté východu. Toto nastává mezi 25° až 40° severní šířky. V tomto pásmu se vzduch hromadí a vytváří tzv. subtropické tlakové maximum. Při zemi se vzduch z tohoto tlakového maxima rozděluje a proudí jak jižním, tak i severním směrem. V jižním i v severním směru se opět postupně

vlivem uchylující síly zemské rotace stáčí. K rovníku proudí vzduch od severovýchodu a na severu se vzduch stáčí směrem na severovýchod.

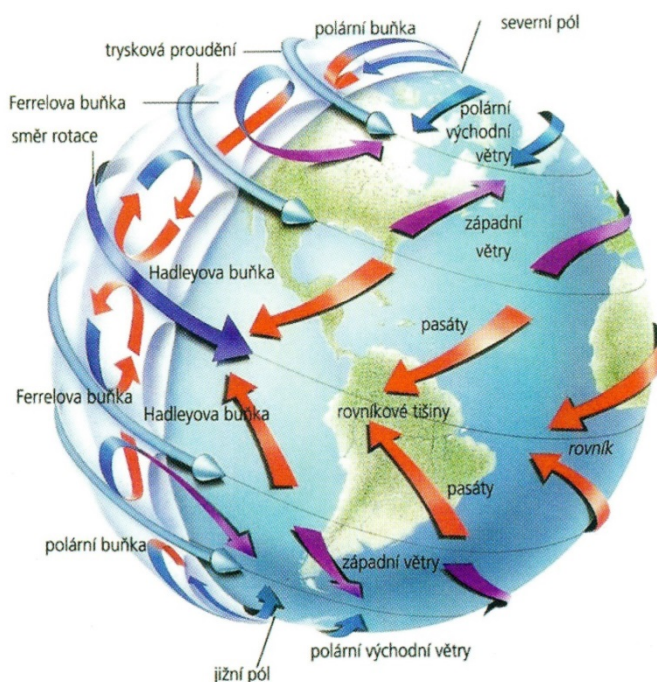
b) Cirkulace v šířkách mírného pásu

Tato cirkulace je určena subtropickým tlakovým maximem, od kterého až do 60° nebo 65° severní šířky převládá při zemi jihozápadní proudění. Zde se setkává s přízemním prouděním arktické cirkulace (probrána dále), vystupuje vzhůru a pod tropopauzou se opět rozděluje na severní a jižní proudy, které se opět začínají stáčet. Severní proud se tedy ve výškách stáčí směrem na jihozápad a jižní proud na severovýchod. V tomto pásmu se však neustále tvoří postupující cyklony a anticyklony, které výrazně zdejší proudění ovlivňují.

c) Arktická cirkulace

Od 65° až 70° severní šířky převládá při zemi proudění od severního pólu na jih, které se vlivem uchylující síly zemské rotace stáčí směrem doprava k jihozápadu až západu, kde se setkává s jihozápadním prouděním od subtropického tlakového maxima. V arktické cirkulaci je však proudění při zemi i ve výškách značně závislé na mohutnosti polárních anticyklon.

Primární cirkulace atmosféry je vyobrazena na obr. 2.1, kde jsou naznačena i umístění a směry proudění hlavních JTST vznikajících na místech výrazných rozhraní, jak bude uvedeno v kap. 2.2.



Obr. 2.1 Primární cirkulace atmosféry [22].

2.1.2 Sekundární cirkulace atmosféry

Je proudění vzduchu v cyklonách (tlakových nížích) a anticyklonách (tlakových výších). Jak již bylo obecně zmíněno na začátku této podkapitoly, i tyto procesy jsou podmíněny nestejnoměrným ohříváním zemského povrchu, a tedy i nerovnoměrným rozložením tlaku v atmosféře. Vzduch se proto začíná pohybovat za účelem vyrovnání těchto rozdílů. Na pohybující se vzduchovou částici působí síla horizontálního tlakového gradientu, uchylující

síla zemské rotace, odstředivá síla a síla tření o zemský povrch. Výsledkem těchto sil je gradientový vítr, který se více či méně pohybuje okolo středů tlakových útvarů a mezi nimi, jak ukazuje obr. 2.2. Někdy se také uvádí, že vítr vane podél izobar, avšak toto tvrzení není zcela přesné. Na severní polokouli se kvůli uchylující síle zemské rotace otáčí cyklona proti směru hodinových ručiček a anticyklona po směru hodinových ručiček. Na jižní polokouli jsou směry otáčení opačné [40].

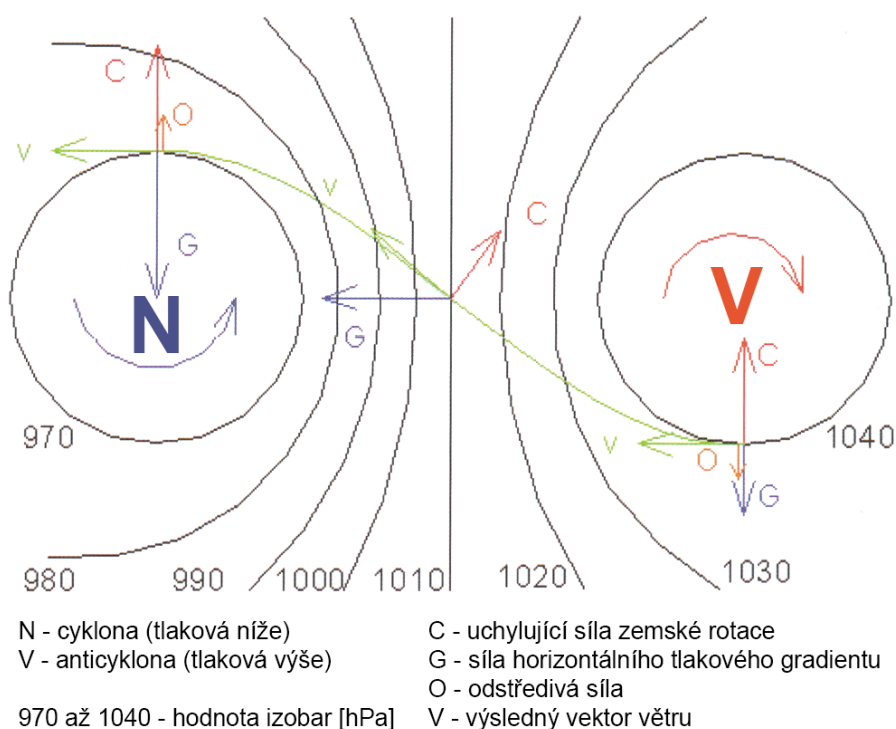
Cyklony i anticyklony lze rozdělit podle jejich mohutnosti a polohy na přízemní, vysoké a výškové. Podle [37] lze uvést následující definice:

Výšková anticyklona je anticyklona ve středních a horních vrstvách troposféry, která se projevuje pouze na výškových mapách, zatímco na přízemní mapě není vyjádřena.

Vysoká anticyklona je anticyklona, která zasahuje nejméně do horních vrstev troposféry nebo až po tropopauzu. Je teplá v celém svém vertikálním rozsahu a má uzavřenou cirkulaci i nad izobarickou hladinou 500 hPa, ležící zhruba ve výšce 5,5 km.

Výšková cyklona je cyklona, která je dobře vyjádřena na výškových mapách střední a vysoké troposféry, avšak na přízemní synoptické mapě v dané oblasti nelze najít žádnou uzavřenou izobaru, uvnitř které by byl tlak vzduchu nižší než v okolí.

Vysoká cyklona, nebo také studená cyklona, je termicky symetrická cyklona, která má v celém svém vertikálním rozsahu teplotu relativně nižší než v okolí.

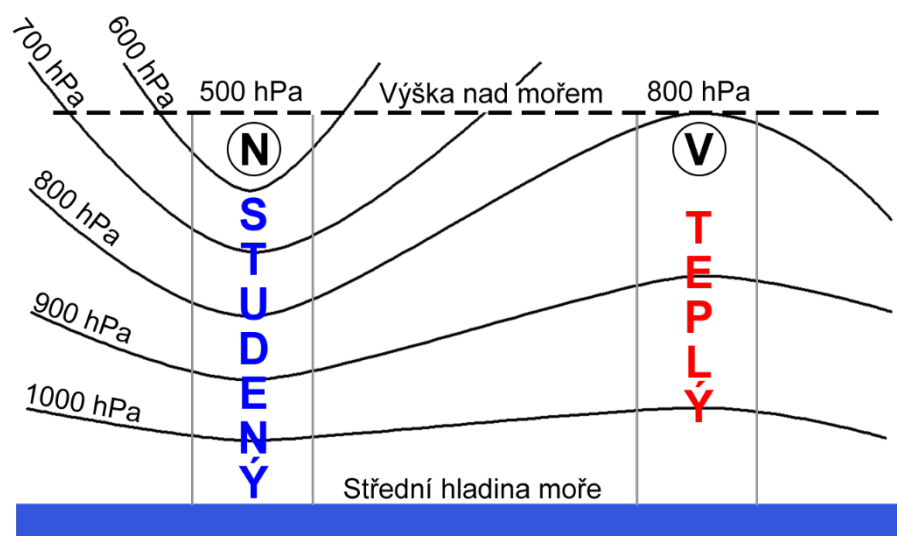


Obr. 2.2 Gradientový vítr v cykloně a anticykloně [22].

Cyklony a anticyklony jsou zásadně svázány s chodem atmosférických front, tedy rozhraní dvou různých vzduchových hmot. Výškové fronty ovlivňují směr i rychlost JTST. Podrobněji se frontami zabývá kap. 2.4.

2.2 Vznik tryskového proudění

Následující popis vzniku tryskového proudění byl sepsán s využitím literatury [3, 12, 22, 33, 37]. Primární cirkulace atmosféry vytváří několik míst nebo oblastí, kde dochází ke střetávání různých vzduchových proudů, tedy vzduchových hmot. Tyto oblasti se poté nazývají atmosférickou frontou (kap. 2.4). Pro vznik JTST jsou důležité především tzv. výškové atmosférické fronty, které se neprojevují u zemského povrchu. V těchto oblastech střetu, které se dají představit také jako zonální (podél rovnoběžek) pásma, vznikají tlakové poruchy. V teplé vzduchové hmotě klesá tlak s rostoucí výškou pomaleji, a proto je zde i nižší vertikální teplotní gradient. Naopak ve studené vzduchové hmotě klesá tlak s výškou rychleji, a proto je nižší. Názorně je tato situace zjednodušeně zobrazena na obr. 2.3.



Obr. 2.3 Tlakové rozdíly v určité výšce nad mořem mezi vzduchovými hmotami různé teploty [33].

Vytvářejí se tedy tlakové poruchy, ze kterých se postupně stávají tlakové útvary, především výšková teplá anticyklona a výšková studená cyklona. Výškové frontální rozhraní je tedy do jisté míry totožné s rozhraním vysokých nebo výškových tlakových útvarů, které se (stejně jako přízemní tlakové útvary) ovlivňují.

Sousedící výšková cyklona a anticyklona způsobují změnu výšky tlakové hladiny. Rychlost této změny závisí na vzájemné vzdálenosti a výraznosti teplých a studených vzduchových hmot. Aby se tento spád tlaku vyrovnal, začne proudit teplý vzduch z výškové anticyklony směrem k výškové cykloně podobně, jako je vidět na obr. 2.2. Tento pohyb je v prvním okamžiku způsobený silou horizontálního tlakového gradientu, kterou je možné vyjádřit vzorcem 2.1.

$$G = -\frac{\partial p}{\partial n} \quad (2.1)$$

kde G - síla horizontálního tlakového gradientu [Pa]
 p - atmosférický tlak [Pa]
 n - délka normály k izobaře v definované horizontální rovině [m]

Na pohybující se vzduchovou částici však začne působit Coriolisova síla, v tomto případě uchylující síla zemské rotace, která je vyjádřena ve vzorci 2.2.

$$C = 2 \omega m v \sin \varphi \quad (2.2)$$

kde C - uchylující síla zemské rotace [N]
 ω - úhlová rychlost zemské rotace ($7,29 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) [s^{-1}]
 m - hmotnost vzduchové částice [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 v - rychlost vzduchové částice [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 φ - zeměpisná šířka [$^\circ$]

Z tohoto důvodu se začne dráha vzduchové částice zakřivovat a objevuje se také odstředivá síla, která je vyjádřena vzorcem 2.3.

$$O = \frac{m v^2}{r} \quad (2.3)$$

kde O - odstředivá síla [N]
 m - hmotnost vzduchové částice [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 v - rychlost vzduchové částice [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 r - poloměr zakřivení dráhy [m]

Pokud dojde k situaci, kdy bude uchylující síla zemské rotace stejně velká jako síla horizontálního tlakového gradientu, avšak opačného směru (podmínka 2.4), vítr bude vanout podél izobar, jeho trajektorie se napřímí a přestane působit odstředivá síla. Takové proudění se nazývá geostrofický vítr, jehož rychlost je vyjádřena vzorcem 2.5, který platí za podmínky ve vzorci 2.4. Jestliže tato situace nastane v případě, kdy oblast studeného vzduchu (tedy výšková studená cyklona) bude umístěna severně od oblasti teplejšího vzduchu (výškové teplé anticyklony), bude mít proudění západní směr.

$$G = C \quad (2.4)$$

$$v = \frac{G}{2 \omega m \sin \varphi} \quad (2.5)$$

kde jako u vzorců 2.1 a 2.2

V případě velkého tlakového spádu dojde k výraznému urychlení proudění. V obvyklých výškách výskytu JTST je navíc asi 5krát nižší hustota vzduchu než u hladiny moře, což rychlost proudění podle vzorce 2.5 zvyšuje. Jestliže rychlost urychleného proudění překročí hodnotu $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, lze jej zjednodušeně označit za tryskové proudění, avšak úplná definice JTST podle WMO zahrnuje také hodnoty stříhů větru.

Tato místa střetu vzduchových hmot, tedy výškové atmosférické fronty, jsou velice výrazné a na výškových mapách (nejčastěji mapách AT 300 hPa až AT 200 hPa) bývají jasně znázorněny velkým nahuštěním izohyps (křivkách spojujících stejnou výšku určité tlakové hladiny). Rychlost proudění je přímo úměrná nahuštění izohyps a záleží na výraznosti rozhraní zmiňovaných vzduchových hmot.

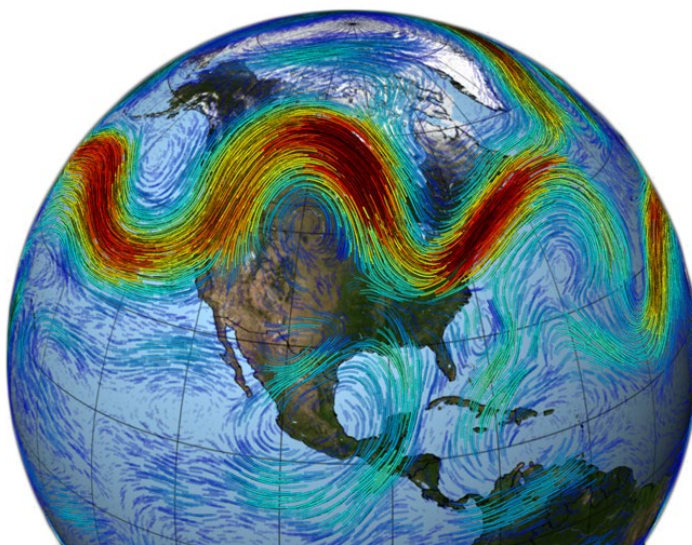
2.3 Rossbyho vlny

O porozumění tomuto jevu se nejvíce zasloužil v roce 1939 Carl-Gustaf Arvid Rossby, meteorolog narozený ve švédském Stockholmu a držitel švédského i amerického občanství.

Hlavně ze synoptického pozorování převážně západního proudění v mírných zeměpisných šířkách severní polokoule bylo zjištěno, že má trajektorie tohoto proudění

tendenci vytvářet vzory podobné vlnám. Tento jev se později potvrdil jak pozorováním, tak hydrodynamickými pokusy. Podle [10] se tyto vlny vyskytují ve střední až vyšší troposféře (mezi izobarickými hladinami 700 hPa a 500 hPa) a formují se do podoby kratších vln, které se rozprostírají na ploše do 50° zeměpisné délky, a vln delších, které se zpravidla vyskytují nad oblastí od 50° do 120° zeměpisné délky. Kratší vlny se pohybují poměrně rychle a jsou vrstvené na delší vlny, které se pohybují pomalu nebo jsou kvazistacionární. Vlny jsou charakteristické svými studenými sedly a teplými vrcholky.

Jedním z důvodů tohoto zvlnění je vztah reliéfu zemského povrchu a vorticity, neboli podle [37] vírnatosti. Například při přechodu západního proudění přes vysoké pohoří je přízemní část proudění nucena stoupat podél tohoto pohoří, zatímco výšková část proudění je v pohybu omezena tropopauzou. V tomto případě se proudění vertikálně stlačí, ale toto stlačení je kompenzováno laterální expanzí, která nutně vede ke snížení absolutní vorticity. Tento jev je podle [10] podobný bruslaři roztočenému na místě, který roztáhne ruce, čímž sníží rychlost svého otáčení. Snížení absolutní vorticity je na severní polokouli dosaženo stočením směru proudění doprava, tedy do nižších zeměpisných šířek, kde je menší zemská vorticity. Po přechodu pohoří, kdy dochází k vertikální expanzi a laterálnímu stlačení proudění se absolutní vorticity opět zvýší, což je docíleno zastavením stáčení proudu směrem doprava. Po dosažení stejných vertikálních i laterálních rozměrů proudění po přechodu pohoří je směr proudění a vorticity stejná jako před přechodem pohoří.



Obr. 2.4 Vizualizace JTST formovaného Rossbyho vlnami [27].

Ve střední a vyšší troposféře mají proudění tendenci udržovat trajektorii s konstantní absolutní vorticitou. Tato trajektorie je udržována neustále se měnícím poměrem relativní vorticity a zemské vorticity, jejichž součtem je zjednodušeně vorticity absolutní. Při pohybu proudění do nižších zeměpisných šířek, kde je zemská vorticity menší, je pro zachování konstantní absolutní vorticity nutné zvýšení relativní vorticity. V tomto případě tedy nastává vorticity cyklonální, která proudění nasměruje zpět do míst vyšší zeměpisné šířky. Zde nastává opačný případ a vzniká vorticity anticyklonální. Tato neustálá snaha o vyrovnaní poměrů je však narušována výše popsaným vztahem mezi prouděním a členitým zemským povrchem. Vzniká proto kontinuální vlnění západního proudění ve vyšších vrstvách troposféry, jehož součástí je i JTST. Okolo severního pólu se vyskytují zpravidla 3 až 6 vln

současně, každá o délce přes 1000 km [10, 37]. Vizualizace tryskového proudění s jasně viditelnou formací Rossbyho vln je na obr. 2.4.

Za určitých zjednodušujících předpokladů byl odvozen následující vzorec pro výpočet rychlosti postupu vln (2.8), který využívá Coriolisova parametru uvedeného ve vzorci (2.6) a Rossbyho parametru uvedeného ve vzorci (2.7). Všechny tyto vzorce uvádí literatura [37].

$$\lambda = 2 \omega \sin \varphi \quad (2.6)$$

kde λ - Coriolisův parametr [s^{-1}]
 ω - úhlová rychlost zemské rotace ($7,29 \cdot 10^{-5} s^{-1}$) [s^{-1}]
 φ - zeměpisná šířka [$^{\circ}$]

$$\beta = \frac{\partial \lambda}{\partial y} \quad (2.7)$$

kde β - Rossbyho parametr [$m^{-1} \cdot s^{-1}$]
 λ - Coriolisův parametr [s^{-1}]
 y - vzdálenost na souřadnicové ose směřující k severu [m]

$$v_{RV} = v_{ZZP} - \frac{\beta l^2}{4 \pi^4} \quad (2.8)$$

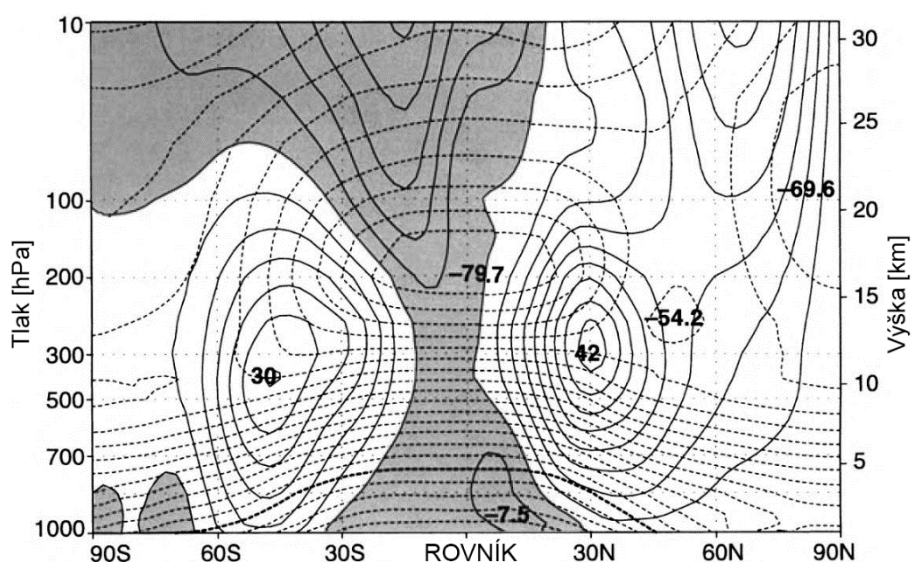
kde v_{RV} - rychlost postupu Rossbyho vln [$m \cdot s^{-1}$]
 v - rychlost západního zonálního proudění [$m \cdot s^{-1}$]
 β - Rossbyho parametr [$m^{-1} \cdot s^{-1}$]
 l - délka vlny [m]

Rossbyho vlny mají také poměrně velký vliv na oblastní počasí. V části vlny, kde má směr proudění i severní složku, vstupuje do oblasti studený vzduch ze severu, naopak část vlny s jižní složkou proudění přináší teplejší vzduch do severnějších oblastí. Zároveň takto formované proudění poměrně výrazně ovlivňuje celý systém atmosférické cirkulace.

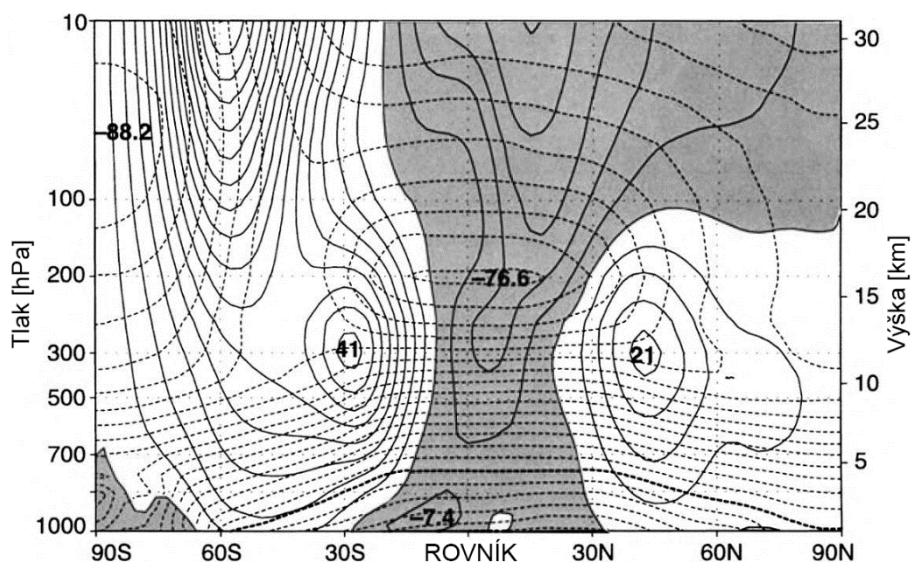
2.4 Časové a prostorové změny tryskového proudění

Z výše uvedených informací je zřejmé, že tryskové proudění, jakožto zvláštní případ rychle vanoucího větru, je nedílnou součástí celkové cirkulace atmosféry. Znamená to, že jej nelze oddělit jako samostatný jev, který by byl jen málo ovlivňován změnami ostatních prvků v atmosféře. Jak již bylo zmíněno, proudění v atmosféře je určováno a ovlivňováno především zahříváním zemského povrchu, které je velkou mírou závislé na zeměpisné šířce. Nelze jej ovšem uvažovat pouze jako funkci zeměpisné šířky, i když by tak bylo dosaženo poměrně jednoduchého modelu se snadnou předpovědí. Poměry v atmosféře jsou také silně závislé na rozdělení povrchu Země na pevniny a oceány, které regionálně mění chování proudění podél rovnoběžek. Navíc je nutné počítat i se značnou závislostí prvků atmosféry na nadmořské výšce. V tomto systému lze vypožarovat určité prostorové změny tryskového proudění v čase. I přesto je však kvůli jeho závislosti i na ostatních silně proměnlivých a nepravidelně se měnících prvcích atmosféry obtížné dlouhodobě předpovídat jeho rychlost a polohu s uspokojivou pravděpodobností. Tato úvaha však neplatí pouze pro proudění, nýbrž i pro počasí obecně. Podle [32] je možné předpovídat na základě různých druhů meteorologických měření polohu a rychlost tryskového proudění s vysokou pravděpodobností s předstihem asi tři dny.

Podle [12] jsou teplotní gradienty a nejsilnější větry koncentrovány do relativně úzkých pásů proměnlivých front. Na obr. 2.5 a obr. 2.6 jsou vyobrazeny řezy atmosférou podél poledníku od tlakové hladiny 1000 hPa (přibližně hladina moře) do tlakové hladiny 10 hPa (asi 32 km AMSL) zobrazující plnými křivkami zonální proudění průměrované v čase podél rovnoběžek v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a teplotu znázorněnou čárkovanými křivkami s korkem 5 K. Obr. 2.5 znázorňuje situaci v zimním období (prosinec až únor) a obr. 2.6 znázorňuje letní situaci (červen až srpen). Izoterma $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ je znázorněná tučně a šedé oblasti představují převážné východní proudění.



Obr. 2.5 Meridionální řez atmosférou s průměrnými rychlostmi zonálního proudění a teplotou v zimě [12].



Obr. 2.6 Meridionální řez atmosférou s průměrnými rychlostmi zonálního proudění a teplotou v létě [12].

Z porovnání obrázků je vidět, že v zimním období je průměrná rychlost JTST na severní polokouli v porovnání s letní situací dvojnásobná. Na jižní polokouli není rozdíl tak velký (asi $11\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), ale rychlejší proudění se objevuje v letním období. Také je vidět, že se osy

maximálního větru na obou polokoulích v létě posouvají o 10° až 15° zeměpisné šířky směrem k severu. Jedná se o průměrné údaje podél celých rovnoběžek v celém roční období. I přesto lze však předpokládat, že se budou charakteristiky JTST alespoň z části během ročních období měnit podle těchto pravidel. Dlouhodobě nejsou, mimo výše uvedených, pozorovatelné konkrétní pravidelné polohy tryskového proudění, což úzce souvisí s jeho obtížnou předpovědí.

Vytváření frontálních rozhraní a jejich charakteristik je závislé na změně teploty putujících vzduchových hmot. Frontální rozhraní je tím výraznější, čím větší rozdíly jsou mezi sousedícími vzduchovými hmotami (obr. 2.3). Nejdůležitějším parametrem v tomto procesu je teplota vzduchu. Teplota vzduchových hmot se mění, jak se tato hmota pohybuje nad zemským povrchem. Především zde je dobře vyjádřen teplotní rozdíl mezi pevninou a oceánem, jejichž rozložení zásadně ovlivňuje chování atmosféry, jak již bylo uvedeno výše. Vzduchové hmoty střetávající se nad východními částmi kontinentů, případně nad západními částmi oceánů, mají většinou relativně výrazná rozhraní. Proto jsou i zde vznikající fronty poměrně silné, výrazné a počasí v nich má energický charakter. Jak ale chladnější vzduchová hmota při svém postupu východním směrem absorbuje teplo z povrchu oceánu, stává se teplotní rozhraní mezi vzduchovými hmotami méně výrazné, a tato fronta tak postupně slábne stejně jako počasí, které se na frontě vyskytuje. To platí i pro JTST, které nad východními částmi oceánů slábne [12].

2.4.1 Rozložení front na severní polokouli v zimním období

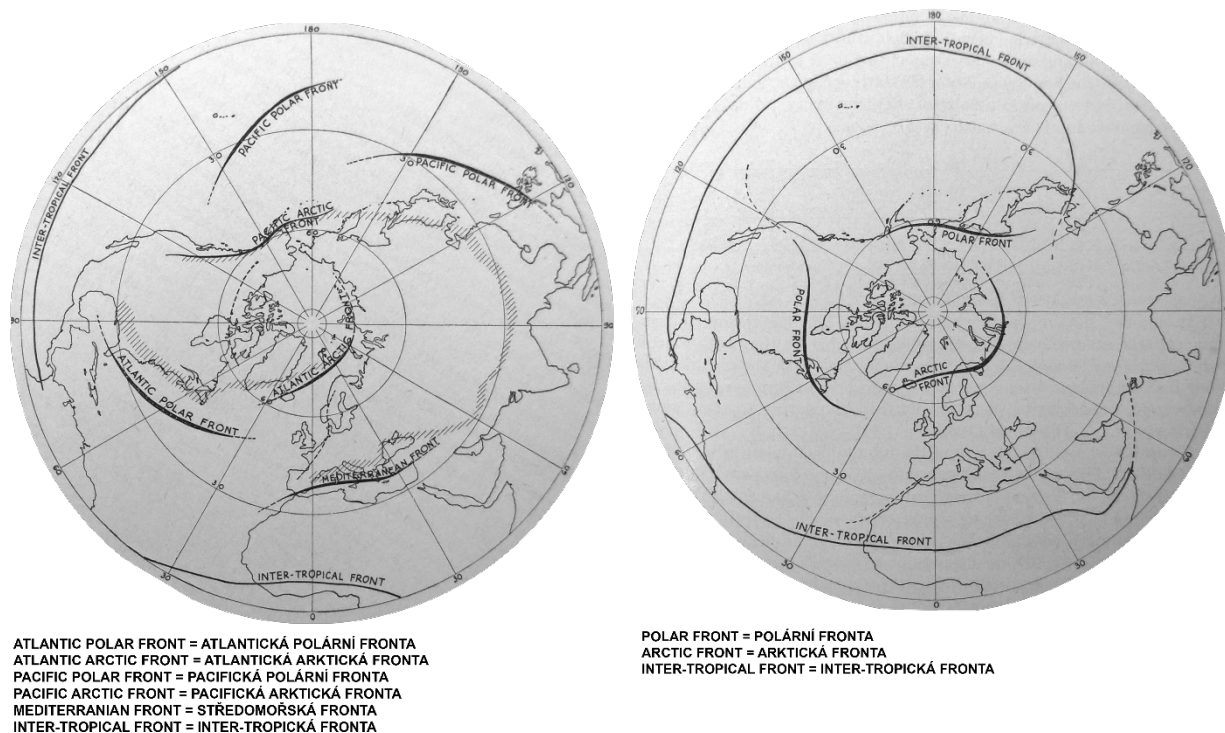
Základní frontou v oblasti Atlantského oceánu je tzv. atlantická polární fronta, v jejíž blízkosti se nachází JTST mírných šířek. Důvodem její existence je teplotní rozhraní mezi chladným pevninským povrchem severní Ameriky a relativně teplým povrchem Atlantského oceánu. Z hlediska všeobecné cirkulace atmosféry se jedná o místo střetu polárního tlakového maxima a Ferrelovy buňky, jak je vidět na obr. 2.10. Jedná se o velice intenzivní frontální zónu, což je určeno především značnou blízkostí a výrazností teplotních rozdílů. Fronta se vytváří většinou mezi Karibským mořem a Velkými jezery v severní Americe. Význačné počasí se vytváří většinou jižně nebo jihozápadně od kanadského ostrova Newfoundland a postupuje směrem na východ až k Evropě nebo i dále. Nad východním pobřeží Atlantského oceánu se může poloha polární fronty vyskytovat nad poměrně rozsáhlou plochou.

Další důležitou frontou je atlantická arktická fronta. Zdrojem pro její vytvoření je studený vzduch nad arktickým ledem a sněhem a teplý vzduch ohříváný Atlantským oceánem proudícím podél severozápadního a severního pobřeží Evropy. Výrazněji se projevuje, pokud se kvazistacionární islandská tlaková níže vyskytuje východněji než obvykle, čímž proudí do oblasti ještě více teplého vzduchu z jihozápadu. Na rozdíl od atlantické polární fronty, která existuje téměř vždy, může někdy atlantická arktická fronta zaniknout.

Další je středomořská frontální zóna, která však již není pro oblast severního Atlantského oceánu tak důležitá jako první dvě zmíněné fronty. Podobná situace nastává i v oblasti Tichého oceánu, kde se vyskytuje pacifická polární fronta a pacifická arktická fronta. Náhled na rozmístění front na severní polokouli v zimním období je na obr. 2.7, kde šrafované oblasti představují místa s největšími teplotními gradienty. Podle [12 a 32] je tryskové proudění nad Tichým oceánem výrazně silnější, než je tomu v oblasti Atlantského oceánu. Za příznivých podmínek je možné se v této oblasti setkat s prouděním dosahujícím i hodnot blízkých se $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2.4.2 Rozložení front na severní polokouli v letním období

V letním období se vyskytují v oblasti Atlantského oceánu stejné fronty jako v období zimním. Rozdílem je, že ve středních zeměpisných šířkách jsou v létě teplotní rozdíly mezi kontinenty a oceány poměrně malé, což má za následek vytváření poměrně nevýrazných front v těchto oblastech. Naopak velmi výrazné jsou teplotní rozdíly podél severního pobřeží Ameriky a Eurasie, tedy ve vysokých zeměpisných šířkách, kde se vytvářejí silné a výrazné fronty. Tyto poměry jsou důvodem, proč je JTST polární fronty v zimě intenzivnější než v létě. Rozmístění front na severní polokouli v letním období je na obr. 2.8.



Obr. 2.7 Rozmístění front na severní polokouli v zimním období [34].

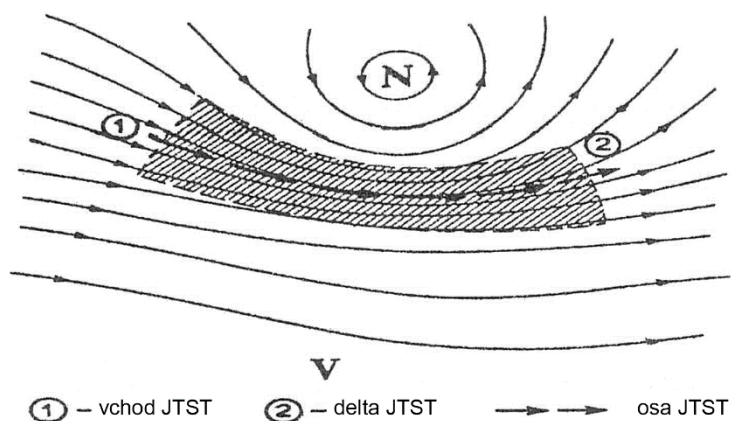
Obr. 2.8 Rozmístění front na severní polokouli v letním období [34].

2.5 Charakteristiky, výskyt a rozdělení tryskového proudění

Jak je vidět na obr. 2.9, JTST je možné podle umístění jeho osy (popsané dále) rozdělit na dvě strany. Část ležící vlevo od osy proudění lze nazvat cyklonální stranou a část vpravo od osy anticyklonální stranou. Největší nahuštění izohyps leží na cyklonální straně. Místo, kde dochází ke konvergenci, tedy sbíhání izohyps, se nazývá ústím nebo také vchodem JTST a místo divergence neboli rozbíhání izohyps se nazývá deltou JTST.

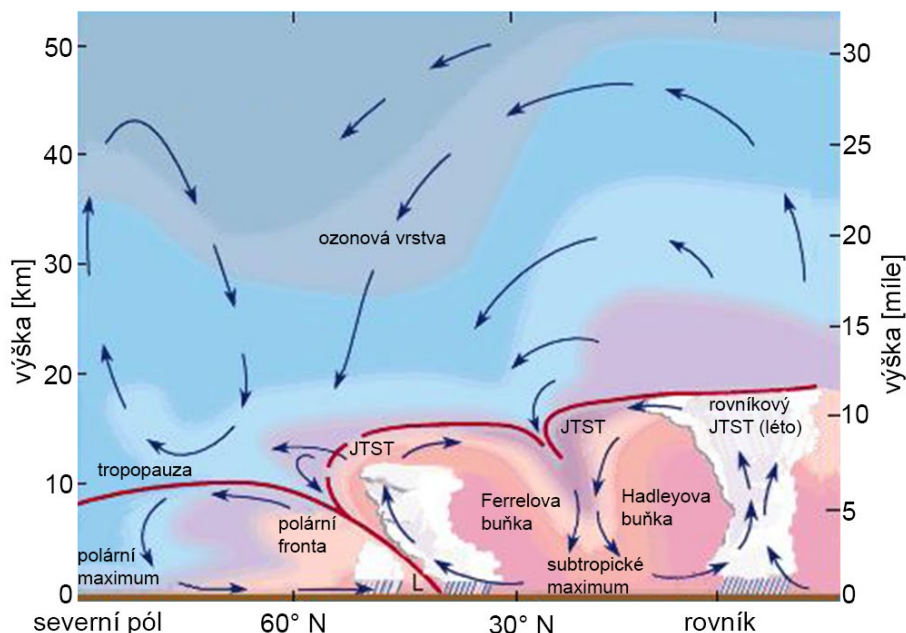
Často se uvádí, že má JTST tvar zploštělé trubice s kvazi horizontální osou. Průřez touto trubicí je uveden v obr. 2.11. Tento obrázek je však zkreslený různými měřítky souřadnicových os, neboť pozice 2 a 6 jsou od sebe ve skutečnosti vzdáleny asi 1150 km, zatímco průměrná výška izobarické hladiny 150 hPa je okolo 13 500 m. Délka JTST se obvykle pohybuje od 2000 do 6000 km, trubice je horizontálně široká od 400 do 600 km a výška trubice má rozměry od 2 do 6 km. Zde uvedené hodnoty jsou pouze obecné. Mohou se však vyskytovat JTST, které jsou svými rozměry i mimo uvedené rozsahy. Navíc se JTST rozděluje podle pásma, ve kterém lze jeho výskyt očekávat, a i jejich charakteristiky mají nezanedbatelný sezónní chod nebo i krátkodobou proměnlivost. I zde lze pozorovat rozměrové odchylky průměrných rozměrů těchto jednotlivých JTST. To stejné platí

i o rychlosti proudění. Obecně lze říci, že se rychlosti proudění v ose (kde je proudění nejrychlejší) pohybují od 150 do 300 km·h⁻¹, přičemž jedno JTST může mít i více os lokálních maximálních rychlostí. Pokud ale dojde ke spojení dvou nebo i více proudů JTST, neboli vznikne tzv. několikanásobný JTST, mohou rozměrové charakteristiky především v horizontální rovině nabývat vyšších hodnot a rychlosti proudění mohou dosahovat až 700 km·h⁻¹ [22]. Obecně lze také vypořizovat, že JTST jsou nejintenzivnější nad východním pobřežím kontinentů, respektive nad západními částmi oceánů, a naopak nejslabší nad západními částmi kontinentů a přilehlými částmi oceánů, jak bude blíže uvedeno v kap. 2.4.



Obr. 2.9 Vchod a delta trykového proudění [22].

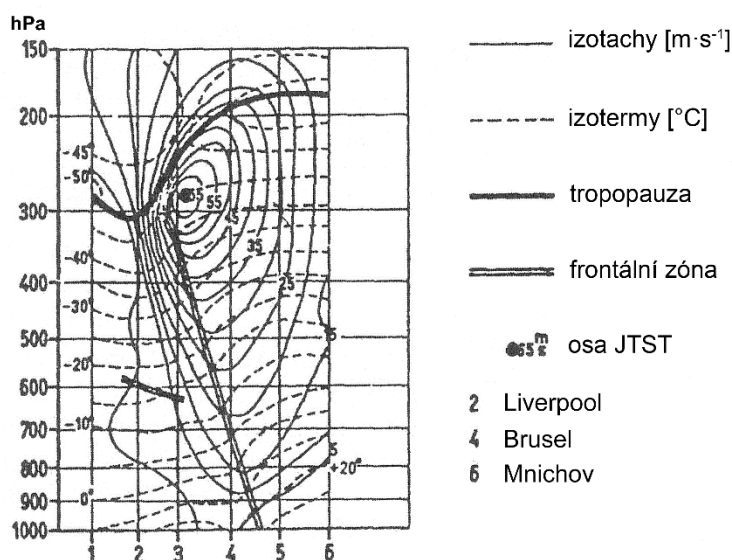
Na obr. 2.10 je jednoduchým způsobem znázorněno umístění JTST vzhledem k výškové atmosférické frontě. Jedná se o řez zobrazující pohled na východ a JTST tedy proudí směrem do obrázku.



Obr. 2.10 Trysková proudění a jejich poloha vzhledem k frontálním rozhraním [6].

Jak je na obr. 2.11 znázorněno, poměrně hustě orientované izotachy představují velký gradient rychlosti, a to jak vertikální, tak i horizontální. JTST je tedy ze všech stran

doprovázeno poměrně silnými stříhy větru, které jsou různě intenzivní v závislosti na směru od osy proudění ve vertikálním průřezu. Přesnější kvantitativní vyjádření je opět obtížné a hodnoty jsou velmi proměnlivé. Podle [22] je však možné vyzorovat, že na cyklonální straně JTST se projevují silnější stříhy větru než na straně anticyklonální. Zde se používají jednotky rychlosti vztažené ke vzdálenosti 100 km. Průměrně asi okolo $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 100^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ na cyklonální straně a asi $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 100^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ na anticyklonální straně. Ve vertikálním směru se používají jednotky rychlosti vztažené k 1 km. Stříh větru je zde větší nad osou (asi $45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$) než pod osou JTST (asi $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$).



Obr. 2.11 Vertikální průřez trysovým prouděním [22].

JTST se podle pásma výskytu rozděluje na JTST mírných šířek, subtropický, rovníkový, stratosférický a nízkohladinový, který je velice specifický a bude zde popsán jen okrajově. Rovníkový a stratosférický JTST se vzhledem k výškám jejich výskytu (20 až 30 km u rovníkového JTST a 40 až 60 km u stratosférického JTST) v civilní letecké dopravě nevyužívají, a proto zde nebudou popsány. Následující popis se týká severní polokoule. Na jižní polokouli existují podobná trysová proudění, jejichž charakteristiky jsou určeny rozdílnými geografickými a klimatickými poměry v těchto oblastech. Následující informace uvádí literatura [22, 33, 37].

2.5.1 Trysové proudění mírných šířek

Někdy se nazývá také JTST polární fronty nebo podle [37] mimotropický JTST. Vzniká v pásmu mírných šířek a jeho poloha i ostatní charakteristiky jsou výrazněji proměnlivé, což se děje v důsledku cyklonální aktivity a jeho provázanosti s arktickou a polární výškovou frontou. Jeho osa se vyskytuje nejčastěji ve výškách mezi 8 až 11 km a průměrně dosahuje rychlostí 150 až 300 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. Většinou je orientováno zonálně s prouděním od západu na východ. Je však silně ovlivňováno Rossbyho vlnami. Proto se v závislosti na stavu výškové frontální zóny a tlakové aktivity atmosféry někdy objevují i proudění meridionální a vzácně dochází i k zonálnímu proudění opačným směrem. JTST mírných šířek je intenzivnější v zimě. Právě zde může nastat situace, kdy se tzv. JTST arktické fronty a JTST polární fronty spojí do jediného proudu a vznikne tak velmi silné proudění, jehož horizontální rozměr, především ve směru kolmém k ose, nabývá poměrně velkých rozměrů. Nad východním

Atlantikem se většinou rozděluje na dvě větve. Jedna směřuje na sever a sleduje tak arktickou frontu, druhá se stáčí na jih a postupuje směrem ke Středomoří.

2.5.2 Subtropické tryskové proudění

Poloha tohoto JTST je během sezóny velmi stabilní, ale s roční dobou se jeho poloha výrazně mění. V zimě leží obvykle mezi 35° až 50° severní šířky, v létě se přesouvá směrem k jihu do poloh mezi 25° až 32° severní šířky. Osa jeho proudění leží o něco výše než u JTST mírných šířek, a to v rozmezí od 11 do 14 km. Průměrné rychlosti jsou v rozmezí od 150 do 300 km·h⁻¹, avšak nad východními částmi kontinentů byly zjištěny i hodnoty blíží se 500 km·h⁻¹.

2.5.3 Nízkohladinové tryskové proudění

Jedná se o zvláštní jev, který se označuje zkratkou LLJ z anglického názvu low-level jet, neboli německy niedertroposphärischer Strahlstrom a slovensky nízkohladinové dýzové prúdenie [37]. Je definováno jako tryskové proudění v mezní vrstvě, tedy výrazné zesílení horizontálního proudění vzduchu ve spodní troposféře, nejčastěji v horní části mezní vrstvy atmosféry, které se projevuje lokálním maximem ve vertikálním profilu větru, ale většinou neodpovídá definici tryskového proudění podle WMO [49]. Jev je obvykle spojený s teplotní inverzí. Jeho rychlosti se blíží a někdy i přesahují definovanou hranici JTST 30 m·s⁻¹. Rozhodující podmínkou jeho vzniku je rychlá změna tření mezi přízemní vrstvou atmosféry a volnou atmosférou. Další podmínkou vzniku může být i orografické obtékání terénu, kdy při konvergenci proudění před údolím nebo bránou dochází k jeho zrychlování.

2.6 Meteorologické jevy spojené s tryskovým prouděním

Jak již bylo uvedeno v kap. 1, ve výpovědi pilota společnosti Pan American World Airways, v tryskovém proudění není pozorováno žádné význačné počasí, jako je tomu například u jevů spojených s výraznou konvekcí. Pro posádku letadla je tedy značně obtížné určit polohu JTST podle vizuálních vodítek, protože přesnější určení pomocí okem viditelných doprovodných jevů JTST v podstatě není možné. Současné technologie by zřejmě dovozovaly do letadla instalovat zařízení, které by měřilo rychlost proudění před letícím letadlem, takzvaný WPR (Wind Profiler Radar), ale není tomu tak a posádky jsou na přítomnost JTST v průběhu a blízkosti trajektorie jejich letů upozorňovány výhradně leteckými mapami a předpověďmi, ve kterých je JTST zaneseno. O těch bude dále pojednáno v kap. 2.8.

Je však možné, že se v okolí JTST vyskytuje počasí, které je jím do jisté míry ovlivňováno. Jedná se především o oblačnost, tedy viditelný jev, a také o tzv. turbulenci v bezoblačném prostoru, v letectví známou pod zkratkou CAT nebo WST.

2.6.1 Oblačnost

Oblačnost vyskytující se v prostředí, jehož vlastnosti ovlivňuje přítomné JTST, je charakteristická dvěma znaky. Prvním je horizontální rychlost postupu oblačnosti nějakým způsobem unášené JTST a druhým znakem je charakteristický druh a tvar oblačnosti. V souvislosti s rychlým prouděním lze pozorovat především oblačnost Cirrus (Ci) v podobě dlouhých pásů, Cirrus uncinus (háčkovitý – Ci un), Cirrocumulus (Cc) nebo také čočkovitou oblačnost Altocumulus lenticularis (Ac len). Oblačnost se vyskytuje podél směru proudění s příčným žebrováním. Tvoří tedy většinou poměrně dlouhý pás oblačnosti, který je dobře

rozeznatelný především pokud se v oblasti JTST již další výšková oblačnost nevyskytuje. Tato výšková oblačnost unášená JTST se také většinou pohybuje jiným směrem a rychleji než oblačnost přízemních atmosférických front. Za letu je však velmi obtížné sledovat smysl i rychlost nižší oblačnosti a tento způsob určení JTST je tedy spíše vhodný pro sledování ze země.

2.6.2 CAT – turbulence v bezoblačném prostoru

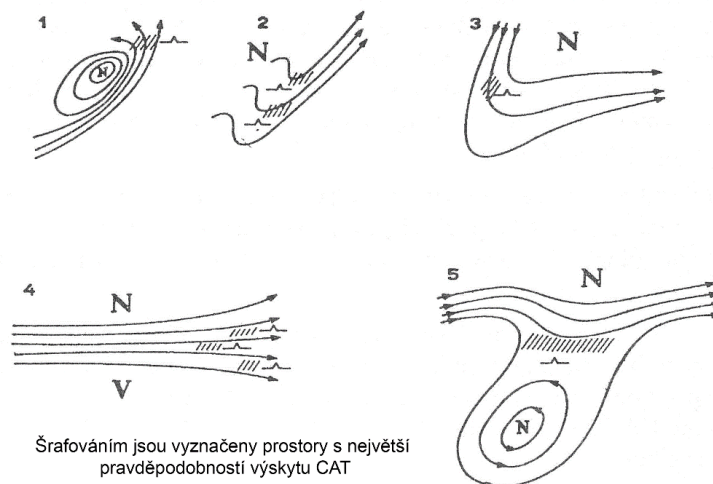
Českým názvem turbulence v bezoblačném prostoru, německy Turbulenz im wolkenfreien Raum [37], podle [24] také turbulence v bezoblačném ovzduší. V poslední době je možné setkat se také se zkratkou WST z anglického Wind Shear Turbulence. Jedná se o dynamickou turbulenci ve střední a horní troposféře, která není převážně doprovázena výskytem pro turbulenci charakteristickou oblačností. Podle novější literatury je možné definici rozšířit i o výskyt ve spodní stratosféře, především v blízkosti JTST. Označení CAT také není závislé na tom, zda se v oblasti skutečně oblačnost nebo případně kouřmo vyskytuje nebo ne. Je tedy možné shrnout, že pod označení CAT (nebo WST) spadá veškerá turbulence vyskytující se ve výškách nad 6000 m, která není přímo vytvářena konvekci a není spojena s výskytem konvekční oblačnosti. CAT tedy nemusí být vždy spojena s JTST [22]. Podle [10] bývá CAT nejvýraznější nad horskými oblastmi.

Příčinou CAT jsou výrazné změny charakteristik větru v blízkosti JTST. Bylo zjištěno, že silné stříhy větru a s nimi spojená turbulence se vyskytují ve vrstvách od sebe vzdálených méně než 300 m a často nejsou zjištěny standardními meteorologickými měřicími prostředky [10]. Někdy bývají turbulentní vrstvy proloženy klidnými vrstvami. Délka trvání CAT bývá často v řádech desítek minut (většinou 30 až 60 min), je ale možné, že trvání CAT nepřekročí ani 10 min. Záleží však také na rychlosti letu. Intenzita CAT je nejvíce spojena s nahuštěním zmiňovaných vrstev, přičemž celé její pásmo bývá poměrně ostře ohraničeno, a proto letadlo do CAT vletne a následně z něj i vylétne náhle, bez postupných náznaků turbulentního prostředí.

Podle [22] se CAT častěji vyskytuje nad oceány než nad pevninou, přičemž nejpravděpodobnější výskyt CAT spojené s JTST bývá na cyklonální straně proudění, kde je v průměru v asi 70 % případů slabá a ve zbývajících 30 % silná. Ve vertikálním průřezu je nejčetnější v oblasti 500 až 1000 m pod skloněnou tropopauzou na straně tlakové níže.

Velmi silné CAT jsou pro letadla nebezpečným jevem způsobujícím nadměrné zatěžování jejich konstrukce, což může vést až k jejich poškození za letu. Neméně významným problémem je i možná dlouhotrvající CAT, která způsobuje značné nepohodlí pro cestující a ztěžuje práci i soustředění posádky. U citlivějších lidí může vyvolat podráždění vestibulárního aparátu, celkovou rozladu, nevolnost až zvracení, závratě nebo i silné bolesti hlavy [11]. Z tohoto důvodu je snahou předpovídat výskyt CAT a vyhnout se místům s vysokou pravděpodobností výskytu silné CAT. Pokud však letadlo vletne do oblasti s CAT, není možné určit trať letu pro nejrychlejší možné opuštění této oblasti.

Pro předpověď výskytu CAT slouží především mapa maximálního větru a tropopauzy, mapy AT 300 až 200 hPa a vertikální řezy atmosférou. Z těchto zdrojů lze předpovědět polohu výskytu a intenzitu CAT. Pro výskyt CAT jsou příznivé především oblasti brázd nebo rozbíhání izohyps (delta JTST), oblasti změny směru větru v brázdě nízkého tlaku nebo oblasti hřebenů vysokého tlaku vzduchu. Intenzitu CAT lze předpovědět z gradientu změn těchto prvků. Na obr. 2.12 je znázorněno několik charakteristických míst výskytu CAT.



Obr. 2.12 Místa největší pravděpodobnosti výskytu CAT [22].

Velkou pomocí při určování výskytu CAT je hlášení posádek za letu především prostřednictvím hlasového spojení nebo systému SATCOM leteckým provozním službám, které je předávají pracovníkům letecké meteorologické služby. Ti informace zpracovávají a ihned tak upřesňují další vydávané zprávy nebo předpovědi, jako například mapy SWH, které budou popsány v kap. 2.8.3.

2.7 Měření tryskového proudění

Pro letecký provoz je důležité znát informace o poloze a rychlosti JTST ve vyšších vrstvách troposféry a ve spodních vrstvách stratosféry. Důležitost těchto informací bude objasněna v kap. 3 a dále. Tyto informace se získávají z výškových měření atmosféry, kterými je možné získat informace o směru a rychlosti větru v různých výškách, tedy tzv. výškovém větru. Podle [37] je výškový vítr definován jako vítr vanoucí v různých hladinách mezní vrstvy a volné atmosféry, měřených nejčastěji pomocí pilotovacích balónů nebo radiotechnických prostředků. Vztahuje se k určité hladině a počítá se jako průměrná hodnota z určité vrstvy, jejíž výška je obvykle dána stoupací rychlostí balónu za zvolený časový interval. Za výškový vítr jsou považovány údaje o větru již z hladin okolo 100 m nad zemským povrchem. Obecně lze tato měření rozdělit podle místa získávání informací na tři skupiny:

- měření prováděná ze země;
- letadlová měření;
- kosmická měření.

2.7.1 Měření prováděná ze země

Nejrozšířenějším druhem měření jsou měření prováděná ze země. Tato měření probíhají někdy i několikrát denně na asi 820 stanicích po celém světě. Mimo informací o orientaci vektoru větru v různých výškách poskytuje toto měření i další informace až do výšek asi 35 km [5].

Základním prostředkem tohoto měření je optický pilotovací teodolit. Jedná se o zařízení, kterým je možné sledovat stoupající pilotovací balón nebo pod ním zavěšenou sondu. Optickým pilotovacím teodolitem poté pracovník provádějící měření zaměřuje

stoupající těleso a zapisuje se nastavený azimut a výškový úhel. V případě registračního teodolitu jsou údaje zapisovány nepřetržitě a spojitě. Pro sledování jednoho tělesa je možné používat i více optických pilotovacích teodolitů zároveň. Hlavní nevýhodou optického měření je oblačnost, ve které se optické zaměřování stoupajícího tělesa stává velmi obtížné až nemožné. Z toho důvodu se později začaly používat radioteodolity.

Radioteodolit je zařízení principem použití velmi podobné optickému teodolitu, avšak v tomto případě neprobíhá zaměřování opticky, ale pomocí rádiových signálů. Radioteodolit je proto vybaven úzce směřovou anténou nebo soustavou antén, kterými je možné sledovat radiosondy vysílající signál. V případě komplexního měření vysílá radiosonda zároveň i kódované informace o naměřených hodnotách a předává je pozemní aerologické stanici.

Dalším způsobem měření je využití primárních nebo sekundárních (většinou leteckých) radarů, které sledují pohyb stoupajícího tělesa. V případě použití primárních radarů je nutné, aby byl k volnému stoupajícímu balónu připevněn objekt zajišťující dostatečný odraz energie, jehož část bude anténa primárního radaru schopna zachytit a radar bude moci s dostatečnou pravděpodobností určení cíle vyhodnotit. Pro měření výšky stoupajícího tělesa je nutné, aby bylo použito primárního radaru určujícího nejen vzdálenost a azimut, ale také výšku cíle, nebo lze použít radiosondy, která bude informace o své výšce předávat pozemní aerologické stanici. Při použití sekundárního radaru je nutné, aby volný balón nesl odpovídač sekundárního radaru módu C nebo módu S, neboť tyto módy poskytují informaci i o výšce cíle. V případě použití módu A je opět nutné, aby byla použita radiosonda, která informace o své výšce předává pozemní aerologické stanici.

V drtivé většině případů se sondy nepoužívají pouze pro měření výškového větru, ale také pro měření ostatních veličin, jako je teplota, tlak a vlhkost vzduchu, koncentrace ozónu, záření nebo elektrický potenciál. Proto se vždy využívá vhodné nejjednodušší kombinace jejich sledování.

Je zřejmé, že tato pozorování jsou značně oblastně omezena a jejich využití není možné nad rozsáhlými nepřístupnými oblastmi a především oceány. Z toho důvodu se používají transoceánské radiosondy. Jedná se o sondy nesené otevřeným nebo uzavřeným balónem obvykle měřící teplotu a tlak vzduchu, koncentraci ozónu a bilanci záření. Radiosondy nesené otevřeným balónem se používají nejčastěji pro lety v hladinách 300 až 200 hPa a doba jejich letu obvykle není delší než 15 dní. Radiosondy nesené uzavřeným balónem se používají v širokém rozsahu výšek. Jedná se o hladiny od 700 do 10 hPa a doba jejich letu se pohybuje až okolo 100 dní. Za tuto dobu obvykle dosáhnou několika desítek obletů Země.

Transoceánské radiosondy své signály vysílají do vzdálenosti asi 8000 km, a je proto možné jejich signál zachytit z většiny jejich možných poloh. Pro sledování těchto sond se dodnes používá síť řetězců globálního navigačního systému LORAN-C, přičemž sonda sama zjišťuje svoji pozici a odesílá ji spolu s údaji naměřenými ve stejný okamžik aerologickým stanicím. Do budoucna se však se systémem LORAN-C nepočítá a očekává se jeho úplné nahrazení GNSS. Moderní transoceánské radiosondy také využívají pro vysílání naměřených údajů meteorologických satelitů a tak je možné je sledovat téměř kdekoli nezávisle na jejich aktuální poloze.

V posledním desetiletí se u všech druhů radiosond hojně využívá GNSS. Systém je poměrně přesný ve všech výškách jejich použití a energeticky méně náročný než například použití radaru. Celý proces sledování je možné plně automatizovat a stává se (mimo závislosti na samotném GNSS) nezávislým, což jej značně usnadňuje. V případě transoceánských sond

je možné jejich pohyb neustále sledovat s mnohem větší přesností než při použití staršího systému LORAN-C.

Na obr. 2.13 je vyobrazena radiosonda RS92-SGP finské firmy Vaisala, která byla v roce 2010 v porovnávacím testu WMO vyhodnocena jako nejlepší vyráběná radiosonda pro meteorologické účely [28]. Tuto radiosonu v současnosti používá i ČHMÚ.



Obr. 2.13 Radiosonda Vaisala RS92-SGP [43].



Obr. 2.14 Pracovníci ČHMÚ vypouštějí radiosonu z pracoviště Praha – Libuš [2].

Pro přesná měření výškového větru prováděná ze země lze využít také systémů založených na odrazu energie od různých prvků v atmosféře, případně od výrazných skokových změn v jejích charakteristikách. Mezi tyto přístroje patří především SODAR (akustický lokátor), LIDAR (světelný nebo také laserový lokátor) a WPR. Oblast měření těchto přístrojů je však poměrně malá, ale použití především systému LIDAR výhradně pro měření výškového větru se předpokládá u nové generace meteorologických satelitů, kde již nebude omezen malou oblastí měření.

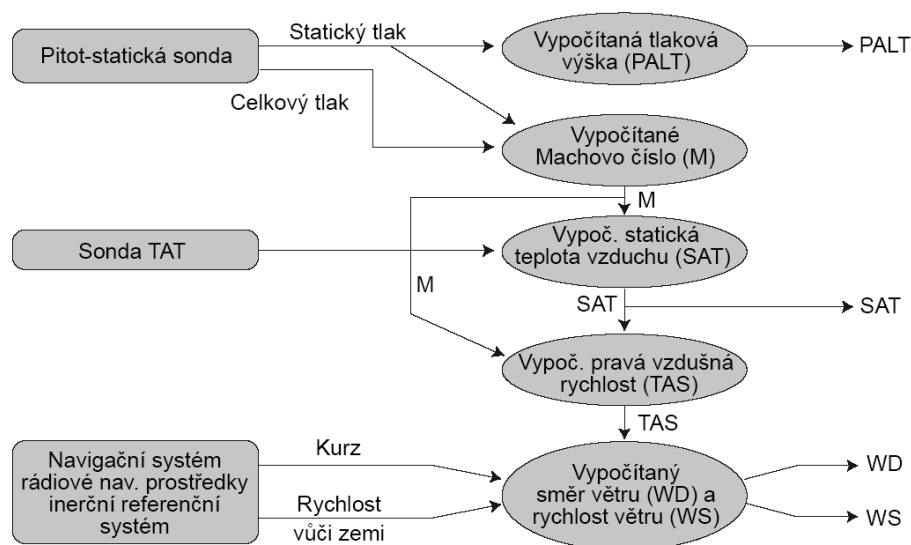
2.7.2 Letadlová měření

Pro určování výškového větru je také možné využívat letících letadel. Letadla sama znají svoji výšku, tlak a teplotu vzduchu, kurz (HDG) a traťovou rychlost (GS). Moderní dopravní letadla využívají svých ADC (Air Data Computer) ke zpracování těchto informací a výpočtu směru a rychlosti větru v reálném čase a aktuální pozici. Systém provozovaný WMO, který automaticky vybírá požadované informace a odesílá je využitím ADS-B, ADS-C nebo družicového přenosu k meteorologickému zpracování, se nazývá AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay). Tento systém je možné nainstalovat do jakéhokoliv adekvátně vybaveného letadla.

Systém využívá pitot-statického systému, sondy celkové teploty vzduchu (TAT) a navigačních systémů (radionavigační systémy, inerční navigační nebo referenční systémy).

Ze statického tlaku měřeného pitot-statickým systémem se vypočítá tlaková výška (PALT). Z celkového tlaku (z pitot-statického systému) a statického tlaku se určí Machovo číslo. Za použití celkové teploty vzduchu a Machova čísla se vypočítá statická teplota vzduchu (SAT). Poté se opět využije Machova čísla a SAT, ze kterých se určí vypočítaná

pravá vzdušná rychlost (TAS). Jestliže se poté TAS porovná s údaji z navigačních systému poskytujících údaje HDG a GS, je možné určit směr větru (WD) i rychlost větru (WS). Celý proces je znázorněn na obr. 2.15, kde jsou znázorněny i výstupy pro systém AMDAR [48].



Obr. 2.15 Diagram výpočtu směru a rychlosti větru prováděný ADC s výstupy pro AMDAR [48].

Do systému AMDAR je v současnosti zapojeno 39 leteckých společností, které jsou zapojeny do národních nebo regionálních programů systému AMDAR. Tyto letecké společnosti jsou uvedeny v abecedním pořadí v tab. 2.1.

Air Canada Jazz	Cathay Pacific	Jetstar Asia	Qantas Airways
Air France	China Southern Airlines	KLM	Scandinavian Airlines
Air New Zealand	Continental	Korean Air	Shandong Airlines
Air Nippon Airways	Delta Air Lines	Lufthansa Cargo	SkyTraders
Air Vanuatu	EasyJet Airline	Lufthansa CityLine	South African Airways
Alaska Airlines	Federal Express	Lufthansa Germanwings	Southwest Airlines
American Airlines	Finnair	Lufthansa Passage	Thomas Cook
Asiana Airlines	Japan Airlines	NAV Canada	United Airlines
Blue1	JetConnect (Qantas)	Northwest Airlines	United Parcel Service
British Airways	Jetstar Airways	Novair Scandinavia	

Tab. 2.1 Letecké společnosti zapojené do programu AMDAR [47].

2.7.3 Kosmická měření

Tato měření provádějí geostacionární meteorologické satelity a anglicky se nazývá cloud drift winds [48]. V současnosti je využití meteorologických satelitů pro měření výškového větru principiálně značně omezené. Aktuálně používané satelity měří výškový vítr na základě sledování směru a rychlosti pohybu oblačnosti. Pokud tedy v dané oblasti neexistuje oblačnost, není možné určit výškový vítr kosmickým měření.

Meteorologický satelit je vybavený snímkovací technologií, která umožňuje vytvoření satelitních snímků atmosféry. Pro měření výškového větru se používají především černobílé snímky a infračervené snímky, ze kterých je možné určit vrstevnatost oblačnosti v určité oblasti. Snímky jsou odesílány do určeného střediska, kde probíhá jejich rozbor a zpracování. Zpracování snímků lze provádět manuálně i automaticky. Obvykle se ale používá obou postupů a data vytvořená počítačem jsou poté zkontrolována a popřípadě upravena manuálně [21]. Při automatickém zpracování snímků počítačem se využívá zjednodušujícího algoritmu nazývaného pole prvního odhadu (first-guess field), který odhaduje prostor, do kterého se oblačnost mohla posunout na základě minulého měření. Takto se výrazně zkrátí čas zpracování snímků, protože počítač nemusí postupně prohledávat i oblasti s nízkou pravděpodobností nálezu nové pozice hledané oblačnosti. Počítač však v této úloze nedokáže plně nahradit schopnosti člověka a v situacích, kdy definovaný matematický postup není dostatečně komplexní, vytváří chybné korelace a z nich určované vektory větru. Proto výsledky vždy kontroluje a případně upravuje člověk manuálně.

Černobílé snímkování probíhá ve dvou půlhodinových periodách tak, aby bylo prováděno časově mezi infračerveným snímkováním. Měření je zatíženo několika významnými možnými chybami. Oblačnost mění svůj tvar, a proto je nutné uvažovat chybu kvůli nesprávné korelaci oblačnosti v jednotlivých snímcích, jak již bylo uvedeno výše. Oblačnost mohutnějšího vertikálního vývoje může být unášena v různých vrstvách různými směry, avšak toto měření sleduje pouze vrcholky oblaků. Někdy se proto měření v místech, kde byla z infračervených snímků zjištěna značně vrstevnatá oblačnost, vynechává. Oblačnost také může splývat s teplotním pozadím, a tak být pro senzory neviditelná [21, 48].

I přes tato omezení je při vhodných podmínkách na základě tohoto měření možné vytvářet 6 až 12 hodinové předpovědi. Konečný výsledek měření je ve formě asi 600 vektorů výškového větru připadající na každou polokouli. V problémových oblastech vyšších zeměpisných šířek, kde je již sklon pozorování geostacionárních satelitů nad rovníkem značný, může být měření upřesněno použitím stejného principu u vybavených meteorologických satelitů s polární dráhou letu.

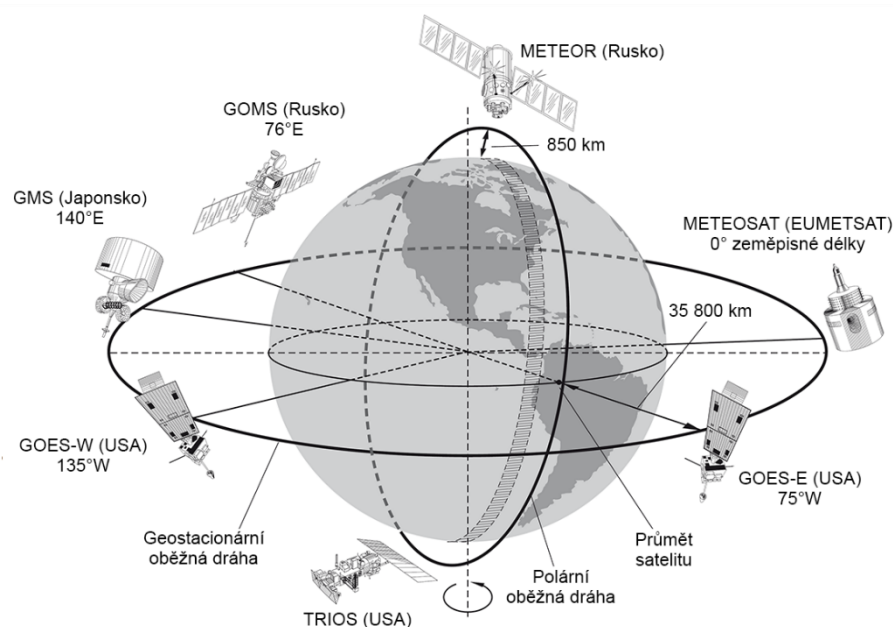
Do budoucna se plánuje pro kosmická měření výškového větru určování jeho vektorů ze sledování vodní páry nebo jiných atmosférických částic a jejich pohybů v atmosféře. Jak již bylo zmíněno výše, další generace meteorologických satelitů by měla být také vybavena systémem LIDAR určeným výhradně pro měření výškového větru.

Na obr. 2.16 jsou zobrazeny dva satelity s polární dráhou letu a pět geostacionárních meteorologických satelitů téměř rovnoměrně rozmístěných nad rovníkem, které pracují v globálním pozorovacím systému World Weather Watch (WWW), česky Světová služba počasí, provozovaném WMO. Geostacionární satelity obíhají ve výšce blízké 35 800 km AMSL, zatímco satelity s polární dráhou letu ve výšce kolem 850 km AMSL.

2.8 Interpretace tryskového proudění v leteckých mapách a předpovědích

JTST je důležitou součástí současného obchodního letectví. Především na dlouhých tratích je možné při správném využívání tohoto jevu zvýšit provozní výkony. Jak bude uvedeno dále, v řízených prostorech s hustým provozem je tento provoz organizován s ohledem na umístění i intenzitu JTST. Data získaná za použití měření uvedených v kap. 2.7 jsou interpretována v leteckých mapách a předpovědích, které je možné použít nejen při přípravě provozu a plánování letu, ale také na palubě letadla.

JTST není přímo uváděno v žádné letecké meteorologické zprávě, avšak meteorologická informace SIGMET může obsahovat výstrahu před silnou nebo mírnou turbulencí v oblačném nebo bezoblačném ovzduší [24]. Vzhledem k výšce uvedeného jevu je možné, že se jedná o turbulenci způsobenou JTST. Informace SIGMET má mimo případ výskytu vulkanického popela a tropické cyklony platnost 4 hodiny. Informaci SIGMET vydávají určené výstražné služby také pro oceánské vzdušné prostory.



Obr. 2.16 Meteorologické družice systému World Weather Watch provozovaného Světovou meteorologickou organizací [48].

2.8.1 Definované mapy ICAO

Zobrazení leteckých meteorologických map rozsáhlých oblastí, nad kterými se JTST vyskytuje, jsou definovány ICAO. Jedná se o 17 typů map, jejichž rozvržení je uvedeno v tab. 2.2. Tato rozvržení jsou zachována také v systému WAFS, tedy světového oblastního předpovědního systému, anglicky World Area Forecast System. Grafické znázornění všech uvedených oblastí je uvedeno v příloze 9.

2.8.2 Mapy IS

Letecká mapa zobrazující teploty a rychlosti větru je označována zkratkou IS. Český název je mapa výškového větru a teploty ve standardní izobarické hladině [24]. Jedná se o předpověď těchto veličin v grafické podobě, která se vydává v časech 00Z, 06Z, 12Z a 18Z, tedy každých 6 hodin, a zobrazuje situaci s předstihem 6, 12, 18, 24, 30 a 36 hodin pro FL050, FL100, FL180, FL240, FL300, FL340, FL390, FL450 a FL600. Na mapě se vítr označuje standardním značením, kterým jsou šipky s opeřením a praporky, kde je směr větru znázorněn natočením šipky vzhledem k severu a jeho rychlost je kódována kombinací pérok a praporků. V tomto značení představují praporky rychlost 50 kt, péroka 10 kt a poloviční péroka 5 kt. Hodnotu rychlosti větru lze získat sečtením hodnot všech znaků umístěných na šipce. Příklad mapy IS je uveden v příloze 1.

Oblast ICAO	Rozsah zeměpisné šířky / délky nebo střední poledník	Zobrazená oblast	Rozsah FL SWH	Typ zobrazení
A	65N - 50S / 120W - 25W	Severní Amerika	250-630	Merkatorova mapa
B	-	střední Atlantik	250-630	Merkatorova mapa
B1	50N - 40S / 125W - 25E	Amerika až Afrika	250-630	Merkatorova mapa
C	76N - 45S / 65E - 31W	Evropa až Afrika	250-630	Merkatorova mapa
D	65N - 28S / 133E - 15W	Asie	250-630	Merkatorova mapa
E	45N - 47S / 180E - 24E	Asie až Austrálie	250-630	Merkatorova mapa
F	45N - 45S / 105E - 100W	Pacifik	250-630	Merkatorova mapa
G	75E	Asie	250-630	PSP ¹
H	45W	severní Atlantik	250-630	PSP ¹
I	155W	severní Pacifik	250-630	PSP ¹
J	142W	jižní pól	250-630	PSP ¹
K	97E	jižní Indický oceán	250-630	PSP ¹
M	70N - 10S / 100E - 110W	Pacifik	250-630	Merkatorova mapa
NAT	20W	severní Atlantik	100-450	PSP ¹
EURO	10E	Evropa	100-450	PSP ¹
MEA	44N - 10N / 17E - 70E	Střední východ	100-450	Merkatorova mapa
ASIA SOUTH	36N - 0 / 53E - 108E	jižní Asie	100-450	Merkatorova mapa

Tab. 2.2 Definovaná zobrazení map ICAO (¹polární stereografická projekce) [18].

2.8.3 Mapy SWH

Zřejmě nejpoužívanější mapou pro získání informací o JTST je mapa význačného počasí ve vysokých hladinách (tedy nad FL250), pro kterou se používá zkratka SWH (Significant Weather – High level chart). Tato mapa je založena na globální předpovědi jevů význačného počasí SIGWX, jakožto součásti WAFS. V mapách SIGWX je mimo jiné jevy význačného počasí uvedena také silná a mírná turbulence (CAT) a osa maximální rychlosti JTST včetně naznačení letové hladiny, ve které se tato osa v různých oblastech nachází, a samotné rychlosti proudění. Jednotlivé jevy význačného počasí a jejich symboly používané pro SIGWX jsou uvedeny v tab. 2.3. Další symboly a značky včetně značení JTST na mapě SWH jsou uvedeny v tab. 2.4, kde je znázorněno také značení změny parametrů JTST podél osy maximální rychlosti proudění.

Na rozdíl od map IS, které se vydávají pro každou definovanou letovou hladinu zvlášť, se mapa SWH vydává vždy pro určitý rozsah hladin. Rozsah hladin je u jednotlivých definovaných map ICAO uveden v tab. 2.2. Všechny mapy SWH oblastí uvedených v tab. 2.2 jsou vydávány v 00Z, 06Z, 12Z a 18Z, tedy každých 6 hodin (stejně jako mapy IS).

Předpovědi SIGWX jsou kromě grafického zpracování v podobě map vydávány i jako předpovědi textové. Interpretace informací z textové předpovědi je pro člověka ovšem výrazně složitější, než při použití mapy, a proto se používají především v počítačových systémech plánování letů a řízení letového provozu.

Příklad mapy SWH zobrazující oblast H podle ICAO je uveden v příloze 2. Jak již bylo zmíněno, mapy jsou vydávány v určitý čas a zobrazují situaci s určitým předstihem. Každá vydaná mapa musí obsahovat tyto časové údaje, stejně jako i další parametry, pro které je sestavena a publikována.

	Tropická cyklóna (Tropical cyclone)		Mrholení (Drizzle)
	Silná čára instability* (Severe squall line)		Děšť (Rain)
	Mírná turbulence (Moderate turbulence)		Sněžení (Snow)
	Silná turbulence (Severe turbulence)		Přeháňka (Shower)
	Horská vlna (Mountain waves)		Kroupy (Hail)
	Mírná námraza (Moderate aircraft icing)		Rozsáhlá oblast se zviřeným sněhem (Widespread blowing snow)
	Silná námraza (Severe aircraft icing)		Silný písečný nebo prachový zákal (Severe sand or dust haze)
	Rozsáhlá oblast s mlhou (Widespread fog)		Rozsáhlá oblast s písečnou nebo prachovou vichřicí (Widespread sandstorm or dust storm)
	Radioaktivní látky v atmosféře** Radioactive materials in the atmosphere		Rozsáhlá oblast se zákalem (Widespread haze)
	Vulkanická erupce*** (Volcanic eruption)		Rozsáhlá oblast s kouřem (Widespread mist)
	Zakrytí hor (Mountain obscuration)		Rozsáhlá oblast s kouřem (Widespread smoke)
			Namrzající srážky**** (Freezing precipitation)

Tab. 2.3 Jevy význačného počasí a jejich symboly pro SIGWX [24].

	Přízemní poloha studené fronty (Cold front at the surface)		Poloha, rychlost a hladina max. větru (Position, speed and level of max. wind)
	Přízemní poloha teplé fronty (Warm front at the surface)		Čára konvergence (Convergence line)
	Přízemní poloha okluzní fronty (Occluded front at the surface)		Hladina nulové izotermy (0°C) (Freezing level)
	Přízemní poloha kvazistacionární fronty (Quasi-stationary front at the surface)		Zóna intertropické konvergence (Intertropical convergence zone)
	Nejvyšší hodnota tropopauzy (FL) (Tropopause High)		Stav moře (State of the sea)
	Nejnižší hodnota tropopauzy (FL) (Tropopause Low)		Teplota hladiny moře (Sea-surface temperature)
	Výška tropopauzy (FL) (Tropopause Level)		Rozsáhlá oblast se silným přízemním větrem* (Widespread strong surface wind)

Šipky indikují maximální vítr v JTST a letovou hladinu, ve které se vyskytuje. Pokud je rychlost větru 120 kt nebo vyšší, umístí se letové hladiny, mezi kterými jsou rychlosti větrů vyšší než 80kt pod hladinu maximálního větru. U tohoto příkladu jsou rychlosti větru vyšší než 80 kt mezi hladinami FL 220 a FL 400.

Silná čára vytyčující osu JTST začíná/končí v místě, kde je předpovídaná rychlost 80 kt.

|| Symbol se použije vždy, dochází-li ke změně výšky osy JTST o +/-3 000 ft nebo ke změně rychlosti o +/-20 kt.

* Tento symbol se vztahuje k rozsáhlé oblasti s rychlostí větru přesahující 30 kt.

Tab. 2.4 Obecné značky a symboly na mapách SIGWX [24].

3 VLIV TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ NA LETOVÝ PROVOZ

Stejně jako každé jiné proudění i JTST působí na letadla, která se v tomto proudění nacházejí. Z důvodu korektnosti je nutné v dalším textu uvažovat pouze jediný druh letadla, a to letoun. Letoun je podle [23] letadlo těžší než vzduch s pohonem, vyvozující vztlak za letu hlavně z aerodynamických sil na plochách, které za daných podmínek letu zůstávají vůči letadlu nepohyblivé. Do této kategorie spadají veškerá dnes provozovaná letadla v letecké obchodní přepravě nasazovaná na transoceánské lety.

3.1 Vliv tryskového proudění na letové výkony

Letouny se za letu pohybují ve vzduchu. Vzduch je tekuté prostředí a každé těleso umístěné v tomto prostředí je jím ovlivňováno. Jestliže vane vítr, tedy existuje-li jakékoliv proudění vzduchu s horizontální složkou pohybu včetně JTST, znamená to, že se toto prostředí vzhledem k zemi pohybuje. V tomto případě je nutné uvažovat pohyb tělesa, tedy i letounu, vzhledem k tomuto prostředí. Pohyb letounu v tomto prostředí potom není totožný s pohybem tohoto letounu vůči zemi.

Tato úvaha je nutná, neboť veškeré aerodynamické charakteristiky letounů jsou závislé na prostředí, ve kterém se pohybují. Je tedy zřejmé, že při pohybu letounu určitým směrem v prostředí, které se vůči zemi pohybuje stejným směrem, bude letoun vůči zemi urychlen o rychlost samotného prostředí. V případě, že se letoun a prostředí pohybují směrem opačným, bude letoun vzhledem k zemi o rychlost prostředí zpomalen. Jestliže se prostředí nepohybuje stejným nebo opačným směrem jako letoun, existuje, vyjma případu kdy se prostředí nepohybuje vůbec, vždy také boční složka proudění. V tomto případě je letoun snášen po směru této boční složky, a pro dosažení požadované trati je nutné, aby tento snos vylučoval. To se za letu provádí natočením podélné osy letounu o určitý úhel proti směru proudění. Tento úhel se nazývá úhel snosu, anglicky drift angle. V tomto případě je část tahu motorů využita pro vyloučení snosu, což má za následek snížení traťové rychlosti a s ním spojené zvýšení spotřeby.

V letectví je proto nutné uvažovat následující vektory popisující pohyb letounu:

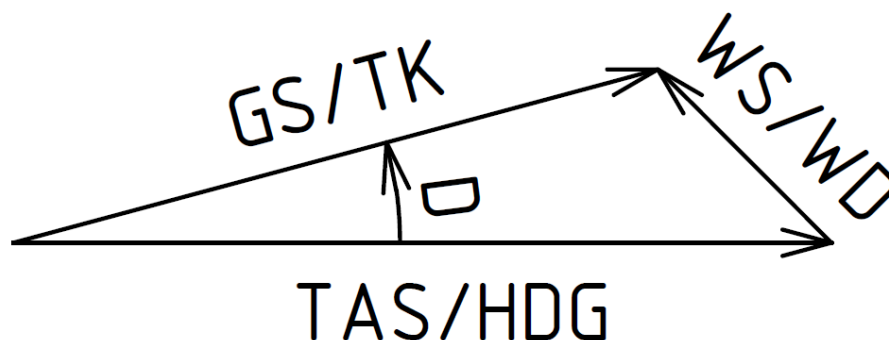
- **TAS/HDG** – vektor pravé vzdušné rychlosti (TAS – true air speed) představuje skutečnou rychlost letounu vůči prostředí, ve kterém se pohybuje (vzduchu), a směr podélné osy letounu (HDG – heading);
- **WS/WD** – vektor větru představuje rychlost větru (WS) a směr větru (WD);
- **GS/TK** – traťová rychlost (GS – ground speed) představuje skutečnou rychlost letounu vůči zemi a směr trati, kterou letoun vůči zemi letí (TK – track).

Z těchto vektorů lze sestavit rychlostní trojúhelník podle vzorce 3.1:

$$\overrightarrow{TAS/HDG} + \overrightarrow{WS/WD} = \overrightarrow{GS/TK} \quad (3.1)$$

Použití vzorce 3.1 je znázorněno na obr. 3.1, kde je písmenem D označen úhel snosu.

Ze vzorce 3.1 i obr. 3.1 je zřejmé, že pohybující se prostředí ovlivňuje rychlost i směr pohybu letounu vůči zemi. Čím větší je rychlost větru, tím bude toto ovlivnění větší. Jak bylo uvedeno v kap. 1, JTST je proudění s rychlostí alespoň $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Jedná se tedy o poměrně rychle se pohybující prostředí a jeho vliv na pohyb letounů vůči zemi bude proto také poměrně velký.



Obr. 3.1 Rychlostní trojúhelník [38].

V kap. 2.5 bylo uvedeno, že JTST má převážně západní směr proudění. Při letu přes Atlantský oceán to tedy znamená, že je snaha tohoto jevu využívat při letech ze severní Ameriky do Evropy. Dochází zde ke zvýšení hodnoty GS, zkrácení letového času a tím i ke snížení spotřeby paliva a redukci škodlivých látek vypouštěných do ovzduší. Naopak při letu z Evropy do severní Ameriky je vhodné se JTST v co možná největší míře vyhnout, neboť při letu proti JTST dochází k opačným jevům. Snižuje se hodnota GS, prodlužuje se letový čas, zvyšuje se spotřeba paliva i množství škodlivých látek. Snahou tedy je toto zhoršení výkonů minimalizovat. Pro úplnost je vhodné dodat, že při současných cenách leteckého paliva dochází i ke snížení nákladů a provedení letu.

3.2 Oceánské vzdušné prostory

V této práci bude dále probrán pouze systém oceánských prostorů mezi severní Amerikou a Evropou, tedy oblast severního Atlantského oceánu, která se označuje jako region NAT, z anglického North Atlantic [severní Atlantik]. Letový provoz mezi Evropou a severní Amerikou je poměrně hustý. Jedná se především o pravidelné lety mezi severní Amerikou a Evropou, případně Asií. Je však nutné počítat i s nepravidelnými dopravci a individuálním provozem. Díky uzavření bilaterálních a multilaterálních dohod, především mezi USA a EU v roce 2007, se hustota leteckého provozu ještě zvýšila.

Podle [15] je NAT nejpoužívanější oceánský vzdušný prostor na světě. V roce 2012 jej využilo přes 460 000 letů, což je průměrně asi 1260 letů denně, ve špičkách i přes 100 letů za hodinu. Tato skutečnost klade velké nároky na organizaci provozu. Proto se v prostoru NAT využívá systém OTS (anglicky Organised Track System), který bude důkladně popsán dále. Především je nutné zajistit dostatečnou bezpečnost, ale také plynulost a hospodárnost provozu. Transatlantické lety se provádějí po tratích, které z většiny procházejí prostory bez radarového pokrytí. Komunikace na standardních VHF frekvencích se nad oceánem stává obtížnou až nemožnou a je nutné přecházet na HF frekvence, které sice zajistí větší dosah přenosu, ale také dojde ke značnému snížení jeho kvality.

I když v posledním desetiletí dochází k zavádění nových komunikačních systémů, jako je CPDLC nebo ADS-C, které budou přiblíženy v kap. 3.2.3, letouny, které jimi nejsou vybaveny, stále oznamují svoji polohu hlasovou komunikací. Poloha letounů je určována pomocí systémů LRNS (Long Range Navigation Systems [navigační systémy dalekého dosahu]), přičemž i na ostatní avionické vybavení letounů jsou kladeny zvýšené nároky [16]. Tento druh provozu si kvůli jeho geografické rozloze a složitosti, včetně realizace technického zabezpečení při zachování žádoucích pravděpodobností minimálních rozstupů,

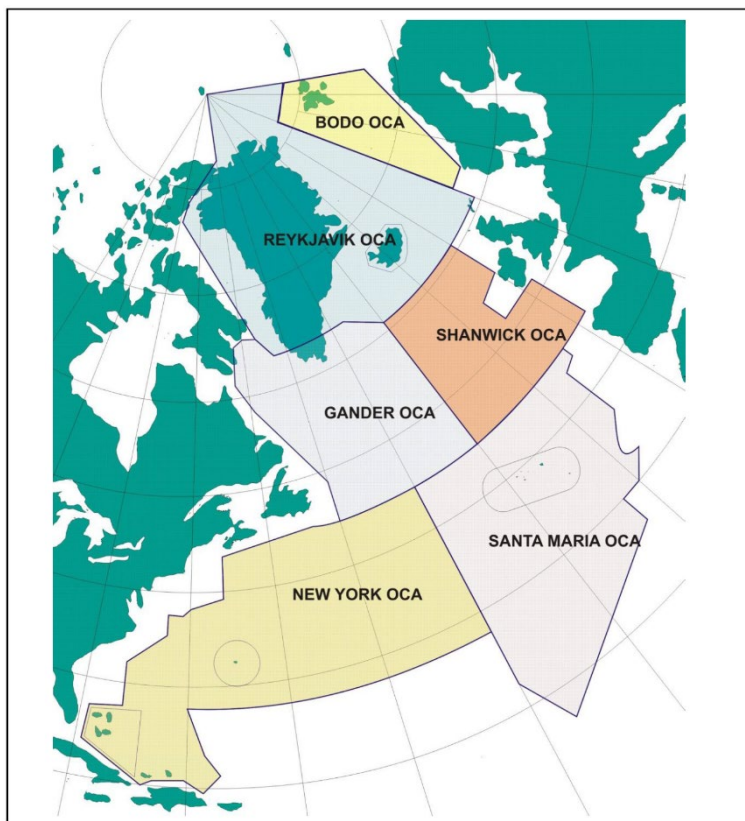
bezporuchového provozu a dalších, vyžaduje spolupráci několika států, které se také podílejí na provozu tohoto systému.

3.2.1 Prostory OCA regionu NAT

Stejně jako nad pevninou je obchodní letecká přeprava nad oceánem prováděna výhradně v řízených prostorech. I nad oceány proto byly pro tento provoz definovány řízené prostory. Tyto prostory se označují zkratkou OCA z anglického Oceanic Control Area, kde probíhá řízení oceánského letového provozu. I když způsob řízení odpovídá standardním postupům podle annexů ICAO, existuje zde několik charakteristických prvků, které budou popsány dále. Oficiální materiály s informacemi o provozu v oceánských vzdušných prostorech jsou tyto:

- související Annexy ICAO (především Annex 2 a Annex 11);
- PANS/ATM Doc 4444 (Postupy pro letové navigační služby / Uspořádání letového provozu);
- RSP Doc 7030 (Regionální doplňkové postupy);
- série publikací NAT Doc vydaných ICAO EUR/NAT Office;
- Publikace AIP a aktuální NOTAMy příslušných států;
- další dokumenty vydané poskytovateli ATS v OCA a sousedících prostorech.

Podle [15] bylo v oblasti severního Atlantského oceánu (NAT) zřízeno 6 prostorů OCA, jak je vyobrazeno na obr. 3.2. Službu řízení letového provozu v každém OCA poskytuje k němu přidělené středisko řízení oceánského letového provozu označované zkratkou OAC, případně OACC z anglického Oceanic Area Control Centre. Každý prostor OCA je ohraničený množstvím definovaných vstupních a výstupních bodů sloužících pro organizaci a řízení letového provozu.



Obr. 3.2 Šest prostorů OCA regionu NAT [15].

3.2.2 Hlasová komunikace v oceánských prostorech

V následující tab. 3.1 jsou uvedeny názvy jednotlivých OCA, které jsou na obr. 3.2, a jim odpovídající OACC, které v dané oblasti poskytuje službu řízení letového provozu včetně volacího znaku. Tato stanoviště nemusejí být umístěny na stejném místě jako samotná rádiová stanice pro HF frekvence. Z provozního hlediska je důležité uvést, že při použití HF frekvencí piloti nemusejí komunikovat s ATCo v OACC, ale s operátorem HF rádiové stanice, který až následně předává informace do OACC. Tento operátor nemá žádné pravomoci ani odpovědnost, kterými disponují ATCo.

Mimo stanice uvedené v tab. 3.1 jsou dále na frekvence prostoru NAT naladěny další dvě stanoviště. Jedná se o Canarias Radio provozované ACC Canarias a Arctic Radio, které obsluhuje ACC Edmonton, Winnipeg a Montreal [14].

OCA	Přidělené ACC/OACC (město, stát)	Volací znak (callsign)
Bodø	Bodø (Bodø, Norsko)	Bodø Radio
Gander	Gander (Gander, Kanada)	Gander Radio
New York	New York (New York, USA)	New York Radio
Reykjavik	Reykjavik (Reykjavik, Island)	Iceland Radio
Santa Maria	Santa Maria (Santa Maria, Portugalsko)	Santa Maria Radio
Shanwick	Shanwick (Prestwick, Velká Británie)	Shanwick Radio

Tab. 3.1 Stanoviště OACC jednotlivých OCA regionu NAT [14].

V prostorech OCA regionu NAT není možné v celém prostoru udržovat rádiový kontakt použitím VHF frekvencí, které jsou v letectví standardně používány. Důvodem je malý dosah takového přenosu (grafické znázornění v příloze 7). ITU rozhodlo o přidělení 24 frekvencí v pásmu HF, které jsou určeny výhradně pro použití v regionu NAT. Je nutné uvést, že přenos rádiových vln v pásmu HF není zdaleka tak kvalitní jako přenos v pásmu VHF. Je to způsobeno především jevem označovaným jako fading, nebo česky únik. Ten je způsoben tím, že se vlny při šíření na velké vzdálenosti dostávají do místa příjmu po několika trajektoriích, které mají různé délky. Signály se pak v místě příjmu fázově skládají a výsledná intenzita přijímaného signálu se může výrazně měnit [45]. Tento jev se výrazněji projevuje u rádiových vln větších délek.

Změny trajektorií jsou způsobeny především odrazem vlny od překážky nebo tzv. refrakcí, kdy se vlna ohne na rozhraní dvou různých prostředí. Může se jednat o přechod pobřeží (moře-souš a naopak – pobřežní refrakce), změny v teplotě, tlaku a vlhkosti vzduchu (atmosférická refrakce někdy nazývaná také troposférická refrakce) a také při ovlivnění ionosférou (ionosférická refrakce) [14]. Ionosféra výrazně ovlivňuje šíření signálu v pásmu HF vln a je možné pozorovat tzv. noční efekt, který souvisí se změnami ve struktuře ionosféry především při svítání a soumraku, kdy se sice prodlužuje přenosová vzdálenost, ale také se výrazněji projevuje fading.

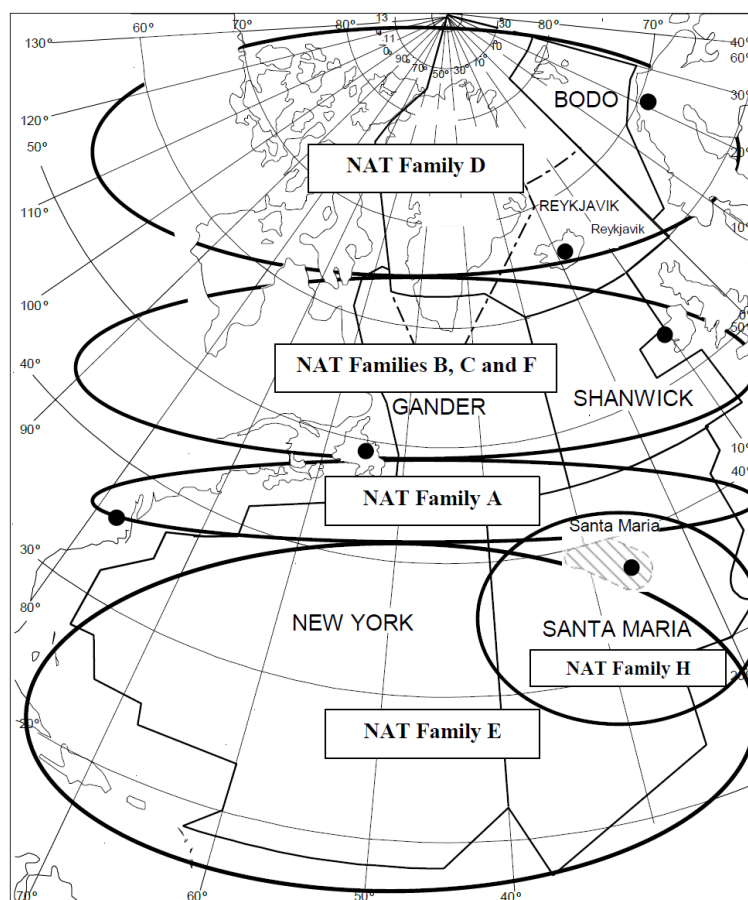
Pro snazší řízení stanovišť OACC bylo zřízeno sedm tzv. rodin NAT HF frekvencí (anglicky NAT HF Families), kde každá rodina obsahuje kombinaci několika frekvencí z celkem 9 frekvenčních pásem, mezi které je rozděleno zmíněných 24 přidělených HF frekvencí. Tyto rodiny frekvencí jsou sestaveny tak, aby dokázaly co nejlépe obsloužit vybrané prostory v průběhu celého dne. Kvůli změnám v ionosféře je totiž maximální použitelná frekvence v noci mnohem nižší než během dne. Obecně platí, že se v regionu NAT

používají ve dne HF frekvence vyšší než 8 MHz a v noci frekvence nižší než 8 MHz. Dále jsou rodiny vybrány podle oblastí použití tak, aby pokrývaly vždy určitou kombinaci prostorů OCA nebo geografických poloh a letoun letící po trase křížující určitou kombinaci nemusel měnit rodinu frekvencí. Související OACC některé z těchto frekvencí sdílejí a fungují tak dohromady jako systém. Rozdělení jednotlivých frekvencí do rodin je uvedeno v tab. 3.2. Pro zjednodušení posádkám letadel je však každému letadlu přidělena jen primární a sekundární frekvence [14, 16].

NAT rodina frekvencí	Frekvence [kHz] rozdělené do frekvenčních pásem [MHz]								
	3	3,5	4,7	5,6	6,6	9	11,3	13,3	18
A	3016			5598		8906		13306	17946
B	2899			5616		8864		13291	17946
C	2872			5649		8879	11336	13306	17946
D	2971		4675			8891	11279	13291	17946
E	2962				6628	8825	11309	13354	17946
F		3476			6622	8831		13291	17469
H		3491			6667				

Tab. 3.2 Používané rodiny frekvencí a frekvence ve frekvenčních pásmech regionu NAT [14].

Piloti musejí podávat pravidelná hlášení o poloze nad body uvedenými v letovém plánu, nebo na určitých polednících (pokud je to vyžádáno od ATCo), každou hodinu, nebo při změně meteorologických podmínek. Posádka má také povinnost ohlásit změnu času průletu určité pozice, jestliže se liší od dříve ohlášeného času o více než 3 minuty. Také je žádoucí, aby všechna letadla v prostorech udržovala stálou poslechovou hlídku na nouzovém kmitočtu 121,5 MHz a na kmitočtu určeném pro komunikaci mezi letadly 123,45 MHz [16].



Obr. 3.3 Geografické použití rodin frekvencí regionu NAT [14].

Před rokem 2010 byla všechna letadla povinna při hlášení předat také údaje o rychlosti a směru větru a teplotě okolního vzduchu. V současnosti tuto povinnost již nemají, avšak stále by měly být hlášeny turbulence a jiné význačné počasí podle uvážení posádky.

3.2.3 Další prostředky komunikace

Mezi další prostředky komunikace patří prostředky hlasové komunikace založené na datovém přenosu a prostředky datové komunikace. Tyto systémy zde však budou uvedeny pouze okrajově.

Hlasová komunikace může být prováděna za použití systému SELCAL (z anglického selective calling system, podle [25] systém výběrového volání). Tato technologie se využívá v případě, že je na HF frekvenci výrazný šum. Jestliže je letoun vybaven tímto zařízením, je možné zvukový výstup HF přijímače ztlumit. V případě, že chce operátor s letounem mluvit, zadá do systému SELCAL čtyřmístný kód, který odpovídá danému letadlu, případně skupině letadel. Systém SELCAL tento kód dopraví pomocí přiděleného kmitočtu na palubu letadla a posádka tak získá informaci o tom, že s ní chce operátor mluvit a zesílí výstup HF přijímače, nebo se výstup zapojí a poté i odpojí automaticky. SELCAL kód letounu se vždy uvádí v letovém plánu a také se provádí zkouška funkčnosti systému při navázání spojení [1, 17].

Letadla mohou být také vybavena systémem SATCOM (z anglického satellite communication, podle [25] komunikace prostřednictvím satelitu). Jedná se o systém pro přenos hlasu a dat (včetně televize, internetu ad.) prostřednictvím komunikačních satelitů. Subsystem přenášející hlas se někdy nazývá SATVOICE nebo SATCOM Voice [19]. V souvislosti s regionem NAT se jedná především o satelity společností Inmarsat nebo Iridium. Společnost Inmarsat v současnosti provozuje 11 satelitů s geostacionární dráhou letu (asi 35 800 km AMSL), zatímco společnost Iridium provozuje soustavu 66 satelitů na nízkém zemském orbitu (LEO) ve výšce 780 km AMSL. V letectví je tento systém schopný plně nahradit HF komunikaci v prostoru NAT, jelikož všechny OACC jsou tímto systémem vybaveny.



Obr. 3.4 Dedikovaný přístroj systému CPDLC [39].

Systém CPDLC (podle [25] Controller-Pilot Data Link Communications, česky komunikace datovým spojem mezi řídicím a pilotem) zabezpečuje přenos vysílání, které by bylo jinak prováděno hlasem, textovou formou. Posádky a operátoři včetně ATCo tak nemusejí být zatíženi nedokonalým a někdy až nečitelným hlasovým vysíláním. Přijímané zprávy jsou zobrazovány na dedikovaném přístroji nebo přímo v rozhraní FMS (CDU), ve kterém je možné zprávy také vytvářet a odesílat jak v daných přednastavených frázích, tak i v otevřené řeči. Podle [17] systém pracuje na základě využití infrastruktury systému

ACARS [4]. Rozhraní CPDLC je zobrazeno na obr. 3.4, kde je vyobrazena zpráva od ATC střediska a stanoviště označeného CZQX CTL z času 1314Z, aby posádka v čase 1328Z navázala spojení s Gander CTR na frekvenci 128,175 MHz. Zároveň je automaticky vybrána odpověď WILCO a označena pro potvrzení posádkou. WILCO je podle [26] radiotelefonní zkratkou pro „provedu“. Po potvrzení výběru posádkou je tato odpověď vyslána zpět do střediska ATC. Posádka však může přednastavenou zprávu odpovědi zrušit a zadat vlastní zprávu, kterou systém následně odešle.

Dalším rozšířeným systémem je ADS-C (podle [25] Automatic Dependend Surveillance – Contract, česky Automatický závislý přehledový systém – kontrakt). Tato technologie přenáší signál pomocí rádiových signálů. ADS-C slouží k automatickému hlášení z letadla. Stejně jako systém CPDLC i ADS-C pracuje na základě využití infrastruktury systému ACARS. V těchto hlášeních jsou obsaženy tyto informace: HDG, TAS, TK, GS, předpokládaný profil letu, meteorologická data, minimální a maximální předpokládaný ETA, rozšířený předpokládaný profil letu, především však poloha letadla [9]. Tímto způsobem mohou být nahrazena klasická hlášení hlasovou komunikací. Systém ADS-C pracuje na principu odpovědi nebo automatické odpovědi vyvolané požadavkem střediska řízení letového provozu. Středisko si může nechat tímto systémem automaticky zasílat informace například každou minutu [17].

Posledním systémem je ACARS. V současnosti se jedná o zřejmě nejvšestrannější systém pro komunikaci letadla se zemí a využívá veškeré letecké datové infrastruktury v celosvětovém měřítku. Systém zajišťuje přenos libovolných automatických nebo manuálně volených zpráv z letadla k poskytovatelům ATS nebo operačním střediskům provozovatelů a naopak. Přitom využívá výše zmiňované sítě satelitů společnosti Inmarsat a společnosti Iridium, standardních VHF stanic, HF DL stanic zajišťujících přenos datových zpráv v pásmu HF, případně stanic VDL Mode 2 zajišťujících přenos dat v pásmu VHF. VDL Mode 2 poskytuje asi 10krát rychlejší přenos zpráv než při použití standardních VHF stanic. Systém ACARS je však variabilní a může být nainstalován i v letadle, které není vybaveno všemi uvedenými druhy spojení. Tento konkrétní systém se však nevyužívá pro přenos zpráv o poloze letadla.

V případě, že je letoun vybaven těmito technologiemi, mohou posádky očekávat při prvním kontaktu s HF rádiovou stanicí obdržení textové zprávy „VOICE POSITION REPORTS NOT REQUIRED“ [Hlasová hlášení o poloze nejsou vyžadována] [16].

Posádky letadel vybavených systémem SATVOICE, CPDLC a ADS-C jsou však stále povinné používat i SELCAL nebo udržovat stálou poslechovou hlídku na určených HF frekvencích.

Letadla využívající OTS mezi FL360 a FL390 včetně musí být od roku 2013 vybavena CPDLC i ADS-C (tedy systémy FANS 1/A). Všechna OACC regionu NAT jsou v současnosti vybavena oběma systémy.

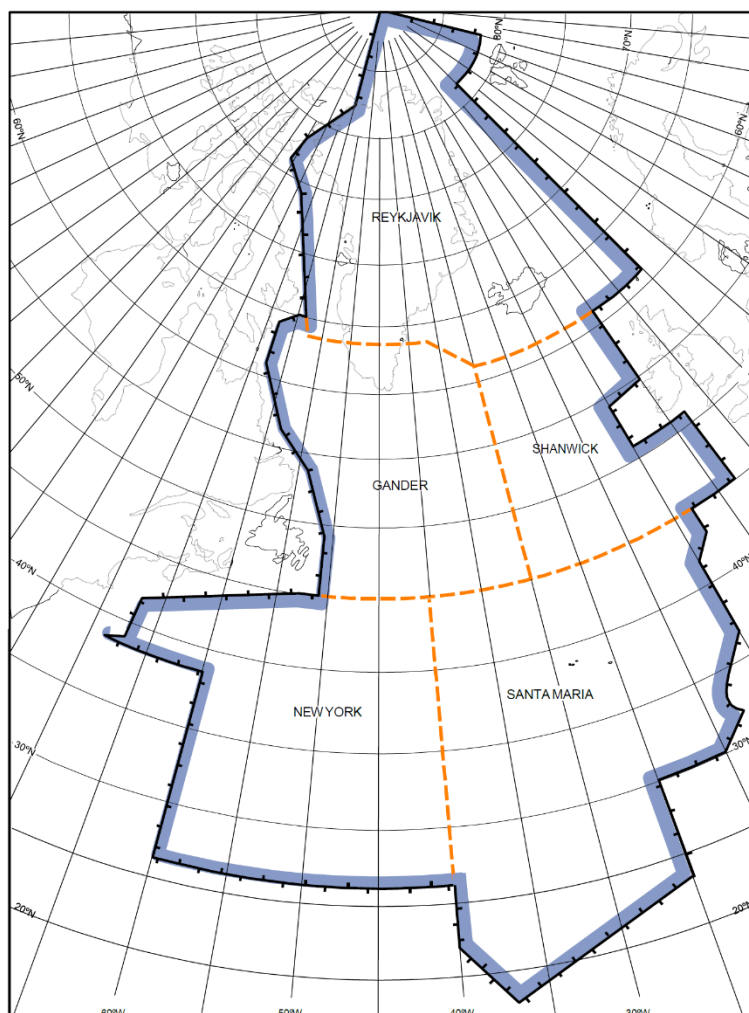
Dalším systémem je ADS-B. Tento systém se začal v některých částech regionu NAT přilehlých ke kontinentům omezeně využívat v roce 2013. Blíže bude popsán v kap 5.1.

3.2.4 Prostory NAT MNPS

Z důvodu vzrůstající hustoty provozu byl v prostorech regionu NAT zaveden systém MNPS (Minimal Navigation Performance Specifications) od FL285 do FL420 včetně. Tyto prostory jsou definovány zejména tím, že se zde aplikují postupy RVSM (Reduced Vertical Separation

Minimum), kde jsou od FL290 do FL410 včetně redukovány minimální vertikální rozstupy letadel z 2000 ft (asi 660 m) na 1000 ft (asi 330 m). To klade zvýšené nároky na avionické vybavení a systémy letadel, které musí být výrazně přesnější a spolehlivější. Do prostoru NAT MNPS, který je uveden na obr. 3.5, mohou být navíc povolena pouze letadla vybavená (výjimky jsou možné) [16]:

- a) nejméně dvěma provozuschopnými LRNS, přičemž LRNS může být jeden z následujících:
 - jeden inerční navigační systém (INS);
 - jeden globální satelitní navigační systém (GNSS);
 - jeden navigační systém využívající vstupy z jednoho nebo více inerčních referenčních systémů (IRS) nebo jakýkoliv jiný senzorický systém vyhovující požadavkům MNPS;
- b) každý LRNS musí být schopen poskytovat posádce nepřetržitou indikaci relativní polohy letadla od požadované trati;
- c) také je vysoce žádoucí, aby navigační systém poskytující směrové vedení byl schopen propojení s autopilotem.



Obr. 3.5 *Prostory NAT MNPS* [16].

Letadla musejí být vybavena majákem ELT, musí být schválená pro RVSM provoz, schopná alespoň RNP 10 a posádky letadel musejí být vycvičeny ke všem standardním

i nouzovým postupům aplikovaným v prostorech MNPS, stejně jako v prostorech OCA regionu NAT [13, 16].

Většina všech prosotů v regionu NAT nedisponuje jakýmkoliv radarovým pokrytím a není k dispozici ani komunikace v pásmu VHF. Přesto je zde poskytována služba řízení letového provozu a veškeré letové operace podléhají letovým povolením. Řízení probíhá z důvodu absence přehledových služeb procedurálně a jsou poskytovány rozstupy v souladu s předpisy Doc 7030 (pro region NAT), Doc 4444 a publikacemi AIP. Při letech v OTS se využívá především technika Machova čísla, kdy všechny letouny na trati letí určeným Machovým číslem (s přesností na setiny). V regionu NAT je zajišťována letová informační služba (vyjma služby ATIS), pohotovostní služba v celé rozsahu a letová poradní služba v celém rozsahu tam, kde je aplikovatelná [13]. Většina prostorů NAT a NAT MNPS je definována jako letový prostor třídy A nad FL55 včetně [16].

Do prostorů regionu NAT mohou létat jak lety IFR, tak VFR (mimo protory třídy A). Pro VFR lety všeobecného letectví FAA vydal speciální publikaci North Atlantic International General Aviation Operations Manual, která poskytuje provozovatelům i pilotům informace nezbytné k provedení letu v regionu NAT včetně užitečných rad a komentářů.

3.2.5 Prostory OTA

Stát spravující FIR (letovou informační oblast) sousedící s prostorem OCA může za určitých okolností iniciovat zřízení prostoru OTA na hranici tohoto prostoru OCA. OTA, neboli Oceanic Transition Area, která je pod úplným radarovým pokrytím včetně možnosti VHF hlasové komunikace, slouží k převádění letů z kontinentálních letových prostorů do prostorů OCA a naopak pro převádění letů z OCA do prostorů kontinentálního řízení. Řízení této oblasti je delegováno kontinentálnímu poskytovateli ATS i přesto, že se jedná o prostor v rámci OCA.

3.3 Organizace a řízení oceánského letového provozu

V této kapitole budou popsány prvky, které zásadně odlišují kontinentální způsob organizace letového provozu od způsobu používaného v oceánských prostorech. Zároveň zde bude popsáno, jak je využíváno předpovědí o rychlosti a poloze (laterální i vertikální) JTST, které má velký význam v celé organizaci provozu v těchto prostorech.

3.3.1 OTS – systém organizovaných tratí

Podle [16] jako výsledek zájmu pasažérů, rozdílů mezi časovými pásmy a letištních protihlukových opatření je většina letového provozu v regionu NAT součástí dvou hlavních střídajících se proudů. Jedná se o proud směřující na západ, který začíná ráno v Evropě a proud směřující na východ, který začíná večer v severní Americe. Smyslem těchto proudů je koncentrace většiny provozu jedním směrem, kdy proud směřující na západ překračuje poledník 30W od 1130 UTC do 1900 UTC a proud směřující na východ překračuje poledník 30W mezi 0100 UTC a 0800 UTC. Takto je vymezen denní a noční OTS. Mezi těmito periodami je nutné stanovit čas, během kterého bude jeden z těchto provozů postupně ukončen a začne se aplikovat provoz opačný. Tyto periody změny OTS jsou mezi 0801 UTC a 1129 UTC a mezi 1901 UTC a 0059 UTC následujícího dne.

Kvůli omezení velkými minimálními horizontálními rozstupy, o kterých bude pojednáno dále, a omezeným rozsahem ekonomických letových hladin bývá vzdušný prostor ve špičkách přeplněný. Aby byly zajištěny nejlepší možné služby při tomto objemu provozu, byl vytvořen systém OTS tak, aby pojmul co nejvíce letounů ve dvou hlavních proudech při zachování tratí jen minimálně delších než jejich vypočítaných MTT (probráno dále) a optimálních vertikálních profilů letu.

3.3.2 Sestavování OTS a vliv tryskového proudění

MTT, z anglického Minimum Time Track, českým překladem podle [44] trať nejkratší doby letu, je časově nejkratší trať letu, kterou by letoun mohl teoreticky letět z některého vstupního bodu OCA do nějakého výstupního bodu OCA. Tento parametr však většinou používají i letečtí dopravci (provozovatelé) pro sestavení a posouzení celé trati letu. Kvůli výrazným projevům počasí v regionu NAT, především přítomnosti JTST, je zřejmé, že MTT téměř nikdy nebude stejná jako obecná nejkratší spojnice dvou bodů na Zemi, tedy ortodroma. MTT je tedy vypočítaná trať, jejíž průběh je závislý na předpovědi JTST, případně jiných jevech význačného počasí a dalších okolnostech, jako jsou například vojenské rezervované prostory, kterým je nutné se vyhnout, aj.

Ideálním případem by byla dokonalá, ničím nenarušená trať MTT v níž by letoun mohl ve všech bodech letět optimálním vertikálním profilem, tedy tzv. procedurou step climb, nebo ještě lépe kontinuálním stoupáním. Tyto postupy je však při současném vytížení prostoru ve špičkách velmi obtížné aplikovat [16]. Zároveň je třeba doplnit, že JTST jen vyjíměčně ztrácí západní složku proudění, která v něm jinak zcela převažuje. Z tohoto důvodu bývají téměř vždy MTT pro lety na západ jiné než pro lety směřující na východ. Tato skutečnost má za následek vytvoření OTS pro každý proud zvlášť. Stejně tak je vytvářen nový OTS každý den podle aktuální předpovědi.

OTS je anglickou zkratkou pro Organised Track System, česky podle [25] systém organizovaných tratí. Je to systém několika tratí vytvořených na základě MTT a preferencí leteckých společností pro lety v prostoru NAT. Obvykle je počet sestavených tratí menší než deset. Tyto tratě jsou dále označovány i jako tracky. Systém OTS pro noční provoz východním směrem sestavuje Gander OACC a OTS pro denní provoz směřující na západ sestavuje Shanwick OACC. Tratě nočního OTS jsou označovány písmeny od konce abecedy, přičemž písmenem Z je označena nejjižnější trať. Tratě severně od ní jsou potom postupně označeny jako Y, X, W, V, U atd. Příklad mapy publikovaných tratí nočního OTS je uveden v příloze 4. Naopak tratě denního OTS jsou označovány od nejsevernější, která je označena písmenem A, postupně k dalším, jižněji položeným tratím B, C, D, E, F, G, H atd. Příklad mapy denního OTS je uveden v příloze 6.

OTS je většinou sestavován tak, že pro hlavní proud je setaveno několik paralelních tratí, které jsou od sebe vzdáleny většinou 1° zeměpisné šířky, a poté jedna nebo více tratí umístěných severněji anebo jižněji od hlavního proudu tratí. Každá publikace OTS obsahuje mapu a textovou zprávu označovanou jako NAT Track Message, která se skládá z alfanumerického popisu tracků a tříčíselného kódu Track Message Identification (TMI). TMI odpovídá pořadí dne, pro který jsou tratě publikovány, v průběhu roku. Například první lednový den má proto TMI hodnotu 001. Čas publikace OTS nočního provozu je 1400 UTC předchozího dne.

Publikace denního OTS je stanovena na 2200 UTC předchozího dne. Publikované informace obsahují jednotlivé body sestavených tratí, které jsou vždy určeny počátečním

vstupním bodem OCA ležícím na její hranici s určitým kontinentálním FIR, průsečíky rovnoběžek a poledníků, výstupních bodů OCA a případně také definovaných vstupních a výstupních tratí vedoucích do a z OCA. Tyto tratě jsou označovány zkratkou NARS v případě severní Ameriky a NERS v případě Evropy. Dalé jsou u každé tratě definovány jednotlivé FL, které je plánováno aplikovat. Příklad NAT Track Message pro noční OTS je uveden příloze 3 a pro denní OTS v příloze 5.

I když sestavování OTS mají na starost OACC Gander a OACC Shanwick, ostatní OACC regionu NAT mohou vznášet své požadavky, které budou při sestavování zpracovány. Stejně tak se při sestavování úzce spolupracuje s národními (kontinentálními) složkami ATS, které sledují a hodnotí navrhované OTS z pohledu řízení toku a kapacity dotčených vzdušných prostorů a radionavigačních zařízení.

Letecké společnosti jsou také přizvány k vytváření OTS. Aby mohly určená OACC sestavit co nejlépe vyhovující OTS, je třeba, aby letecké společnosti plánující let těmito prostory, ať už se jedná o pravidelné nebo nepravidelné lety, prostřednictvím AFTN zaslali své požadavky v určeném formátu těmto OACC. Formátem těchto požadavků jsou zprávy PRM (Preferred Route Message [zpráva o preferované trati]). PRM je možné zaslat pro jakýkoliv nebo všechny plánované lety určitého provozovatele. Tyto informace jsou od leteckých společností shromažďovány do 1900 UTC předchozího dne v případě denního OTS a do 1000 UTC pro následující noční OTS.

Proces pokračuje zveřejněním návrhu OTS. Tento návrh je zpřístupněn zúčastněným stranám, které jej mohou jednu hodinu komentovat a připomínkovat. Poté jsou veškeré návrhy posouzeny a OTS je možné upravit. K publikaci i provozu systému pro sestavování OTS je pověřený kanadský poskytovatel ATS a provozovatel Gander OACC, společnost NAV CANADA. OTS je tedy publikován a je definován začátek a konec jeho platnosti. Podle [30] trvá vytváření, koordinování a publikování každého OTS asi 2,5 hodiny.

Obě OACC zodpovědná za sestavování OTS v prostorech regionu NAT, tedy Gander i Shanwick, v současnosti využívají jak pro plánování, tak i pro řízení letového provozu, moderní výpočetní systém. Tento systém jako první zavedlo OACC Gander zodpovědné za sestavování nočního OTS směřujícího na východ a v tomto případě se jmenuje GAATS (Gander Automated Air Traffic System) [29, 30]. Prvním a hlavním zdrojem tohoto systému při plánování OTS je tzv. JETSTREAM INFORMATION, tedy informace o JTST. Jde o alfanumerickou informaci z meteorologického modelu GAATS, který ji automaticky dvakrát denně získá z CMC (Canadian Meteorological Centre [Kanadské meteorologické centrum]).

GAATS je schopný sám vypočítat tratě MTT a zobrazit je na displeji plánovacímu pracovníkovi. Zároveň musí plánovací pracovník s asistencí GAATS podle přijatých zpráv PRM a podaných letových plánů (FPL) určit, kolik bude potřeba sestavit tratí, aby byl provoz rozprostřen a nedošlo tak k přeplnění tratí. Další komplikací je kapacita kontinentálních vzdušných prostorů. Tratě OTS musejí být sestaveny tak, aby na vstupních a výstupních bodech nedošlo k překročení kapacity těchto bodů a následně souvisejích prostorů a radionavigačních zařízení, případně i letišť. Je tedy nutné, aby plánovací pracovník podle požadavků ve zprávách PRM využil více co možná nejlépe vyhovujících vstupních a výstupních bodů OCA.

Tratě situované jižněji od tratí hlavního proudu jsou navrhovány plánovacím pracovníkem OACC New York, který je následně odešle do OACC Gander. Všechny tratě jsou následně koordinovány se všemi OACC regionu NAT a ACC přilehlých kontinentálních

prostorů FIR. Po přidělení letových hladin jednotlivým tratím je výsledná podoba OTS zveřejněna k připomínkování, jak bylo uvedeno výše, a jsou stanoveny frekvence a způsoby pro získání oceánského letového povolení [30].

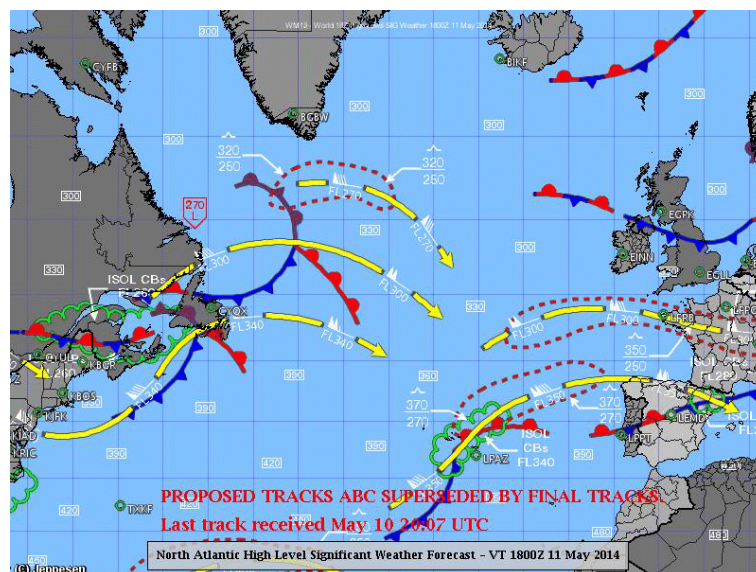
Systém GAATS (nyní již ve verzi GAATS+) byl později upraven, aby vyhovoval pro použití v OACC Shanwick, které jej v současnosti také využívá, a to pod označením SAATS (Shanwick Automated Air Traffic System) [29]. Lze tedy předpokládat, že oba systémy jsou si velice podobné, a tak i samotné sestavování tratí pro denní OTS, za které zodpovídá právě OACC Shanwick, probíhá podobně. Jak již bylo zmíněno výše, je třeba si uvědomit, že OACC Gander upravuje OTS tak, aby letouny co nejvíce využívaly JTST, které je při cestě na východ urychluje. Naopak OACC Shanwick sestavuje denní OTS tak, aby byly tratě co nejméně ovlivněny JTST, které by letouny už tak letící proti převážně západnímu proudění výrazně zpomalovalo [29].

3.3.3 Letový provoz mimo OTS – volné tratě

Publikace [16] rovněž uvádí, že využití OTS není povinné. V současnosti bezmála polovina provozu v NAT průlet OTS upravuje. Letadla mohou létat po tzv. volných tratích mimo prostor OTS, nebo se tyto tratě mohou libovolně odchylovat a napojovat na vnější tratě OTS. Pokud takový záměr existuje, je možné OTS také křížovat. Zde je ovšem nutné mít na vědomí, že i přes veškerou snahu ATCo povolit křížování OTS v publikovaných nebo plánovaných FL je pravděpodobné, že bude nutné výrazně změnit trať křížujícího provozu nebo výrazně změnit jeho letovou hladinu, aby nedošlo k narušení provozu v OTS.

Volná trať letu se plánuje mimo OTS především v případě, že neexistuje, nebo se neplánuje publikovat trať OTS vyhovující danému letu v přijatelné míře. Jedná se především o lety, jejichž převážně ortodromická trať má vrchol ve velkých zeměpisných šířkách, což jsou například lety z Evropy na západní pobřeží USA a zpět. V případě menšího zájmu provozovatelů o tento prostor se tratě OTS neplánují, což dává provozovateli možnost upravit plánovanou trať tak, aby nejlépe vyhovovala jeho požadavkům bez nutnosti sledovat publikovanou trať sestavenou jako kompromis požadavků různých provozovatelů. V takovém případě je trať v letovém plánu definovaná stejně jako publikovaná trať OTS a její oceánská část tedy prochází vstupním bodem OCA, průsečíky rovnoběžek a poledníků a výstupním bodem OCA. Letový plán musí být schválený a pro let musí být vydáno letové i oceánské povolení [16].

Volné tratě si plánují provozovatelé sami ve vlastních odděleních pro plánování letů, nebo prostřednictvím externího dodavatele služeb pro plánování letů. V obou případech se v současnosti již využívá výpočetních softwarů pracujících na podobném principu jako systém GAATS, tedy výpočtu MTT na základě několika faktorů včetně počasí. Někteří provozovatelé nebo skupiny provozovatelů si nechali vytvořit vlastní software, jehož služby mohou nabízet i jiným společnostem. K nejznámějším softwarům třetích stran patří například Flight Briefing od společnosti SITA, JetPlan od společnosti Jeppesen nebo Ascend Flight Manager od společnosti Rockwell Collins. Ukázka zobrazení předpovědi SIGWX pro lety západním směrem z data 11. května 2014 v programu JetPlan je na obr. 3.6.



Obr. 3.6 Zobrazení předpovědi SIGWX programem JetPlan od společnosti Jeppesen [20].

3.3.4 Provádění a řízení letů v prostorech OCA regionu NAT

Všechny lety se záměrem provést let skrz prostor NAT MNPS musí mít schválený FPL a musí před vstupem do tohoto prostoru získat tzv. oceanic clearance (oceánské povolení). O toto povolení může posádka požádat hlasovou komunikací na HF nebo VHF frekvencích, nebo použitím datového spoje výhradně OACC toho prostoru OCA, kterým bude prolétat jako prvním. Je doporučeno, aby posádky o toto povolení žádaly alespoň 40 minut před dosažením vstupního bodu OCA. V případě odletu z letišť umístěných blíže vstupnímu bodu je tedy nutné žádat o oceanic clearance ještě před odletem. Oceanic clearance se skládá ze tří nezbytných informací, a to tratě, rychlosti (výhradně v Machově čísle) a FL. Tyto tři informace, které se vyjma nouzových situací již bez povolení ATC za letu nemohou měnit, slouží k zajištění tří základních rozstupů. Jedná se o rozstupy podélné, příčné a vertikální.

V předchozí podkapitole zmíněný systém GAATS provozovaný střediskem Gander a v upravené podobě i střediskem Shanwick slouží také pro monitorování situace v prostoru OCA a poskytuje tak ATCo podobnou informaci jako například SSR. V tomto případě se však nejedná o plnohodnotnou informaci radarového pokrytí. Informace o provozu jsou získávány především na základě zpráv vyslaných z letounů systémem ADS-C. Tyto informace mohou být získány kdykoliv na požadavek ATCo nebo automaticky v určených časových intervalech (asi 30 s až 1 min).

Řídící si také může v pravidelných intervalech vyžádat zasílání meteorologických informací (obvykle každých 30 min). ADS-C má však poměrně proměnlivý a někdy zdoluhavý čas přenosu a získaná informace proto není tak přesná a důvěryhodná jako informace radarová [29]. V celém prostoru NAT se tedy aplikuje procedurální způsob řízení letového provozu. Navíc do prostoru NAT MNPS může být povoleno i letadlo, které tímto systémem není vybaveno a GAATS v tomto případě zobrazuje jen předpokládanou pozici letadla vypočtenou podle času přeletu vstupního bodu, přiděleného nebo ohlášeného Machova čísla, letové hladiny a předpokládaných povětrnostních poměrů na trati.

Základní uživatelské rozhraní systému se skládá z FDD (Flight Data Display) a GDD (Graphical Data Display). FDD obsahuje alfanumerické informace, ze kterých jsou podobně jako při kontinentálním řízení pro každé letadlo sestaveny tzv. elektronickými stripy. Řídící

skrže FDD obsluhuje i datovou komunikaci s letadly. GDD je prostým převedením alfanumerické informace z FDD do grafické formy a zajišťuje tak zobrazení letového přehledu. Ukázka GDD systému SAATS je na obr. 3.7, který zobrazuje provoz ve dne zahrnující letadla v denním OTS (s vyznačenými tracky) i na volných tratích, a obr. 3.8. Podle [29] je systém SAATS jedním z nejsložitějších datových ATC systémů na světě. Systém sleduje denně více než 1000 letadel v prostorech NAT na velmi rozsáhlé ploše a zpracovává ohromná množství dat. Grafické znázornění radarového pokrytí SSR je uvedeno v příloze 8.

Jak je vidět na obr. 3.8, každý letoun je zobrazen jako symbol indikující jeho laterální polohu, u něhož je dále zobrazení jeho předpokládané nebo hlášené letové hladiny, čísla letu, předpokládaného nebo hlášeného Machova čísla a typu letounu, případně i další informace, které si může ATCo nechat zobrazit, jestliže jsou k dispozici. Například nejvýhodněji letící letoun na severněji situované trati OTS letí ve FL380, jedná se o let číslo AFR356 (provozovatel Air France), letí Machovým číslem 0,81, jedná se o letoun Airbus A330-200 a směřuje na letiště s ICAO směrovací značkou CYYZ (Toronto – Lester B. Pearson International).



Obr. 3.7 Zobrazení letového přehledu na GDD systému SAATS při denním OTS [29].



Obr. 3.8 Detailní snímek GDD systému SAATS s letouny na tratích denního OTS [29].

Výhradním způsobem udržování podélných rozstupů v prostoru NAT MNPS a především v OTS je metoda Machova čísla. ATCo dává letounům s přesností na setiny hodnoty Machova čísla, kterým mají letět, a tak udržuje stanovený minimální podélný rozstup mezi letadly, který je stanoven na 10 min [13]. Pokud není aplikována metoda Machova čísla, minimální podélný rozstup je 15 min. Pro další případy jsou definovány i minimální podélné rozstupy založené na jednotkách vzdálenosti.

Podle [13] je základní minimální příčný rozstup mezi letadly v prostoru NAT MNPS 60 NM. Tento rozstup však může být v případě tratí OTS změněn na 1° zeměpisné šířky, z čehož však vyplývají určitá omezení při sestavování těchto tratí. Uvedený rozstup je však větší pokud se jedná o letadlo, které nesplňuje požadavky MNPS nebo RNP 10 (90 NM), naopak u dostatečně vybaveného letadla je možné rozstup v OCA New York díky dobrému pokrytí systému CNS snížit až na 30 NM.

Posledním definovaným rozstupem je rozstup vertikální. V prostoru NAT MNPS, kde jsou aplikovány postupy RVSM, jsou mezi FL290 a FL410 včetně minimální vertikální rozstupy 1000 ft (asi 330 m). Mimo prostor s aplikací RVSM je minimální vertikální rozstup mezi letadly 2000 ft (asi 660 m) [13].

Zvláštností aplikovanou v prostorech regionu NAT je tzv. SLOP neboli Strategic Lateral Offset Procedure. Použití tohoto postupu není limitováno pouze na provoz v OTS a záleží jen na rozhodnutí posádky. Není pro něj potřebné předchozí povolení ATC ani nutnost oznámit ATC použití tohoto postupu. Manévr spočívá v nalétnutí a udržování tratě paralelní s povolenou tratí, přičemž použitá paralelní trať je od povolené tratě vzdálená 1 NM nebo 2 NM a leží vždy napravo od povolené tratě (ve směru letu). Tento manévr je volitelně zaveden pro zvýšení bezpečnosti provozu a zvětšení rezerv minimálních rozstupů. Stále však platí, že je tento postup možné použít pouze v prostorech regionu NAT a letouny musí dodržet polohu při přelétávání vstupních a výstupních bodů OCA [13, 16].

Pro úplnost je také nutné zmínit, že zvláštní a nouzové postupy aplikované v prostorech regionu NAT týkající se především zdravotních potíží cestujících, technických závad, nebo vulkanického popele a jiných meteorologických jevů, jsou podrobně popsány v literatuře [16] z pohledu letových posádek a v literatuře [15] z pohledu uspořádání letového provozu.

4 VYUŽITÍ TRYSKOVÉHO PROUDĚNÍ

V této kapitole bude vyhodnoceno několik letů přes Atlantský oceán podle dále popsaných postupů. Cílem vyhodnocení je určit především časové úspory při realizaci letů využívajících OTS, a to jak směrem na východ, kdy existuje snaha létat s využitím JTST, tak i směrem na západ, kdy se tratě plánují a směřují takový způsobem, aby se v co možná největší míře JTST vyhnuly a letouny na nich nebyly zpomaleny převládajícím západním prouděním.

Je vhodné na tomto místě také zmínit potíže při získávání dat potřebných pro toto vyhodnocení.

Pro exaktní, přesné a spolehlivé vyhodnocení jsou vždy zapotřebí kvalitní vstupní data, která za předpokladu, že jsou všechny výpočty provedeny správně a s minimální chybou, zajistí vysokou pravděpodobnost dosažených výsledků. V tomto případě by byla velice přínosná nejen přesná meteorologická data o JTST, ale také data, která jsou obsahem tzv. operačních letových plánů (OFP) nebo letových záznamů, které si každý provozovatel archivuje. Tyto databáze obsahují ke konkrétním plánovaným nebo provedeným letům přesná data časů vzletů a přistání, časů nad významnými body, přesné polohy letadel podél celých tratí, výšky letů, pravé vzdušné rychlosti (TAS), traťové rychlosti (GS), vzletové hmotnosti atd. U dat z letových záznamů by se navíc jednalo o nejpřesnější možná data skutečně realizovaných letů, která byla naměřena palubními přístroji.

Pro účely tohoto vyhodnocení bylo kontaktováno 12 evropských a 2 americké aerolinie, které provozují linky přes Atlantský oceán s využitím OTS. Bohužel žádná z těchto společností nebyla ochotna poskytnout data pro tuto práci.

Další možností pro získání velice přesných dat byli poskytovatelé ATS v regionu NAT, a to především provozovatelé systémů GAATS+ a SAATS, kteří tato data získávají z měření pro samotné poskytování ATS. Tato data se také archivují. Společnosti NATS a NAV CANADA však nemohou poskytovat pro tyto účely data o letech společností, které s jejich použitím nesouhlasily.

Posledním možným zdrojem těchto dat, který byl kontaktován, byla organizace EUROCONTROL, která by také mohla být schopna tato data poskytnout. EUROCONTROL však poskytnutí dat odmítl, neboť tato data jsou poskytována pouze pro vypsání a schválení projektů vědeckých nebo vzdělávacích institucí, u kterých organizace EUROCONTROL souhlasila se svojí účastí.

Jednalo se o časově poměrně náročnou komunikaci, která nakonec v žádném zmíněném případě nebyla úspěšná. Proto se v tomto vyhodnocení pracuje s alternativními zdroji dat, která bohužel ani zdaleka nedosahují takové přesnosti a důvěryhodnosti, jako data z výše uvedených zdrojů.

Bylo však možné získat poměrně přesná meteorologická data z vládní organizace ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Česká republika patří mezi tzv. kooperující státy a s touto organizací tedy také spolupracuje. ECMWF data volně poskytuje pro výzkumné účely z několika vlastních meteorologických aplikací a modelů.

4.1 Vstupní data

Pro vyhodnocení bylo tedy zapotřebí tří druhů dat. Jedná se o meteorologická data, která byla získána z modelu TIGGE (THORPEX Interactive Grand Global Ensemble). Tento model je

klíčovou součástí programu THORPEX (The Observing System Research and Predictability Experiment), který realizuje WMO a zaměřuje se na zpřesnění jednodenní až dvoutýdenní předpovědi počasí s velkým dopadem na lidskou činnost. Jedním z distribučních středisek tohoto modelu je právě organizace ECMWF.

Model slouží jako datový základ pro předpovědi a počítá s celkem 30 parametry přízemních hodnot, jako jsou například složky přízemního větru, délka slunečního svitu, tlak, teplota a vlhkost vzduchu, srážky, vyzařování zemského povrchu a další. Mimo tyto parametry jsou do modelu zaváděny hodnoty pěti dalších prvků z 9 standardních izobarických hladin. Jedná se o geopotenciální výšku, specifickou (měrnou) vlhkost vzduchu, teplotu vzduchu a především zonální a meridionální složky výškového větru, které jsou v tomto vyhodnocení použity v izobarických hladinách 250 hPa a 200 hPa. Tyto hladiny průměrně odpovídají výšce 10 500 m AMSL (kolem FL345) a 12 000 m AMSL (kolem FL395).

Všechna tato data jsou k dispozici v globálním měřítku mimo oblasti nad 87,5° severní i jižní zeměpisné šířky, přičemž model pracuje s rozlišením 0,5° podél zeměpisné šířky i podél zeměpisné délky. Pro toto vyhodnocení byla stažena pouze data pro severní polokouli až po 30° severní šířky. Model TIGGE se aktualizuje každých 6 hodin, a to vždy v termínech 00Z, 06Z, 12Z a 18Z, tedy stejně jako letecké mapy uvedené v kap. 2.8. Pro úplnost je vhodné dodat, že program THORPEX existuje již od roku 2003 [50].

Druhým typem dat jsou data z provedených letů. Byla získána ze serveru společnosti FlightAware, která se zabývá sběrem letových dat vysílaných systémem ADS-B. Systém ADS-B (který bude stručně popsán v kap. 5), je v obchodní letecké přepravě založený na odpovídači SSR módu S, doplněného o technologii 1090ES. Tento systém všesměrově vysílá z letadla každou sekundu nebo 0,5 sekundy údaje pro identifikaci letadla, o poloze letadla, geometrické výšce, traťové rychlosti (GS) a geometrické vertikální rychlosti, přičemž zdrojem veškerých polohových informací je GNSS, jehož informace je vždy zpřesněna diferenčními systémy GNSS, tedy systémy WAAS nebo LAAS (v Evropě EGNOS). Společnost FlightAware mimo další služby nabízí také sledování letů v reálném čase pomocí ADS-B a záznamy sledovaných letů, které nejsou starší než 4 měsíce, nabízí zdarma.

Taková společnost však není sama provozovatelem přijímacích stanic signálu ADS-B po celém světě. Systém pracuje především na spolupráci poskytovatelů ATS v dané oblasti a na ochotnické pomoci leteckých nebo radiotechnických nadšenců, kteří pomocí po domácku vyrobených přijímačů napojených na anténu nějakého druhu tyto signály zachytávají, počítačově zpracovávají a poté přeposílají na server společnosti FlightAware, který všechna data zpracovává v reálném čase. Je tedy zřejmé, že takto získaná data nepodléhají žádným normám ani předpisům upravujícím nutnou pravděpodobnost a důvěryhodnost dat používaných při řízení letového provozu.

Data jsou poskytována pouze v rozlišení po jedné minutě, zaokrouhlená a poměrně nepřesná. Navíc jsou často chybná a stejný záznam se může zdvojit, případně je zpřeházeno jejich pořadí a není tak zachována kontinuálnost letu. Především jsou tato data omezena maximálním dosahem systému ADS-B. Dosah ADS-B se mění v závislosti na výšce letu, ale průměrně je uváděna hodnota okolo 200 NM. Proto tato data neobsahují informace z letu nad oceánem mimo dosah pobřeží. FlightAware tento nedostatek nahrazuje vlastním algoritmem pro průměrování polohy letu v čase.

Algoritmus není spolehlivý a většinou vytváří v trase letu nereálné obrazce, které z těchto průměrovaných dat činí zcela nepoužitelné údaje. Teoretická chyba již obsažená v těchto datech by tedy byla větší, než samotná výsledná hodnota získaná vyhodnocením.

Proto by bylo jejich použití při vyhodnocení zcela nevhodné. Přesto byla část těchto dat použita v tomto vyhodnocení. Konkrétně byly z těchto dat použity informace o výšce letu a o poloze letadla v té části letu, kde nebyl aplikován zmíněný algoritmus průměrování trasy letu. Postup jejich zpracování bude popsán dále.

Vzhledem k obtížnému použití výše uvedených letových dat bylo nutné nahradit údaj o rychlosti letu, neboť bylo zjištěno, že především údaje o traťové rychlosti (GS) v záznamech FlightAware jsou velice nepřesné a někdy až nesmyslné. Údaj o rychlosti letu byl proto získán z databáze BADA, která se používá v systémech pro řízení letového provozu při výpočtu předpokládané trajektorie letu a dalších vhodných parametrů. Databáze obsahuje údaje o rozměrech, hmotnosti, spotřebě, stoupací a klesací rychlosti a dalších parametrech jednotlivých typů letounů včetně údaje o pravé vzdušné rychlosti (TAS) v jednotlivých letových hladinách.

Posledním druhem dat jsou provozní data publikovaných tratí OTS (dále jen tracků). Jedná se o seznam vyhlášených tracků vždy začínající vstupním bodem OCA, pokračující většinou čtyřmi až šesti průsečíky zeměpisných poledníků a rovnoběžek a končící ve výstupním bodě OCA. Tato data byla získána z webu [31], který archivuje každý den veřejně aktualizovaný NOTAM FAA obsahující i publikované tracky regionu NAT. Někdy může track začínat již na definovaném navigačním bodě ještě před vstupním bodem OCA, případně na takovém bodě končit až za výstupním bodem OCA. Jedná se většinou o body definující oblasti OTA, případně o body zajišťující napojení tracků na používané kontinentální tratě (NARS, NERS). Tracky jsou vždy označeny písmenem a TMI, jak bylo uvedeno v kap. 3.3.2.

Všechna použitá data existují v elektronické formě, a bylo tak možné provést do značné míry automatizované numerické vyhodnocení. Tím se zajistilo, že vyhodnocení proběhne u všech vybraných letů stejně a zároveň bude jen málo ovlivněno chybami vznikajícími při manuálním zadávání odhadovaných hodnot, například z dat v grafické formě.

4.2 Výběr letů

Kvůli značným omezením, jimiž se výše uvedená vstupní data vyznačují, bylo nutné zpracovat lety na linkách, které využívají publikované tracky. Ty jsou sestavovány především pro lety spojující Evropu s východním pobřežím nebo středovýchodní částí USA a Kanady. Lety spojující Evropu se západním pobřežím USA nebo Kanady již tracky většinou nevyužívají, avšak někdy může být publikován i track, který je pro tyto lety určen. Takový track je pak umístěn severně od hlavního svazku tratí, aby se více podobal ortodromě spojující tato místa.

Byla tedy vybrána tři spojení, která využívají tracky a která budou hodnocena. Tato spojení jsou vždy složena z linky směřující na západ a linky směřující na východ. Nebyly však sledovány linky na sebe navazující, ale linky, které odpovídají určitým dnům, jak bude uvedeno dále. Následuje vždy označení linky, které ji definuje v tomto hodnocení, provozovatel linky, číslo letu, letiště vzletu (směrovací značka ICAO) a cílové letiště (směrovací značka ICAO):

AF-W: Air France
AFR333
Paris – Charles de Gaulle (LFPG)
Boston – Logan Int. (KBOS)

AF-E: Air France
AFR338
Boston – Logan Int. (KBOS)
Paris – Charles de Gaulle (LFPG)

BA-W: British Airways
BAW93
London – Heathrow (EGLL)
Toronto – Pearson Int. (CYYZ)

BA-E: British Airways
BAW92
Toronto – Pearson Int. (CYYZ)
London – Heathrow (EGLL)

LH-W: Lufthansa
DLH401
Frankfurt (EDDF)
New York – J. F. K. Int. (KJFK)

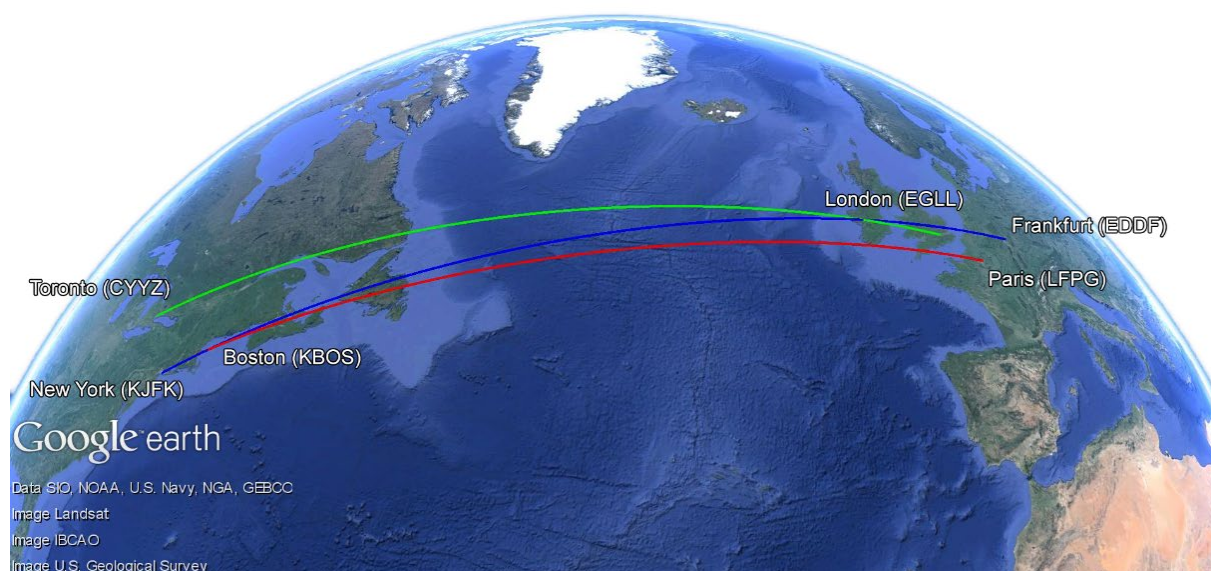
LH-E: Lufthansa
DLH400
New York – J. F. K. Int. (KJFK)
Frankfurt (EDDF)

Poloha a intenzita JTST, jež se neustále mění, může do značné míry ovlivnit výhodnost transatlantických letů. Pro zajištění dostatečně velkého souboru různých charakteristik JTST byly voleny lety, které po sobě následovaly vždy se 14denním odstupem. Jako výchozí datum bylo zvoleno pondělí 6. ledna 2014, které je zároveň datem vzletu prvních letů. Od tohoto výchozího data byly vybrány lety provedené vždy po 14 dnech až do 14. dubna 2014. Tímto postupem bylo vybráno následujících 8 dní, přičemž se vždy jedná o pondělí. Ve vyhodnocení vždy číslo uvedené u hodnoceného letu souhlasí s číslem označujícím konkrétní datum podle tohoto pořadí:

1 - 6. 1. 2014
2 - 20. 1. 2014
3 - 3. 2. 2014
4 - 17. 2. 2014

5 - 3. 3. 2014
6 - 17. 3. 2014
7 - 31. 3. 2014
8 - 14. 4. 2014

Dohromady bylo tedy vybráno 48 letů. Na lince DLH400 dne 31. 3. 2014 byl však let zrušen. Proto bylo vyhodnoceno 24 letů směrem na východ (eastbound) a 23 letů směrem na západ (westbound). Na obr. 4.1 jsou v programu Google earth vyobrazeny ortodromy vybraných letů. Ortodroma je nejkratší možnou spojnici dvou bodů na Zemi. Let sledující ortodromu by tedy měl být bez uvážení vlivu počasí i časově nejkratší.



Obr. 4.1 Ortodromické tratě vybraných letů [autor].

4.3 Metody vyhodnocení

Existuje mnoho možných způsobů, jak určit časovou výhodnost nebo nevýhodnost využití JTST. V tomto vyhodnocení byly stanoveny dvě metody výpočtu. Výsledkem první metody výpočtu jsou výkony celého hladinového letu, zatímco výsledkem druhé metody jsou výkony pouze oceánské části letu. Pro posouzení výhodnosti je však nutné tyto výkony porovnat s určitou referenční hodnotou, jež by teoreticky mohla být dosažena. Zvolenou referenční hodnotou jsou výkony, které by byly dosaženy, jestliže by letoun sledoval ortodromickou trať. Bylo by však možné jako referenční zvolit výkony, které by byly dosaženy například při uvážení průměrných hodnot JTST v celém posuzovaném období. V případě zanesení těchto hodnot do skutečné, případně i ortodromické trati, by však následné porovnání výsledků představovalo jen velmi teoretické hodnoty.

Zvolené referenční výkony a následné porovnání s výkony reálnými má zřejmě největší vypovídající hodnotu a v praxi je nejlépe uchopitelné. Vzhledem k ne zcela přesným vstupním datům však není možné tvrdit, že byly vyhodnoceny skutečně provedené lety, neboť část letových dat byla nahrazena pouze teoretickou hodnotou. I přesto je však provedené vyhodnocení poměrně reálné. Je však otázkou, do jaké míry je toto vyhodnocení za použití uvedených dat přesné.

4.3.1 Metoda vyhodnocení celého hladinového letu

První metodou výpočtu lze získat výsledek ve formě času, který se uspořil, nebo případně ztratil, při celém hladinovém letu sestávajícího ze tří základních částí.

První částí je let od bodu dosažení hladinového letu do dosažení vstupního bodu OCA. V případě aplikace postupu step climb se tato část počítá od bodu dosažení první hladiny hladinového letu. Během této části je let předmětem kontinentálního řízení letového provozu a jeho ideální trať se může výrazně změnit, pokud je v oblasti podél této trati hustý provoz a aplikuje se řízení toku a kapacity letového provozu, nebo je nutné či vhodné trať změnit z jiných důvodů.

Druhá část začíná na vstupním bodě OCA a končí na výstupním bodě OCA. Tuto část letoun letí po jednom z publikovaných tracků, jež se umísťuje a směřuje podle MTT, jak bylo uvedeno v kap. 3.3.2. Tato část letu by měla být časově poměrně výhodná. Oceánská část skutečné trati letu a níže popsané referenční trati však nemusí mít stejné délky, a proto může být porovnání výsledků z této části značně zkreslené.

Třetí a poslední část letu v této metodě vyhodnocení začíná na výstupním bodě OCA a končí na bodě zahájení sestupu z hladinového letu. Stejně jako u první části letu je let předmětem kontinentálního řízení letového provozu a je možné, že trať letu nebude z výše zmíněných důvodů ideální.

Jelikož se jedná pouze o vyhodnocení hladinového letu, není tato metoda zatížena příletovými, odletovými a vyčkávacími procedurami letišť.

Jako referenční trať byla v této metodě zvolena upravená ortodromická trať. Úprava spočívala v rozdělení ortodromy spojující letiště vzletu s letištem přistání na tři části stejně, jako byla rozdělena skutečná trať letu. Z průběhu ortodromy spojující letiště (obr. 4.1) byly nalezeny ideální vstupní a výstupní body OCA na základě jejich vzdáleností od ortodromy. První část je tedy tvořena ortodromou začínající na letišti vzletu a končící na tomto vstupním bodě OCA. Druhá část je ortodroma spojující tyto nalezené vstupní a výstupní body OCA

a třetí část je ortodroma spojující výstupní bod OCA s letištěm přistání. Tato upravená ortodromická trať byla poté uměle zbavena teoretického stoupání a klesání letounu do a z hladinového letu.

Do průběhu obou tratí poté byly zaneseny informace o výškovém větru, které byly případně upraveny tak, aby lépe odpovídaly výšce letu. Následně byly spočteny průměrné traťové rychlosti letu ve všech částech tratí zvlášť. Z nich byl vypočten s pomocí délky jednotlivých částí tratí čas, kterého bylo dosaženo. Výsledek je potom získán prostým porovnáním časů trvání takto vyhodnoceného teoretického letu po ortodromické trati a letu po skutečné trati. Konkrétní postup a výpočty budou uvedeny v kap. 4.4, kde je uveden příklad výpočtu u letu směřujícího na západ.

4.3.2 Metoda vyhodnocení oceánské části letu

První uvedená metoda zahrnuje několik nevýhod, pokud má být vyjádřeno pouze přímé využití tryskového proudění. Toho je dosahováno pouze při oceánské části letu, kde letoun sleduje publikovaný track již umístěný a směřovaný tak, aby při letu po něm bylo JTST v co možná největší míře využito (při letech na východ), nebo naopak aby se letoun JTST co možná nejlépe vyhnul a nebyl tak zpomalován (při letech na západ). Proto byla vyhodnocena zvlášť i oceánská část letu, kdy je možné posoudit kvalitu sestavení OTS podle dosažených výkonů pouze během tohoto úseku letu.

Stejně jako u předchozí metody, i zde byla jako referenční trať použita upravená ortodromická trať, avšak pouze její část mezi vstupním a výstupním bodem OCA.

Je však zřejmé, že oceánská část skutečné tratě letu nemusí být stejně dlouhá, jako použitá referenční oceánská část upravené ortodromické tratě. To je dáno především různým uspořádáním vstupních a výstupních bodů prostorů Gander OCA a Shanwick OCA a také vzrůstající zeměpisnou šířkou, kdy se vlivem sbíhavosti poledníků vzdálenost mezi danými poledníky zmenšuje. Proto byla provedena oprava skutečné tratě letu. Tato oprava definovala pouze odpovídající část skutečné tratě o stejné délce, jakou má oceánská část upravené ortodromické tratě.

Do této upravené oceánské části skutečné tratě letu i do referenční ortodromické tratě byly poté opět zaneseny informace o výškovém větru, které byly případně upraveny tak, aby lépe odpovídaly výšce letu. Na obou tratích byla spočtena průměrná traťová rychlost a s pomocí jejich délek i čas letů. Výsledkem je opět porovnání času letu po části skutečné tratě a času letu po referenční trati. Konkrétní postup a výpočty budou uvedeny v kap. 4.5, kde je uveden příklad výpočtu u letu směřujícího na východ.

4.4 Příklad výpočtu metody vyhodnocení celého hladinového letu

V této kapitole bude předveden výpočet metody vyhodnocení celého hladinového letu. Jako ukázkový byl zvolen let BA-W5 (kap. 4.2). Jedná se tedy o linku BAW93 směřující z letiště EGLL (Londýn) na letiště CYYZ (Toronto) dne 3. 3. 2014. Tento let obsluhoval letoun Boeing 777-236ER britského provozovatele British Airways.

Prvním bodem ve vyhodnocení tohoto letu bylo získání vstupních dat. Meteorologická data pocházejí z modelu TIGGE, který se aktualizuje každých 6 hodin. Bylo proto nutné určit, který termín v modelu TIGGE nejlépe časově odpovídá provedenému letu. Linka BAW93 podle zimního letového řádu odlétá ve 1200 UTC a přilet je plánován na 1940 UTC. Model

TIGGE obsahuje data z termínu 1200 UTC a 1800 UTC. Další termíny již časově neodpovídají provedenímu letu. Jelikož bývá linka zpožděná, avšak nikdy nevzlétne dříve, byl v modelu TIGGE zvolen termín 1800 UTC. U jednotlivých letů však bylo vždy přihlédnuto i ke skutečnému času vzletu.

Track	Trať tracku	FL pro lety na západ	FL pro lety na východ	NARS	NERS	TMI
						AFTN adresa
A	RATSU 63/20 65/30 65/40 64/50 62/60 GRIBS JELCO	NIL	310 320 330 350 360 000	NIL	WEST NIL	062
						022056 EGGXZOZX
B	ATSIX 62/20 64/30 64/40 63/50 61/60 MIBNO RODBO	NIL	310 320 330 350 360 000	NIL	WEST AKIVO	062
						022056 EGGXZOZX
C	BALIX 61/20 63/30 63/40 62/50 60/60 PEPKI LOPVI	NIL	310 320 330 350 360 000	NIL	WEST NINEX	062
						022056 EGGXZOZX
D	ERAKA 60/20 62/30 62/40 61/50 59/60 LAKES	NIL	310 320 330 350 360 000	NIL	WEST ETSO M	062
						022057 EGGXZOZX
E	GOMUP 59/20 61/30 61/40 60/50 MOATT LOMTA	NIL	310 320 330 350 360 000 000 000	NIL	WEST GINGA	062
						022057 EGGXZOZX
S	CYMON DENDU 51/50 52/40 53/30 54/20 DOGAL BEXET	320 330 340 350 360 000 000 000 000	NIL	N95B N97B N99A	EAST NIL	062A
						021418 CZQXZQZX
T	YQX KOBEV 50/50 51/40 52/30 53/20 MALOT GISTI	320 330 340 350 360 000 000 000 000	NIL	N79B N83B N85A	EAST NIL	062A
						021418 CZQXZQZX
U	VIXUN LOGSU 49/50 50/40 51/30 52/20 LIMRI XETBO	320 330 340 350 360 000 000 000 000	NIL	N63B N67B	EAST NIL	062A
						021418 CZQXZQZX
V	YYT NOVEP 48/50 49/40 50/30 51/20 DINIM ELSOX	320 330 340 350 360 000 000 000 000	NIL	N53B N59A	EAST NIL	062A
						021418 CZQXZQZX
W	COLOR RONPO 47/50 48/40 49/30 50/20 SOMAX ATSUR	320 330 340 350 360 000 000 000 000	NIL	N43A N49A	EAST NIL	062A
						021418 CZQXZQZX
X	DOVEY 42/60 44/50 46/40 48/30 49/20 BEDRA NERTU	320 330 340 350 370 000 000 000	NIL	NIL	EAST NIL	062A
						021418 CZQXZQZX
Y	JOBOS 41/60 42/50 43/40 43/30 43/20 MUDOS STG	330 350 370	NIL	NIL	EAST NIL	062A
						021420 CZQXZQZX
Z	SOORY 43/50 45/40 47/30 48/20 48/15 OMOKO GUNSO	320 340 380 390 400	NIL	NIL	EAST NIL	062A
						021420 CZQXZQZX

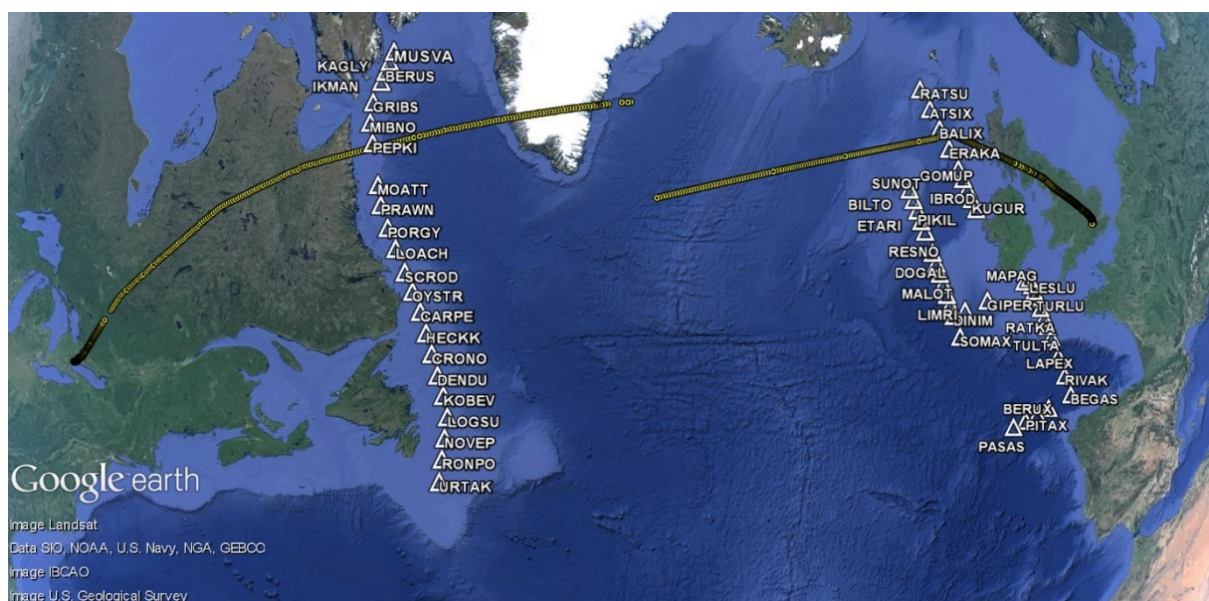
Tab. 4.1 Publikované tracky pro 62. den v roce (3. 3. 2014) [31].

Další potřebná data jsou tracky publikované pro tento den. Z archivu publikovaných tracků byla získána tab. 4.1, kde je vždy značka tracku, jeho definovaná trať, aplikované FL, přístupové tratě v Americe i Evropě (pokud se používají), značka TMI a AFTN adresa autora

zprávy včetně její identifikace. Tabulka je rozdělena do dvou částí, a to na tracky denního OTS (A až E) a tracky nočního OTS (S až Z).

Nejdůležitějším sloupcem tab. 4.1, který se použije v tomto hodnocení, je sloupec s definovanou tratí tracku. Tato trať je definovaná jejím počátečním a konečným bodem (většinou vstupním a výstupním bodem OCA) a sérií zlomků, kde jsou v čitateli uvedené hodnoty zeměpisné šířky a ve jmenovateli hodnoty zeměpisné délky. Jedná se tedy o jejich průsečíky.

Dalším krokem je vykreslení tratě letu ze záznamu FlightAware. Po zobrazení trasy v programu Google earth, který bude hojně využíván i dále, bylo přidáno také zobrazení vstupních a výstupních bodů prostorů Gander OCA a Shanwick OCA (obr. 4.2). Jejich polohy odpovídají cyklu 1405 databáze AIRAC.



Obr. 4.2 Vykreslená trasa letu BA-W5 ze záznamu FlightAware včetně vstupních a výstupních bodů OCA Gander a OCA Shanwick [autor].

Na obr. 4.2 je jasné vidět, že polohový záznam letu FlightAware je značně pochybný. To je způsobeno především tím, že pozemní stanice ADS-B již nejsou schopné od určité vzdálenosti od pobřeží zachytit signál z letounu a algoritmus průměrování polohy vytváří v trati letu chyby. Je však snadno identifikovatelné, že použitým vstupním bodem OCA byl zřejmě bod BALIX a použitým výstupním bodem byl zřejmě bod PEPKI. Po prohledání tab. 4.1 lze tedy předpokládat, že tento let využil track označený písmenem C (Charlie).

V dalším kroku následuje oprava polohových dat ze záznamu FlightAware včetně nahrazení polohových záznamů v prostoru mezi zeměpisnou délkou vstupního a výstupního bodu OCA. Trať tracku C (Charlie) je definována následovně:

BALIX 61/20 63/30 63/40 62/50 60/60 PEPKI LOPVI

Bod LOPVI již leží v kontinentální oblasti, a proto byl v úpravě polohových dat vynechán, neboť letouny někdy dostanou tzv. direct to [přímo do]. To znamená, že po vylétnutí z oceánského prostoru s procedurálním řízením a vlétnutí do kontinentálního prostoru s radarovým pokrytím i řízením, je jim povoleno pokračovat na vzdálenější bod jejich plánované tratě, a tak si svou trať zkrátit za předpokladu, že se touto změnou napřímí.

Pro potřeby vyhodnocení je důležité, že track je složen ze 7 bodů, mezi kterými letouny opět udržují ortodromické tratě. Z toho důvodu byla každá oblast mezi dvěma definovanými body tracku rozdělena na třicetiny podle zeměpisné délky a mezi každou dvojicí definovaných bodů byl vypočítán průběh ortodromy. V každé této třicetině je tedy známá zeměpisná šířka a délka a také směr tratě. Následující vzorce 4.1 až 4.7 pro tento výpočet uvádí literatura [38]. Definovanými částmi se ve vzorcích 4.6 a 4.7 rozumí zmíněné třicetiny zeměpisné délky.

$$\cos d = 60 [\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \lambda_1 \cos \lambda_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)] \quad (4.1)$$

kde d - délka ortodromické tratě [NM]
 φ_1 - zeměpisná šířka počátečního bodu [°]
 φ_2 - zeměpisná šířka konečného bodu [°]
 λ_1 - zeměpisná délka počátečního bodu [°]
 λ_2 - zeměpisná délka konečného bodu [°]

$$\sin \delta = \frac{\cos \varphi_2 \sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\sin d} \quad (4.2)$$

kde (jako u vzorce 4.1):
 δ - počáteční kurz ortodromy [°]

$$\cos \varphi_V = \cos \varphi_1 \sin \delta \quad (4.3)$$

kde (jako u vzorců 4.1 a 4.2):
 φ_V - zeměpisná šířka vrcholu ortodromy [°]

$$\cos \lambda_V' = \tan \varphi_1 \cot \varphi_V \quad (4.4)$$

kde (jako u vzorců 4.1 a 4.3):
 λ_V' - zeměpisná délka vrcholu ortodromy od λ_1 [°]

$$\lambda_V = \lambda_1 + \lambda_V' \quad (4.5)$$

kde (jako u vzorců 4.1 a 4.4):
 λ_V - zeměpisná délka vrcholu ortodromy [°]

$$\lambda_i' = \lambda_i - \lambda_V \quad (4.6)$$

kde (jako u vzorce 4.5):
 i - index pořadí definované části zeměpisné délky mezi λ_1 a λ_2 [°]
 λ_i' - rozdíl zeměpisné délky i -té definované části a λ_V [°]
 λ_i - zeměpisná délka i -té definované části [°]

$$\tan \varphi_i = \frac{\cos \lambda_i'}{\cot \varphi_V} \quad (4.7)$$

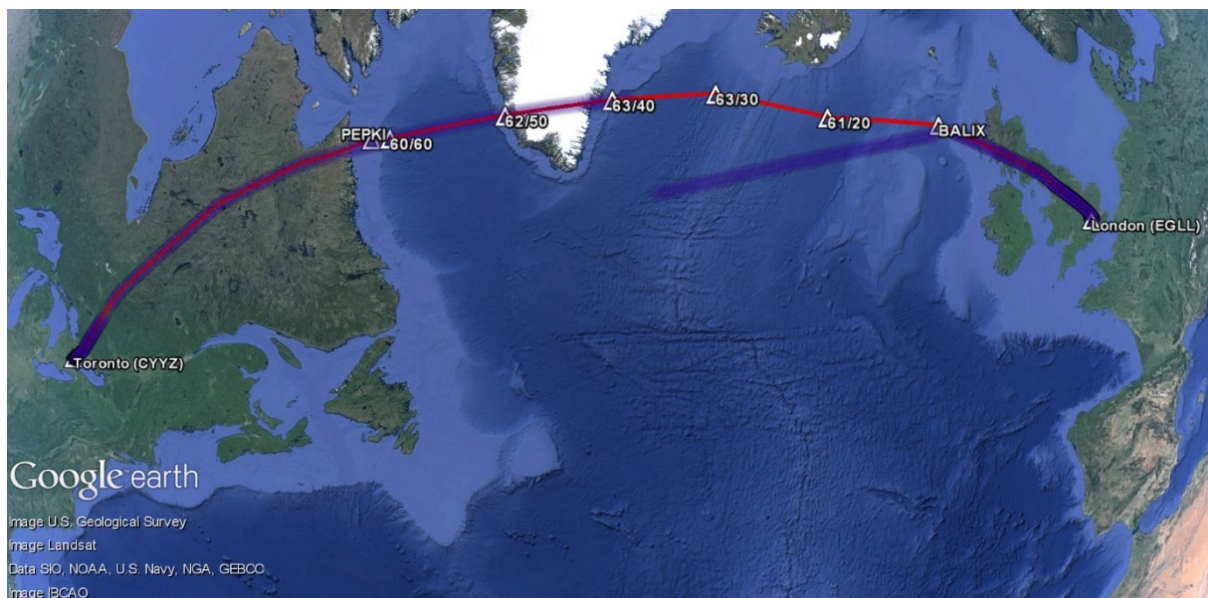
kde (jako u vzorců 4.3, 4.5 a 4.6):
 φ_i - zeměpisná šířka i -té definované části [°]

Průběh tohoto tracku tedy obsahuje dohromady 180 bodů, kterými se nahradí polohová data mezi zeměpisnými délkami vstupního a výstupního bodu OCA. Polohová data jsou však nespolehlivá i v průběhu kontinentálních částí letů (kap. 4.1). Proto byla veškerá data podrobena automatické i manuální kontrole, byly vymazány veškeré chybné záznamy včetně záznamů zcela nesmyslných poloh. Do těchto opravených dat byl poté na správnou pozici

vložen vypočítaný průběh tracku. Vznikla tak reálná trať tohoto letu, která je vyobrazena na obr. 4.3, kde je vytvořena trať znázorněna červenou křivkou. Také jsou zobrazeny jednotlivé definované body tracku C a modrým poloprůhledným pruhem i trasa z původních polohových dat.

Je vidět, že v oblasti od Grónska až po konec tracku na bodě PEPKI, je trasa uměle doplněného a vypočítaného tracku v této oblasti shodná s původními daty. Znamená to, že byl pro tento let zřejmě zvolen správný track a je vysoce pravděpodobné, že jej tento let také doopravdy využil, a to v celé jeho délce.

Navíc byla letová data průběhu tracku doplněna o výškovou informaci. Tato informace byla vytvořena tak, že se letová hladina v průběhu tracku mění lineárně z výšky posledního záznamu před nalétnutím tracku do výšky prvního záznamu po opuštění tracku. Tato úprava není příliš přesná, neboť letoun mohl při proceduře step climb změnit letovou hladinu poměrně krátkou dobu po nalétnutí tracku. Poskytuje však přesnější výpočet průměrné hladiny hladinového letu, který bude využit dále. Je vhodné připomenout, že změna letové hladiny je předmětem letového povolení. Let BA-W5 byl nad vstupním bodem OCA ve FL370 a nad výstupním bodem OCA ve FL400.



Obr. 4.3 Opravená a doplněná skutečná trať letu [autor].

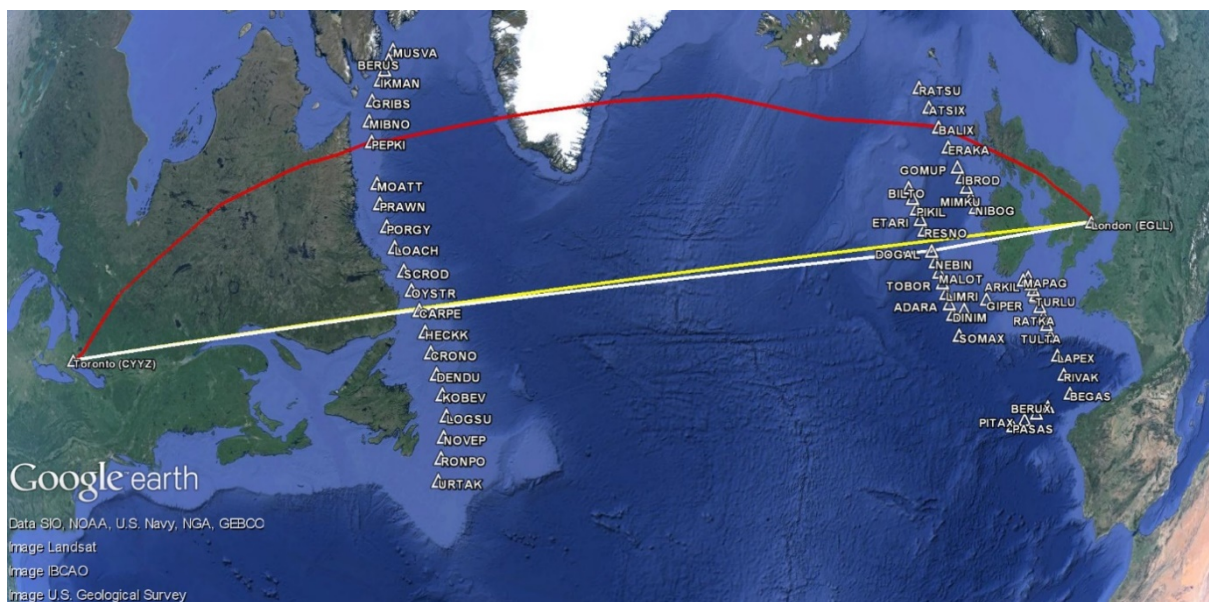
Dalším krokem je vytvoření referenční tratě, se kterou bude skutečná trať porovnávána. Jedná se o již zmíněnou upravenou ortodromu spojující letiště vzletu a přistání. Úprava této ortodromy spočívala v nalezení ideálního vstupního a výstupního bodu OCA při letu po ortodromě spojující letiště vzletu a letiště přistání. Jedná se o body, které leží nejbližší této ortodromě. V případě tohoto letu jsou nejideálnější vstupním a výstupním bodem OCA body DOGAL a CARPE. Ortodroma byla tedy rozdělena na tři části. První část z letiště vzletu do vstupního bodu OCA (DOGAL), druhá část mezi vstupním a výstupním bodem OCA a třetí část od výstupního bodu OCA (CARPE) na letiště přistání, přičemž všechny tyto části jsou opět ortodromickými tratěmi. Obr. 4.4 zobrazuje ortodromu mezi letišti žlutou barvou, sestavenou referenční ortodromickou trať bílou barvou a skutečnou trať letu červenou barvou.

Aby bylo možné s touto referenční ortodromickou tratí ve vyhodnocení dále pracovat, bylo nutné vypočítat její průběh. Podobně, jako byl vypočítán průběh jednotlivých částí

tracku, byla každá ze tří zmíněných částí rozdělena podle zeměpisné délky na 200 dílů za použití vzorců 4.1 až 4.7, kde se definovanými částmi rozumí zmíněné dvousetiny zeměpisné délky.

V tomto bodě vyhodnocení již byly připraveny obě tratě, které bylo nutné upravit tak, aby vyhovovaly podmínkám hodnocení použité metody. Hlavní podmínkou metody vyhodnocení celého hladinového letu je úprava délek těchto tratí tak, aby byl započítán pouze hladinový let, a nebyly tak započítány odletové a příletové letištní procedury. Tyto procedury, především na letišti Heathrow v Londýně a někdy také na letišti Charles de Gaulle v Paříži, mimo jiné představují i vyčkávání letounů ve vyčkávacích obrazcích. Opravená letová data FlightAware u každého záznamu obsahují také výšku letu. Na skutečné trati jsou počítány výkony pouze ze záznamů odpovídajících hladinovému letu.

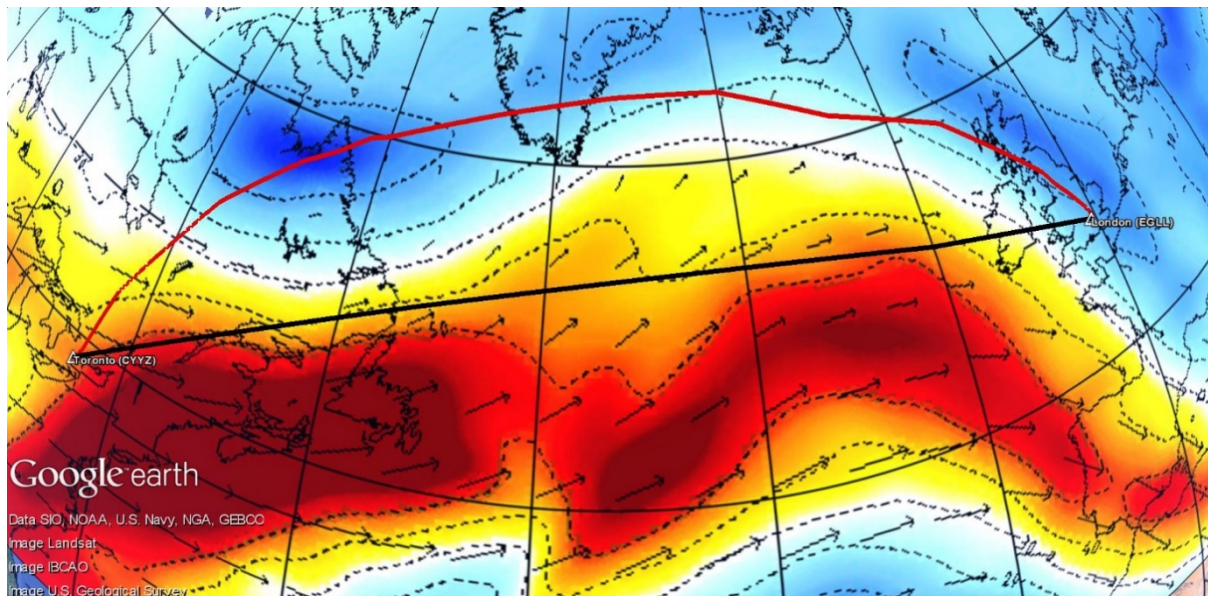
Je však nutné podobnou úpravu provést i u vytvořené referenční ortodromické trati. Z letových dat FlightAware proto byla zjištěna vzdálenost, jakou letoun po vzletu na skutečné trati potřeboval pro dosažení hladinového letu (případně jeho první hladiny při použití procedury step climb během letu) a také vzdálenost od počátku sestupu až k letišti přistání. První zmíněná vzdálenost byla následně odečtena od počátku referenční trati a druhá vzdálenost byla odečtena od konce referenční trati. Tímto způsobem je zaveden jednoduchý vertikální model letu i do referenční trati a dále je počítáno pouze s jejím průběhem odpovídajícím teoretickému hladinovému letu po této trati.



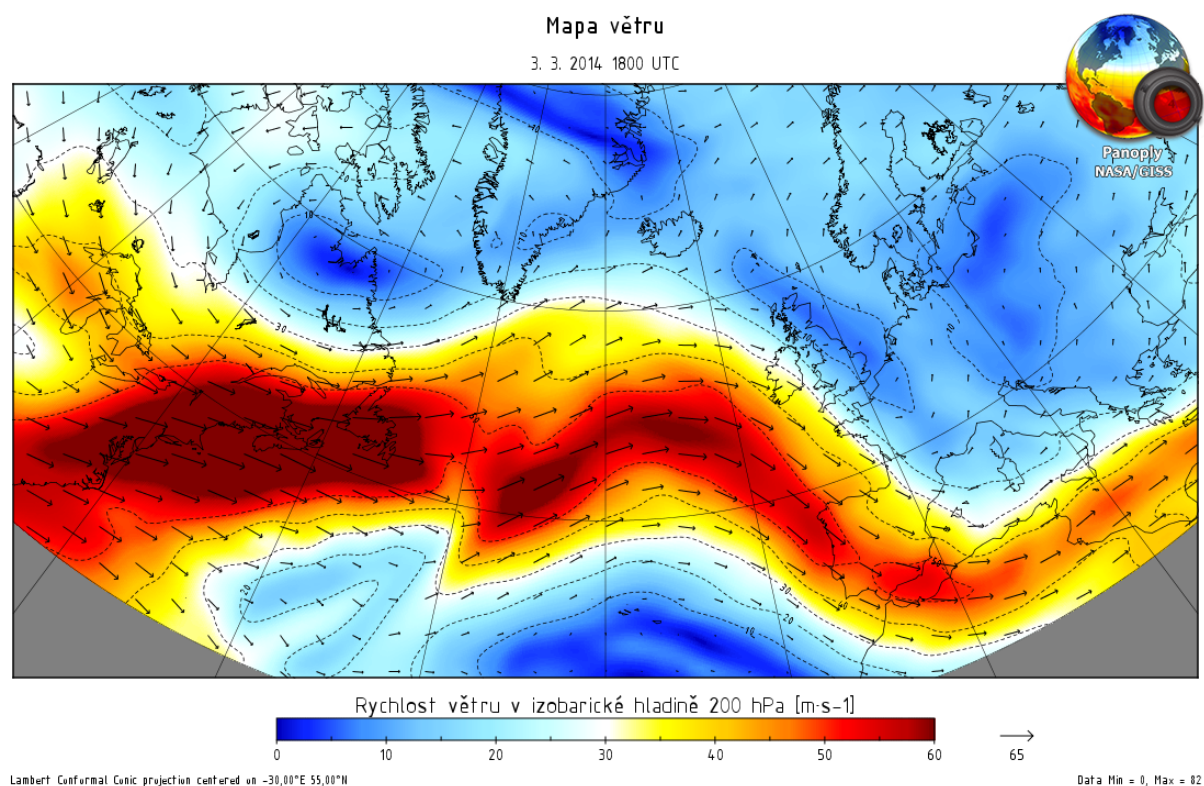
Obř. 4.4 Ortodroma spojující letiště, upravená ortodromická trať včetně vstupního a výstupního bodu OCA a skutečná trať letu [autor].

V dalším bodě vyhodnocení bylo nutné zahrnout do výpočtu informace o výškovém větru včetně JTST. Model TIGGE poskytuje zvlášť zonální a meridionální složky větru. Na začátku hodnocení byla vybrána meteorologická data ze dne 3. 3. 2014 a času 1800 UTC. Model TIGGE však poskytuje pouze informace přibližně z FL345 a FL395. Hodnoty zonálních i meridionálních složek větru proto byly poměrově upraveny tak, aby lépe odpovídaly průměrné letové hladině hladinového letu, která byla spočtena již dříve. Tato úprava není přesná, neboť hodnoty vertikálního stříhu větru zcela jistě nemají lineární průběh. Úprava je však přesnější než prosté použití dat z bližší izobarické hladiny.

Již bylo uvedeno, že data jsou k dispozici s rozlišením $0,5^\circ$ zeměpisné šířky i délky. U skutečné tratě letu i u referenční tratě byly proto pro každý bod jejich průběhů nalezeny nejbližší souřadnice této sítě, a poté byla dosazena upravená data zonálních i meridionálních složek větru. Složky jsou v modelu TIGGE kódovány tak, že kladné hodnoty větru směřují na východ, případně na sever, a záporné hodnoty větru směřují na západ, případně na jih.



Obr. 4.5 Skutečná a referenční trať letu a mapa větru [autor].



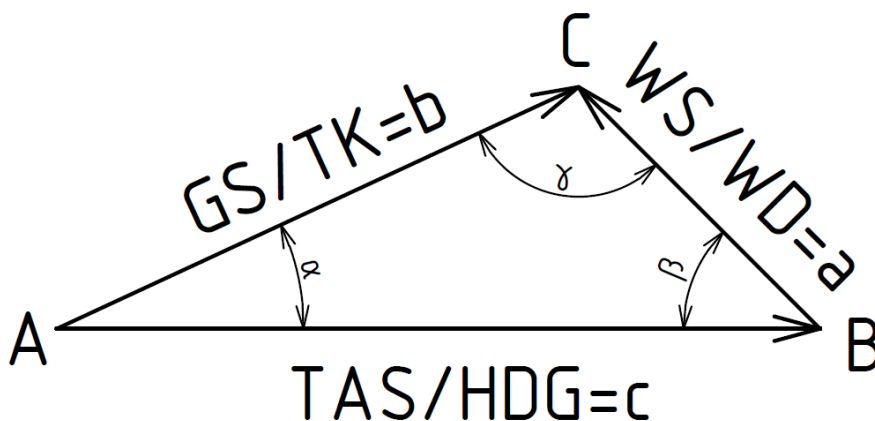
Obr. 4.6 Mapa větru pro let BA-W5 vykreslená programem Panoply [autor].

V každém bodě tratí byla po přiřazení informace o větru pomocí Pythagorovy věty spočtena rychlost větru a z velikostí obou složek pomocí goniometrických funkcí i směr vektoru větru. Tuto funkci poskytuje při vykreslení také program Panoply, který nabízí NASA volně ke stažení mimo jiné pro prohlížení souborů v meteorologickém formátu s příponou GRIB. Na obr. 4.5 je programem Google earth zobrazena skutečná i referenční trať letu doplněná o mapu větru vykreslenou z uvedených meteorologických dat. Nejedná se však o výškově upravená data použitá ve vyhodnocení, nýbrž o izobarickou hladinu, která je nejbližší průměrné hladině hladinového letu. Tato záměna v zobrazení je způsobena omezením programu Panoply. Lze však předpokládat, že se hodnoty příliš neliší. Na obr. 4.6 je stejná mapa větru včetně legendy a barevného kódování vykreslená programem Panoply.

Jak je na obr. 4.5 vidět, skutečná trať letu je jasně směřována tak, aby nebyla ovlivněna silným západním prouděním, kterým prochází referenční ortodromická trať.

V dalším kroku je nutné doplnit rychlost letu. Jelikož bylo zjištěno, že jsou rychlostní data FlightAware chybná, bylo nutné tato data nahradit. Vhodným a dostupným zdrojem informace o rychlosti byla databáze BADA. V databázi byla nalezena složka pro letoun Boeing 777-200 a pro tento letoun byla nalezena hodnota TAS. Tato hodnota je v databázi uvedena pouze v definovaných letových hladinách. Byla proto použita hodnota TAS uvedená pro letovou hladinu, která je nejbližší k průměrné letové hladině hladinového letu. Tato hodnota TAS byla doplněna ke všem bodům skutečné i referenční tratě. Tímto krokem se vyhodnocení bohužel značně odchyluje od reálného letu, neboť nejsou zachovány základní letové údaje. I přesto je však stále zachována značná reálnost dat alespoň v teoretické rovině.

Nyní je již známá informace o pravé vzdušné rychlosti (TAS), kterou by letoun letěl po obou tratích. Dále je známá informace o směru (WD) a rychlosti větru (WS) v odpovídající hladině každého dostupného bodu obou tratí. Také je známý směr tratí (TK) a tím pádem i úhly mezi směry tratí a vektory větru v každém jejich dostupném bodě. Znamená to tedy, že je možné vypočítat kurz letounu a především traťovou rychlost (GS) s pomocí vzorce 3.1, jehož grafické znázornění je na obr. 3.1. Pro další výpočty byl tento obrázek upraven do podoby na obr. 4.7.



Obr. 4.7 Rychlostní trojúhelník v podobě upravené pro vyhodnocení [38].

Pro výpočet hodnoty GS je v tomto případě možné použít kosinovou větu ve tvaru:

$$GS = \sqrt{TAS^2 + WS^2 - 2 TAS WS \cos \beta} \quad (4.8)$$

Pro výpočet GS však není známý úhel β . Proto je nutné jej vypočítat pomocí sinové věty a doplňkového výpočtu podle pravidel trojúhelníků ve vzorcích 4.9 a 4.10:

$$\sin \alpha = \frac{WS \sin \gamma}{TAS} \quad (4.9)$$

$$\beta = 180 - \alpha - \gamma \quad (4.10)$$

Posledním krokem ve výpočtu této metody hodnocení je sestavení tab. 4.2, kde mají indexy následující významy:

- 1 - část od letiště vzletu po vstupní bod OCA
- 2 - část od vstupního bodu OCA po výstupní bod OCA
- 3 - část od výstupního bodu OCA na letiště přistání
- FL - celý hladinový let

Trať	d_1	d_2	d_3	d_{FL}	GS_1	GS_2	GS_3	t_1	t_2	t_3	t_{FL}
	[NM]	[NM]	[NM]	[NM]	[kt]	[kt]	[kt]	[min]	[min]	[min]	[min]
Referenční	393,6	1381,7	1046,3	2821,5	422,3	399,7	394,5	55,9	207,4	159,1	422,4
Skutečná	416,7	1549,3	1091,7	3057,6	463,4	467,0	459,1	54,0	199,1	142,7	395,7
Δ (ref. – sk.)	-23,1	-167,6	-45,4	-236,1	41,0	67,3	64,7	2,0	8,3	16,5	26,8

Tab. 4.2 Výsledné hodnoty metody výpočtu celého hladinového letu BA-W5 [autor].

Jak je tedy v tab. 4.2 vidět, hladinový let skutečné trati letu BA-W5 byl o 236,1 NM delší, než hladinový let referenční ortodromické trati. K největšímu navýšení GS došlo během oceánské části letu (o 67,3 kt) a časová úspora celého hladinového letu byla 26,8 min.

4.5 Příklad výpočtu metody vyhodnocení oceánské části letu

Druhou použitou metodou vyhodnocení je vyhodnocení oceánské části letu. Tento popis již bude značně kratší, neboť spíše než o zcela jinou metodu se jedná o doplnění předchozí metody alternativními výpočty.

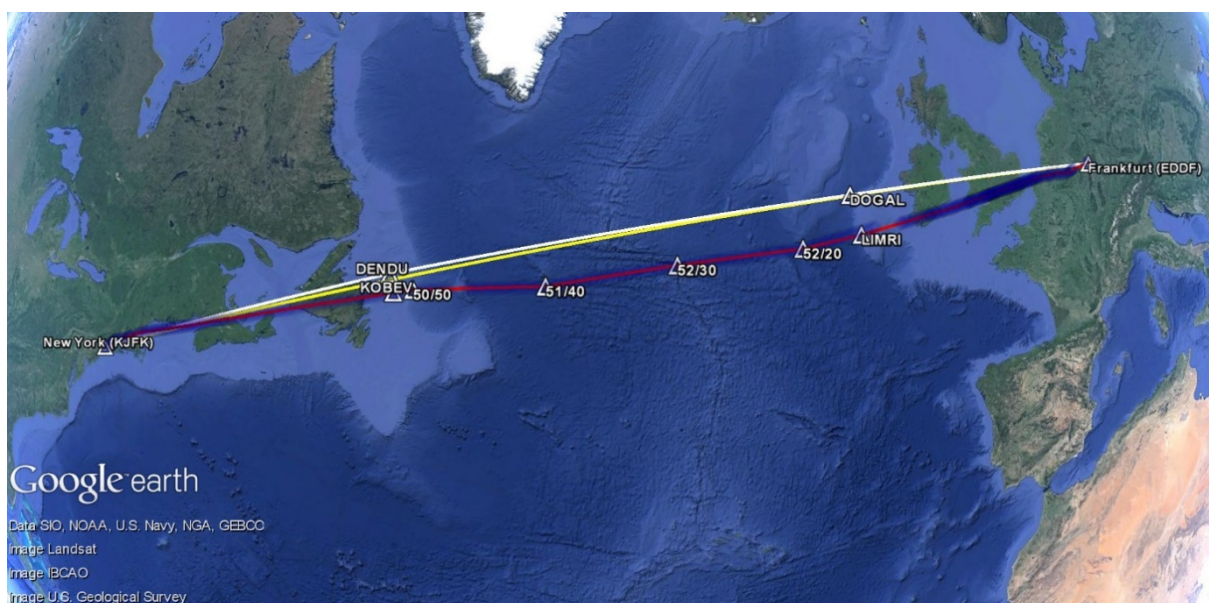
V této metodě však není započítán celý hladinový let. Jak je vidět i na obr. 4.5, track je vždy sestavený tak, aby poskytl co nejlepší využití, případně vyhnul se silnému proudění a JTST. To znamená, že může být umístěn i poměrně daleko od ideální ortodromické trati. Pokud se takový track nalétne, v oceánské části (tedy v průběhu tracku) by sice mělo dojít ke značnému zkrácení letového času, avšak trasa nutná k tomu, aby tento track nalétnul a poté se z něj opět vrátil, je podstatně delší než ortodromická trať. Jediným faktorem, který může let s využitím tracku urychlit je právě JTST.

Ne vždy je však možné sestavit tak výhodný track a některé lety využitím takového tracku spíše svoji dobu letu prodlouží. Sestavení tracku v takové podobě, aby z něj velká většina různých linek těžila drahocenné časové úspory a z toho plynoucí úspory nákladů na provedení letu, je závislé především na pozici a intenzitě JTST.

Jak bude uvedeno i dále, někdy nastane taková situace, že jsou časové úspory velké. Někdy ale i perfektně sestavený track nemá takovou výhodnost, aby pokryla prodloužení letu nutné pro jeho nalétnutí. Pro posouzení kvality samotného tracku je proto nutné hodnotit

pouze oceánskou část letu bez uvažování prodloužení trasy pro nalétnutí tracku a také následného návratu z tracku na letiště přistání. Právě toho využívá tato metoda.

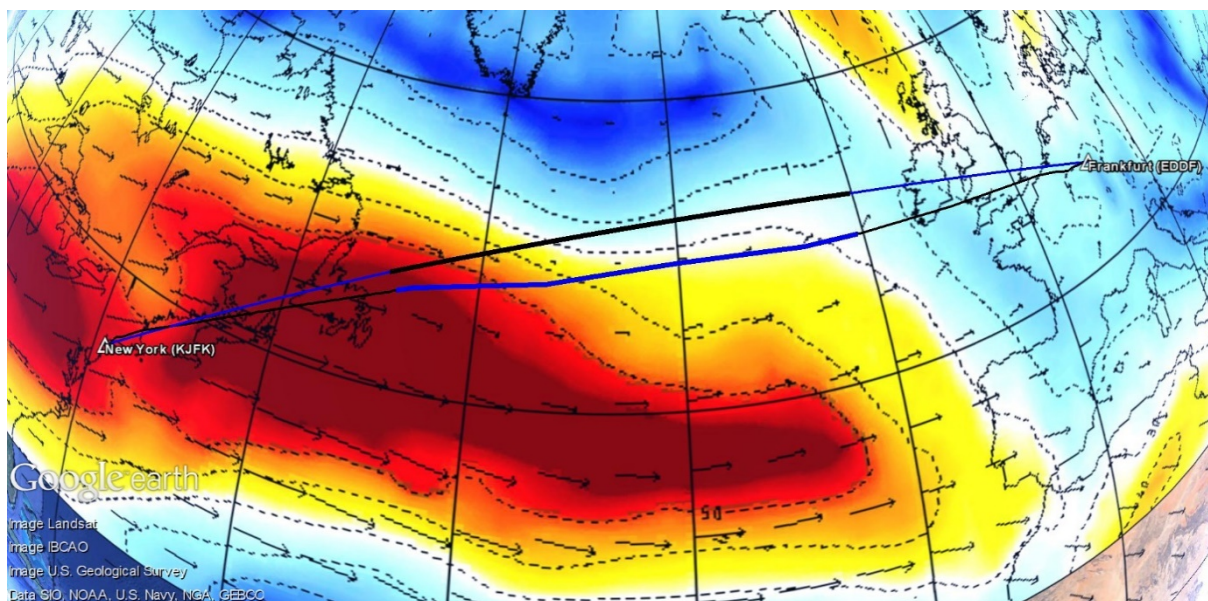
Pro představení této metody byl vybrán let LH-E3. Jedná se o linku DLH401 provozovatele Lufthansa z letiště KJFK (New York) na letiště EDDF (Frankfurt) dne 3. 2. 2014. Tento let obsluhoval letoun Airbus A340-313. Podle zimního letového řádu linka odlétá ve 2040 UTC a přílet je plánovaný na 0318 UTC. Pro tento let byla použita meteorologická data z termínu 0000 UTC dne 4. 2. 2014. Dále je postup stejný jako u předchozí metody. Na obr. 4.8 je původní ortodroma mezi letišti zobrazena žlutou barvou, upravená ortodromická trať bílou barvou, opravená skutečná trať letu červenou barvou a modrým poloprůhledným pruhem jsou zobrazena původní polohová data FlightAware. Dále jsou zobrazeny definované body použitého tracku V (Viktor) a vstupní i výstupní body OCA.



Obr. 4.8 Původní ortodroma, upravená ortodroma, původní polohová data a opravená skutečná trať letu LH-E3 [autor].

Pro výpočet této metody byla nejdříve nalezena střední zeměpisná délka referenční ortodromické tratě mezi vstupním a výstupním bodem OCA. V průběhu skutečné tratě letu byl nalezen bod, jehož zeměpisná délka je nejbližší této střední zeměpisné délce oceánské části referenční tratě. Od tohoto nalezeného bodu byla poté na obě strany počítána poloviční vzdálenost oceánské části referenční tratě. Záznamy, které leží mimo tento rozsah zeměpisných délek, respektive vzdáleností, tedy v této metodě nejsou započítány a porovnává se pouze část referenční tratě s odpovídající částí skutečné tratě, přičemž obě tyto části mají téměř shodné délky. Tato situace je vidět na obr. 4.9, kde je tučně černou barvou vyobrazena hodnocená oceánská část referenční tratě a tučně modrou barvou vyobrazena odpovídající oceánská část skutečné tratě. Barevné kódování mapy větru je shodné s kódováním na obr. 4.6.

Na obr. 4.9 je také jasně vidět, že skutečná trať letu byla umístěna jižněji od referenční tratě tak, aby byla co nejvíce ovlivněna silnějším západním prouděním v této oblasti.



Obr. 4.9 *Tratě pro hodnocení oceánských částí letů včetně mapy větru pro let LH-E3 [autor].*

Pokud došlo k menšímu rozdílu mezi délkou skutečné a referenční tratě, pak je tento rozdíl odstraněn tak, že se polovina rozdílu ke kratší trati přičte, zatímco druhá polovina rozdílu se od delší tratě odečte. Takto je zajištěna stejná délka tratí a definována proměnná d_{co} . Nakonec je spočtena průměrná traťová rychlost. Z opravené vzdálenosti d_{co} a traťové rychlosti je možné spočítat dobu letu po skutečné i referenční trati (t_{co}). Vyhodnocení této metody pro představený let LH-E3 je v tab. 4.3, kde mají indexy následující významy:

O - oceánská část

CO - část s opraveným rozdílem délky referenční a skutečné tratě

Trať	d_o	GSo	t_{co}
	[NM]	[kt]	[min]
Referenční	1361,5	513,8	158,8
Skutečná	1357,5	537,2	151,8
Δ (sk. - ref.)		23,4	6,9

Tab. 4.3 *Výsledné hodnoty metody výpočtu oceánské části letu LH-E3 [autor].*

V tab. 4.3 je vidět, že při letu po oceánské části skutečné tratě bylo dosaženo o 23,4 kt vyšší traťové rychlosti, než by bylo dosaženo při letu po oceánské části referenční tratě. Proto bylo také dosaženo časové úspory téměř 7 min.

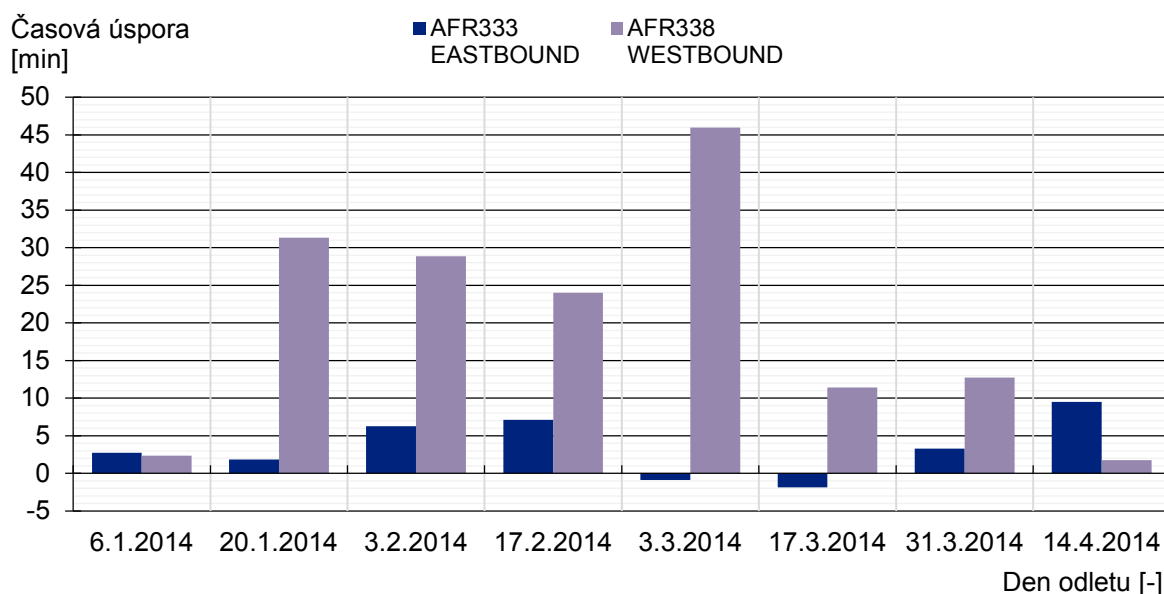
4.6 Konečné vyhodnocení dosažených výsledků

Všech 47 hodnocených letů bylo podrobeno oběma uvedeným metodám výpočtu. Je vhodné také uvést, že zvolené metody hodnocení jsou velice přísné a náročné z pohledu dosažení úspory času. Pokud by se neuvažoval vliv větru, byla by referenční trať vždy nejideálnější možnou trati pro daný let a skutečná trať by byla vždy časově méně výhodná. Právě vítr a případně JTST jsou jediným faktorem, který může let po skutečné trati urychlit tak, aby byl časově shodný nebo i výhodnější než let po referenční trati. Ovšem pro dosažení takových

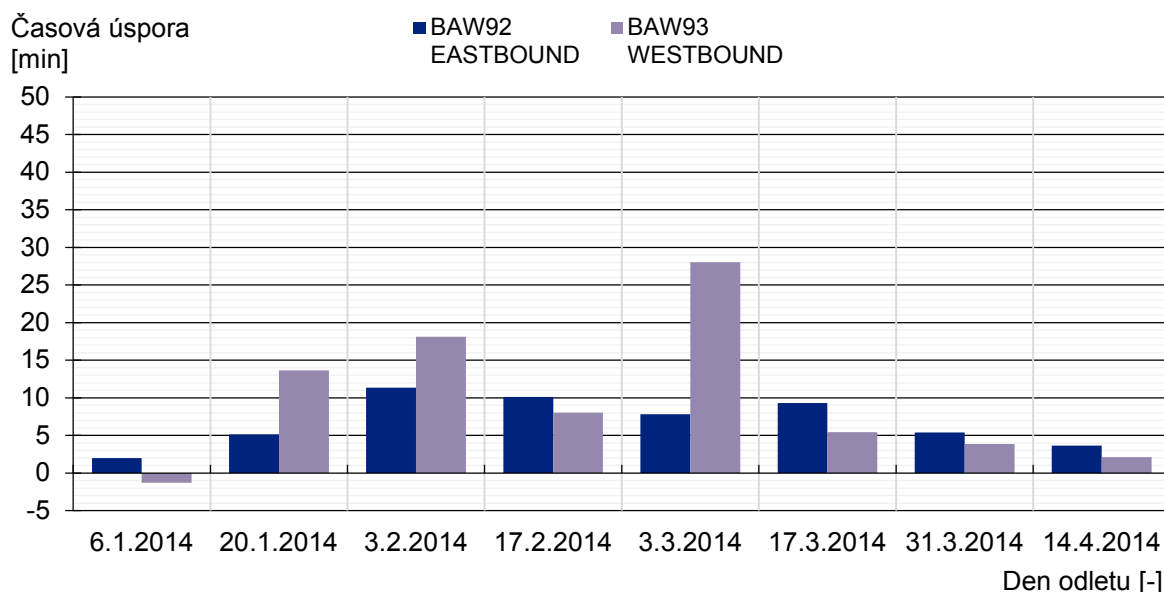
výsledků je nutné, aby mělo proudění ideální polohu, tvar, směr i rychlost. Ze všech možných situací to však nastává poměrně zřídka. Většinou je tedy snaha využít proudění alespoň na nějaké části trati, kdy je však otázkou, jestli při letu v této oblasti dojde k takovému urychlení, aby došlo k časové úspoře oproti letu po referenční trati.

4.6.1 Vyhodnocení metody oceánské části letu

V následujících grafech na obr. 4.10 až obr. 4.12 jsou představeny výsledky metody hodnocení oceánské části letu, přičemž grafy jsou rozděleny podle odpovídajících dvojic linek. Na obr. 4.13 jsou potom průměrné hodnoty jednotlivých dní a také průměrné hodnoty v celém souboru letů v jednotlivých směrech.

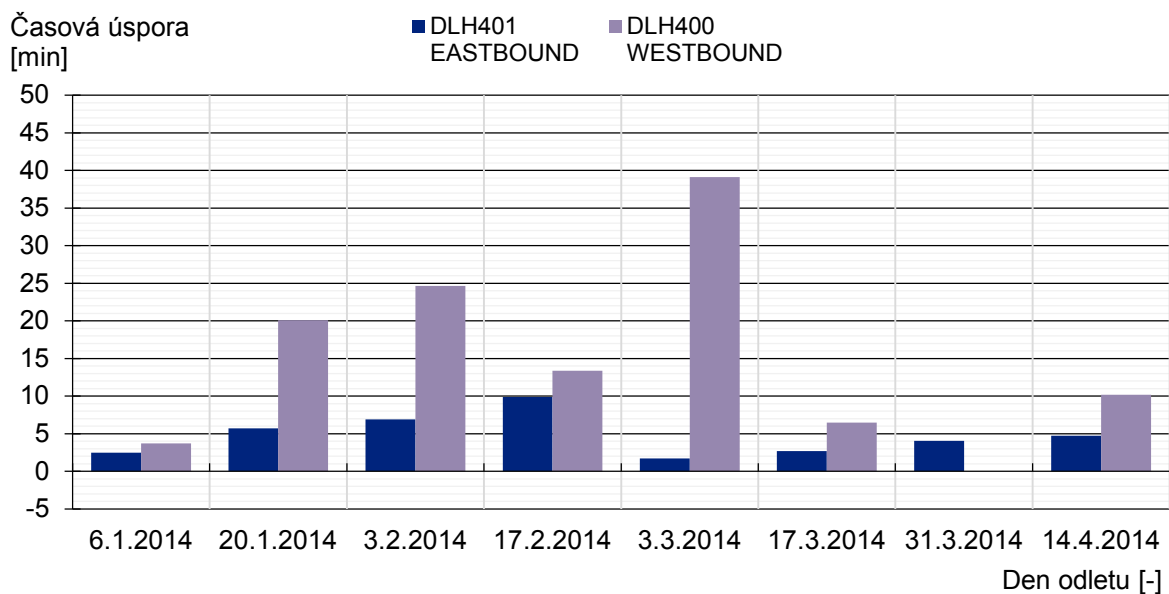


Obr. 4.10 Dosažené časové úspory během oceánské části letů společnosti AF [autor].

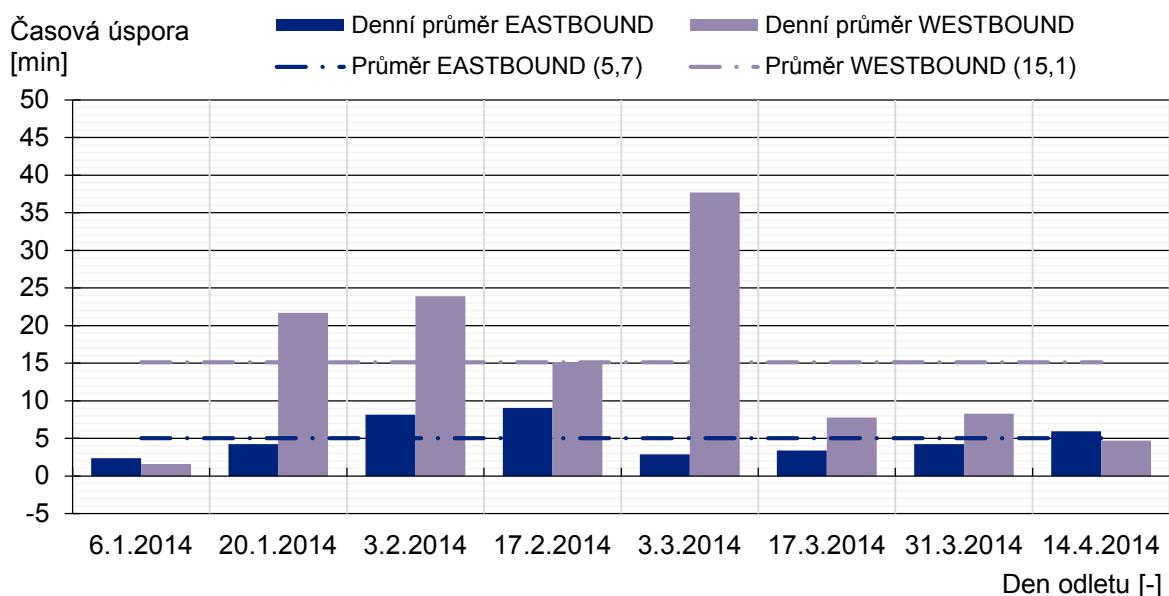


Obr. 4.11 Dosažené časové úspory během oceánské části letů společnosti BA [autor].

Z grafů lze vyčíst, že ve většině hodnocených dní byl let po skutečné trati letu časově výhodnější než by byl let po referenční trati. V grafu na obr. 4.13 je vidět, že průměrná časová úspora hodnocených letů je ve směru na východ 5,7 min, ve směru na západ 15,1 min. Větších úspor je tedy na oceánské části letu dosahováno při letech západním směrem a při snaze vyhnout se silnému západnímu proudění. Při porovnání skutečných a referenčních tratí směřujících na východ je však možné zjistit, že se jejich polohy od sebe liší výrazně méně, než je tomu u tratí směřujících na západ. Na těchto tratích tedy nelze předpokládat výrazné rozdíly ve směru a rychlosti větru ovlivňujícího lety po těchto tratích. Proto i potenciální urychlení oproti referenční trati je poměrně nevýrazné.



Obr. 4.12 Dosažené časové úspory během oceánské části letů společnosti LH [autor].

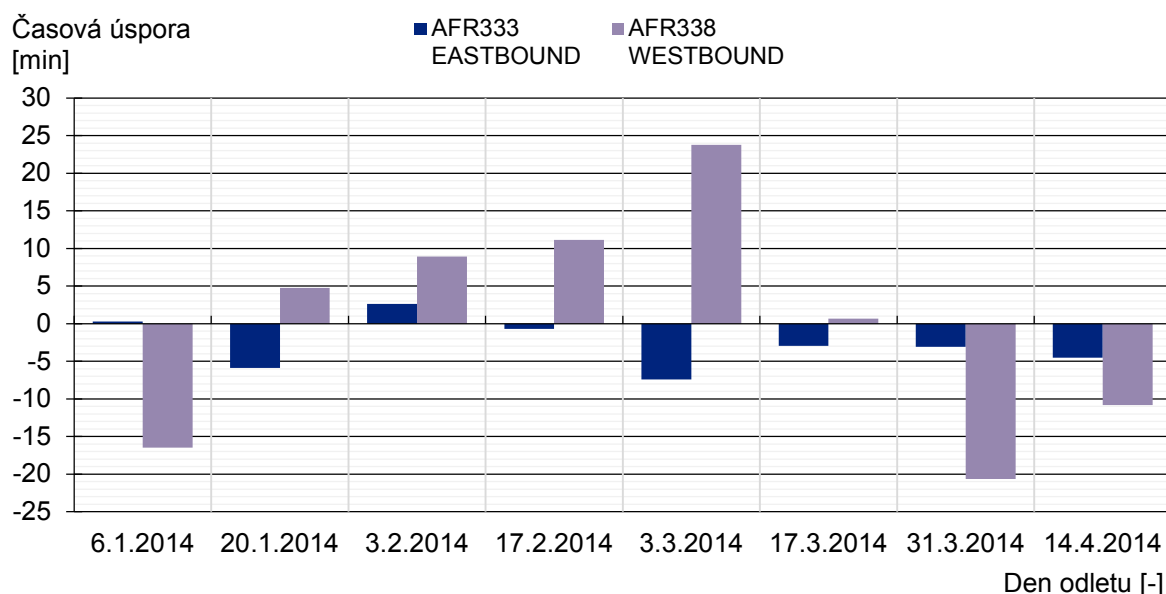


Obr. 4.13 Průměrné časové úspory v jednotlivých dnech a průměrné časové úspory oceánské části letů [autor].

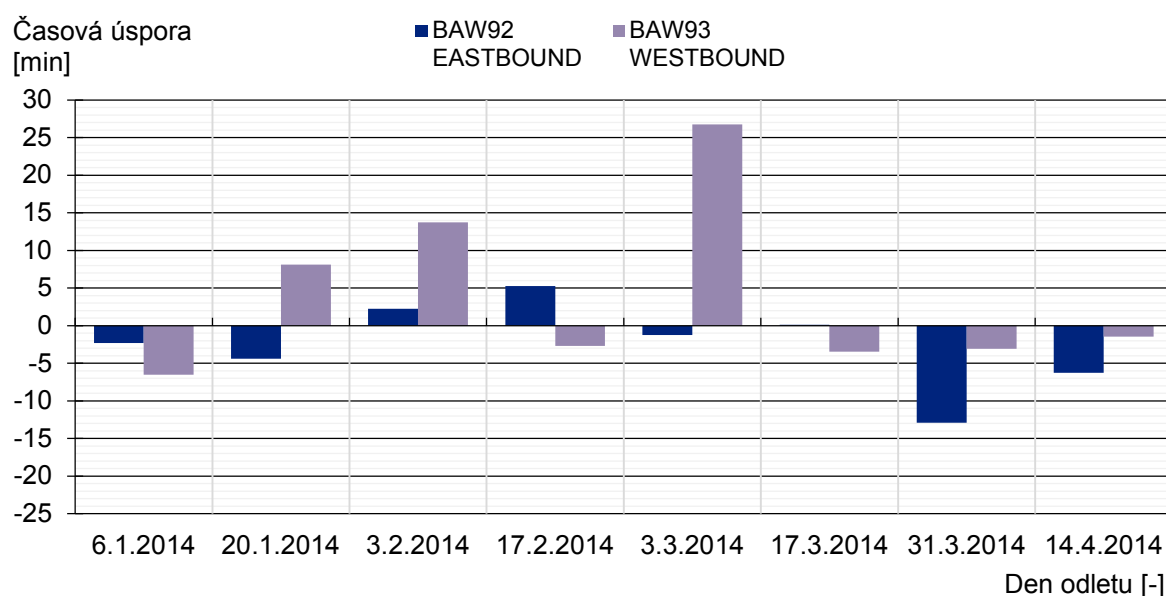
V grafech je také vidět, že jednoznačně největších časových úspor bylo v oceánské části na západ směřujících letů dosaženo dne 3. 3. 2014, kdy mělo proudění ze všech hodnocených dní nejideálnější polohu, směr a rychlost. Tato situace je vyobrazena na obr. 4.6 a na obr. 4.18, kde jsou zobrazené i skutečné a referenční tratě letů směřujících západním směrem. Na všech mapkách je izotacha s hodnotou $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ umístěna v oblasti změny bílé barvy na žlutou. Celé oceánské části referenčních tratí byly tedy umístěny v oblasti velmi silného převážně západního proudění, které již dosahuje rychlostí odpovídajících JTST.

4.6.2 Vyhodnocení metody celého hladinového letu

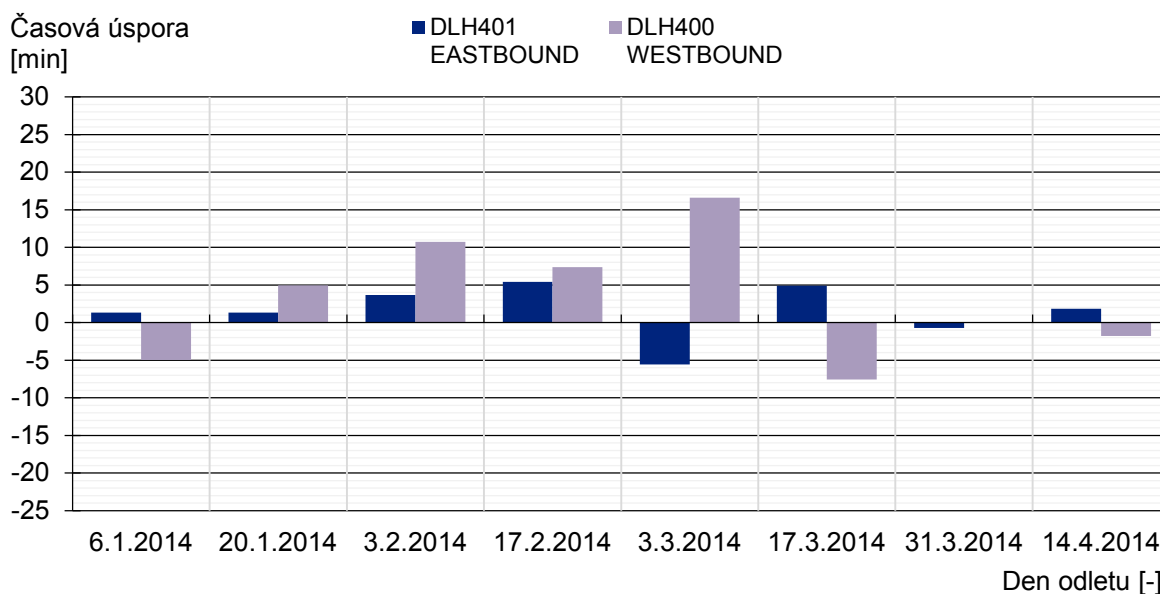
Následující grafy na obr. 4.14 až obr. 4.17 jsou sestaveny a seřazeny stejným způsobem, jako v předchozí podkapitole. Jedná se však již o vyhodnocení celého hladinového letu.



Obr. 4.14 Dosažené časové úspory během hladinových letů společnosti AF [autor].

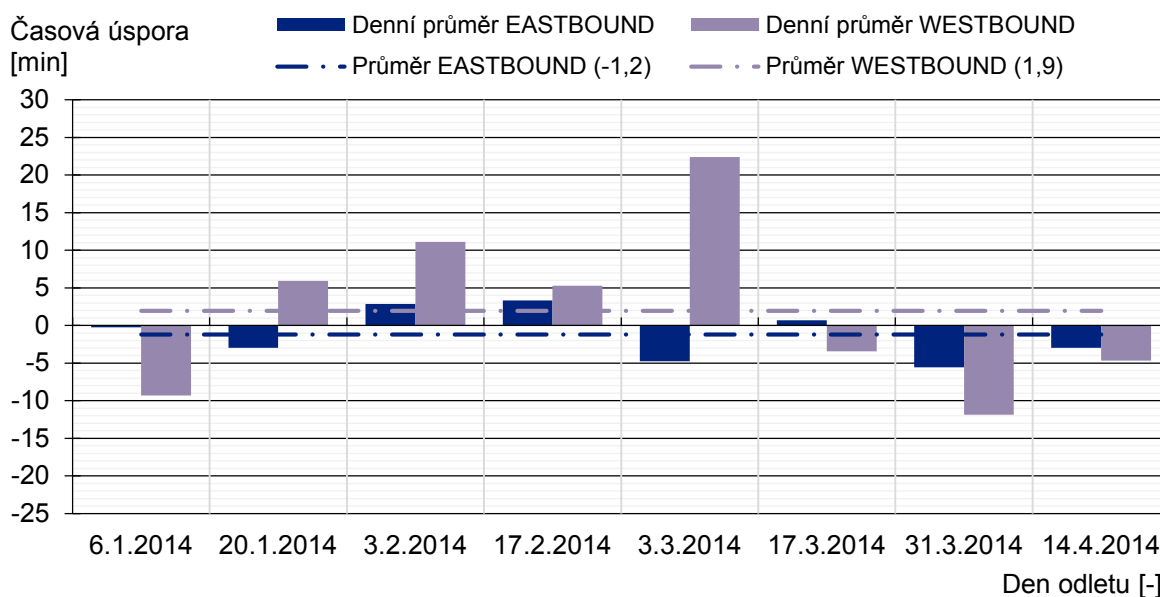


Obr. 4.15 Dosažené časové úspory během hladinových letů společnosti BA [autor].



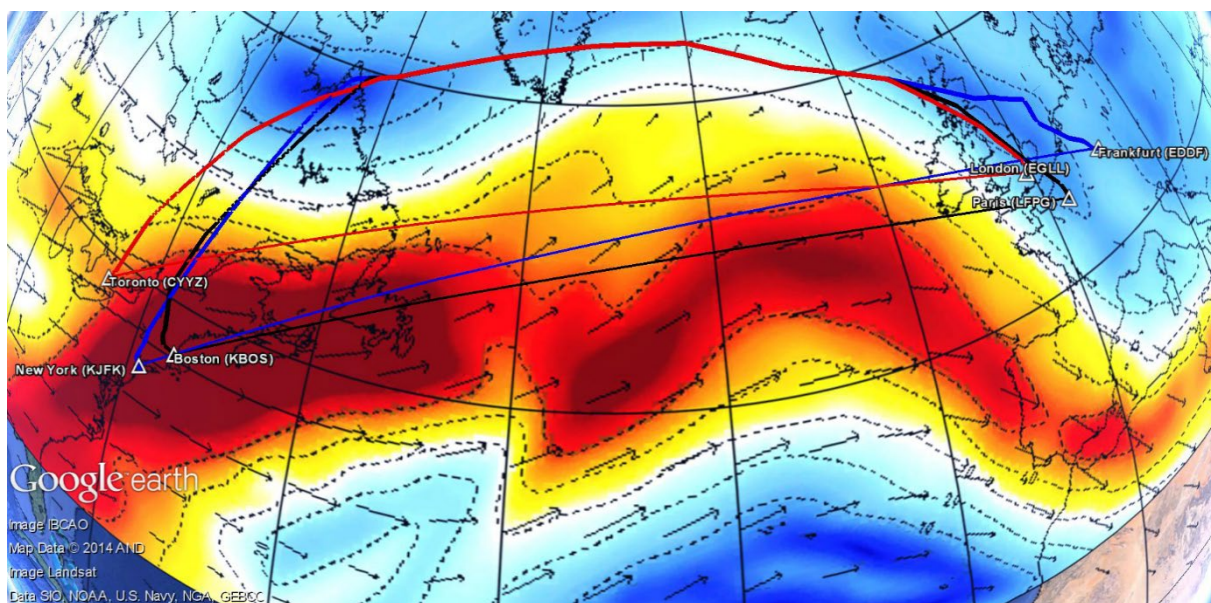
Obr. 4.16 Dosažené časové úspory během hladinových letů společnosti LH [autor].

Z pohledu na obr. 4.14 až obr. 4.16 je zřejmé, že při vyhodnocení celého hladinového letu již není možné mluvit o jednoznačných časových úsporách. I přes urychlení, které letoun většinou získá při letu nad oceánem, jsou nakonec časové úspory sporné. Opět je ale možné povšimnout si, že lety na západ jsou v průměru výhodnější (průměrně asi 2 min) než lety na východ, kde je průměr u hodnocených letů záporný a dochází tak naopak ke zpoždění, jak je vidět na obr. 4.17. Důležité je však opět datum 3. 3. 2014, kdy všechny lety na západ dosáhly úspory větší než 15 min. Jak již bylo uvedeno výše, v tento den mělo proudění v regionu NAT velmi vhodnou polohu pro provádění transatlantických letů. Tato situace je zobrazena na obr. 4.18, kde jsou zobrazeny všechny lety směřující na západ. Let BAW93 měl průměrnou letovou hladinu hladinového letu FL385, AFR338 FL360 a DLH400 FL355. Všechny lety přitom využily stejný publikovaný track a průměrná časová úspora v tento den byla 22,4 min.



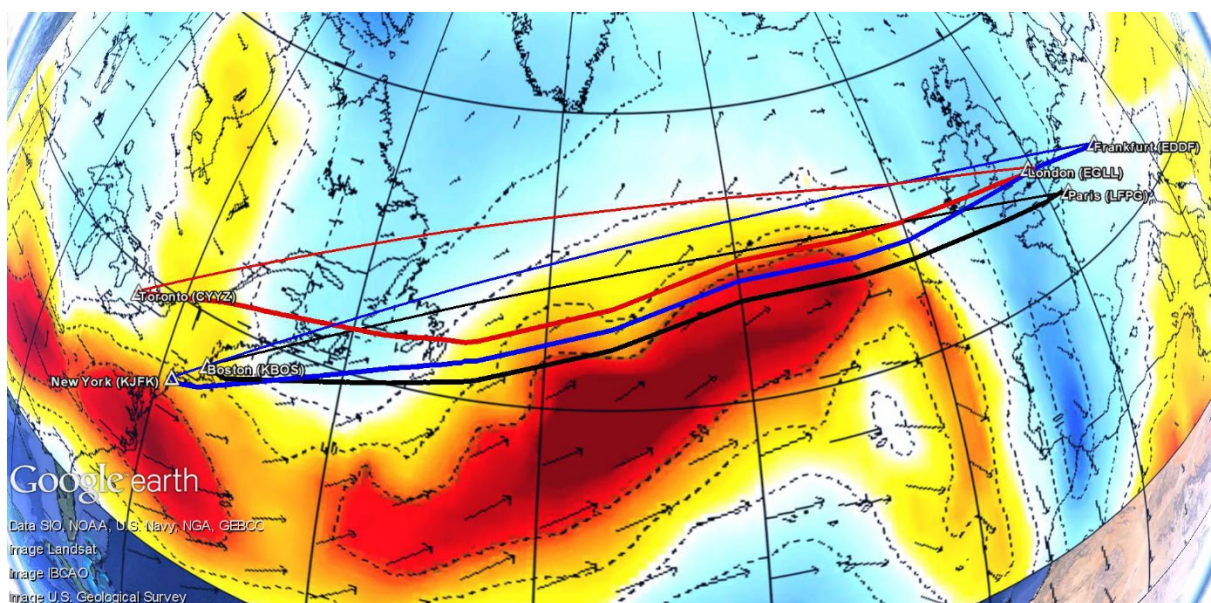
Obr. 4.17 Průměrné časové úspory v jednotlivých dnech a průměrné časové úspory hladinových letů [autor].

Vzhledem k velkému množství obrazových dat a jejich kombinaci je možné všechna data prohlížet v elektronické formě na přiloženém CD.



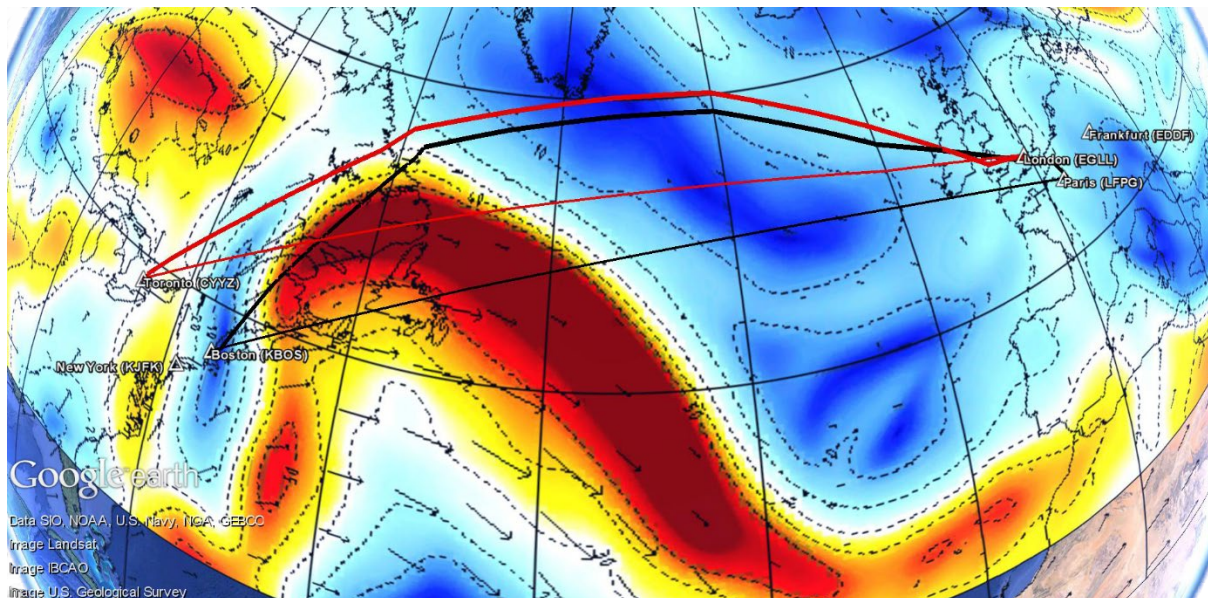
Obr. 4.18 Hodnocené lety na západ dne 3. 3. 2014 včetně jejich referenčních ortodromických tratí a mapy větru [autor].

V případě východních letů došlo k nevýraznějším úsporám dne 17. 2. 2014. Situace z tohoto dne je na obr. 4.19, kde jsou opět zobrazeny všechny hodnocené lety tohoto dne směřující na východ. Je vidět, že každý let použil jiný track, přičemž všechny tracky jsou umístěny tak, aby co největší část zasahovaly do JTST, které tyto lety urychluje. Rozdíly mezi skutečnými a referenčními ortodromickými tratěmi však nejsou příliš velké. Let BAW92 měl průměrnou letovou hladinu hladinového FL370, AFR333 FL355 a DLH401 FL375. Průměrná časová úspora v tento den byla 3,3 min.



Obr. 4.19 Hodnocené lety na východ dne 17. 2. 2014 včetně jejich referenčních ortodromických tratí a mapy větru [autor].

Na závěrečném příkladu na obr. 4.20 je uvedena situace ze dne 31. 3. 2014, konkrétně západní lety, kdy bylo využití tracků nejvíce nevýhodné a průměrná časová ztráta hladinového letu byla téměř 12 min. V tento den byl však let provozovatele Lufthansa zrušen a výkon tohoto letu není zahrnutý ani v uvedené průměrné hodnotě. Budou tedy zobrazeny pouze lety Air France a British Airways.



Obr. 4.20 Hodnocené lety na západ dne 31. 3. 2014 včetně jejich referenčních ortodromických tratí a mapy větru [autor].

Podle obr. 4.20 mělo proudění v tento den poměrně nevýhodnou pozici a je složité z této situace vytěžit nějaké časové úspory. Lze poznat, že využití tracků byly sestaveny tak, aby se lety vyhnuly silnému proudění severně od ostrova Newfoundland, avšak toto vyhnutí zřejmě nemělo takový efekt, aby došlo k úspoře oproti referenční trati. Zajímavé je však povšimnout si letových hladin těchto letů. Let provozovatele British Airways měl poměrně malé zpoždění. Tento let obsluhoval Boeing 787-800 a jeho průměrná letová hladina hladinového letu byla FL410. Provozovatel Air France na tento let nasadil letoun Boeing 747-400, který měl menší optimální letovou hladinu a letěl proto ve FL360.

4.6.3 Vyhodnocení ekonomických úspor

Nakonec tohoto vyhodnocení by bylo vhodné zhodnotit také ekonomickou stránku výše dosažených výsledků. Vzhledem k povaze dosažených výsledků je však obtížné takové zhodnocení provést, neboť průměrná časová úspora, která je navíc omezena pouze na hladinový let, se u západních letů pohybuje kolem 2 minut. Jako příklad je možné uvést spotřebu letounu Boeing 777-200, který obsluhoval většinu letů v tomto vyhodnocení. Jeho hodinová spotřeba paliva při zvolené hmotnosti 220 000 kg a hladinovém letu v tlakové výšce 37 000 ft je 3223 kg na jeden motor [42]. Tento letoun je dvumotorový, proto je jeho hodinová spotřeba 6446 kg. Za 2 minuty tedy letoun spotřebuje asi 215 kg pohonných hmot.

Podle [35] je aktuální průměrná cena leteckého paliva JET-A1 pro turbovrtulové a proudové motory \$2,98/USG, což odpovídá asi \$0,77/l paliva. Teoretická úspora za 2 minuty letu v těchto podmínkách je tedy asi \$165,5. Při uvažování ceny 20 Kč za \$1, je úspora nákladů na palivo asi 3310 Kč. Vzhledem k provedení celého letu se jedná

o zanedbatelnou částku, která je navíc v případě letů na východ, u kterých dochází spíše k časovým ztrátám, výrazně snížena, nebo dosahuje záporných hodnot. V případě 22minutové úspory, které bylo v průměru dosaženo u západních letů dne 3. 3. 2014, se však jedná o bezmála 36 500 Kč, což je cena blízká nebo i vyšší než cena jednosměrné letenky jednoho pasažéra ekonomickou třídou.

Není však možné jít do větších detailů, neboť chybí zásadní reálné údaje o vzletové hmotnosti těchto letů, nastaveném parametru CI (cost index), skutečné době letu a dalších, bez kterých je toto zhodnocení čistě teoretické a značně omezené. Je totiž například možné, že společnosti při východních letech, které jsou urychleny JTST volí menší parametr CI, a tak je dosaženo větší ekonomičnosti letů za cenu snížení traťové rychlosti, což však jistě vede také ke zkresleným představám o časových úsporách v tomto vyhodnocení i všeobecně.

Další nezanedbatelnou poznámkou je, že některá letiště mohou vybírat pokuty za předčasný, stejně jako zpožděný přílet. V obou případech je poté využívání JTST při těchto letech značně problematické a provozovatel musí pevně stanovit priority pro tyto případy.

Je tedy zřejmé, že využívání tracků sestavených jako kompromis působení několika faktorů je poměrně komplikované. Je však nutné říci, že se jedná o standardizovaný způsob a letouny mají po schválení FPL a obdržení oceánského povolení právo na svůj prostor v řízení letového provozu. Posádky ani provozovatelé se pak nemusí obávat možných komplikací v případech, kdy je pro ATCo složité povolit letounu požadovanou, pro něj ideální trať, pokud je s ostatním provozem konfliktní. Hodnotové vyjádření přínosu celého systému organizace a řízení letového provozu v regionu NAT je velice obtížné. I přesto, že by bylo možné takové zhodnocení provést, bylo by nutné pracovat s přesnými vstupními daty a rozsah takového vyhodnocení by zcela jistě přesáhl možnosti i rozsah vysokoškolských kvalifikačních prací navazujícího magisterského studia.

5 BUDOUCÍ SYSTÉMY PRO POUŽITÍ V OCEÁNSKÝCH PROSTORECH

Poslední kapitola této práce pouze okrajově pojedná o nových technologiích, které by umožnily lépe organizovat provoz v regionu NAT. Lze uvést například již zmíněný systém LIDAR, který by měl být nainstalován na nové generaci meteorologických satelitů. Ten by měl mimo jiné umožnit i pravidelná a poměrně přesná měření výškového větru včetně JTST. Tato kapitola však pojedná především o systému ADS-B, který se začal v roce 2013 postupně zavádět do zkušebního provozu v některých oblastech regionu NAT.

5.1 ADS-B

ADS-B, podle [25] Automatic dependend surveillance – broadcast, česky automatický závislý přehledový systém – vysílání, je svojí základní funkcí do značné míry podobný systému ADS-C. U systému ADS-C je však pro získání informací z letadla nutné, aby tento přenos iniciovala pozemní stanice. Letadlu je tedy nejdříve doručen příkaz v podobě určené zprávy a až poté reaguje na tuto žádost vysíláním informací, ať už je příkazem vyvoláno automatické, časově závislé vysílání, nebo jednorázové vysílání [9].

Systém ADS-B však funguje zcela automaticky, aniž by bylo nutné tento přenos iniciovat pozemní stanicí. Vysílání informací probíhá v tomto systému každých 0,5 s a letoun vybavený tímto systémem automaticky vysílá všem subjektům schopným tyto informace přijímat. Automaticky vysílané informace zahrnují identifikaci letadla, polohu letadla, geometrickou výšku, letovou hladinu, traťovou rychlost a vertikální rychlost letadla vzhledem k zemi. Vyjma identifikace letadla představující většinou imatrikulaci letadla nebo číslo letu zadané do systému a letovou hladinu, jež měří odpovídač SSR módu S vlastním tlakoměrem, jsou veškeré informace získány pomocí GNSS. Základní informace GNSS však není dostatečně přesná a důvěryhodná. Proto systém ADS-B vždy pracuje pouze za využití diferenčních systémů GNSS. Jedná se o systémy LAAS, především však WAAS, nebo v Evropě systém EGNOS [8].

ADS-B sebou přináší několik výhod, které jsou jasně znatelné nejen na palubě letadla, ale i na zemi při řízení letového provozu. Na palubě letadla může systém ADS-B zpřesnit informaci protisrážkových systémů ACAS a TCAS, výhledově bude možné zachytit vysílání pozemních ADS-B stanic poskytující aktuální zprávy METAR, TAF, SIGMET nebo i graficky zobrazitelný model SIGWX a radarové snímky. Poslední a velmi významnou výhodou na využití systému ADS-B na palubě letadel bude provádění LPV letů a LPV přiblížení. Jedná se o způsoby přístrojové navigace za letu, případně přiblížení, které je založené na informaci diferenčních systémů GNSS. Z pohledu řízení letového provozu může dojít k redukci minimálních laterálních rozstupů a výhledově až k úplnému nahrazení celé sítě SSR.

Systém se skládá ze dvou subsystémů. Prvním je ADS-B Out, který slouží k automatickému všesměrovému vysílání uvedených informací a druhým je ADS-B In, jež je schopný přijímat a zpracovávat informace vyslané z ADS-B Out okolního provozu nebo pozemních vysílačích ADS-B stanic. Existují dva prostředky umožňující provoz tohoto systému. Nasazení v obchodní letecké dopravě se však předpokládá pouze u jednoho z nich. Tímto prostředkem je technologie 1090ES (Extended Squitter) využívající odpovídače SSR módu S a pracující také na stejných frekvencích [8]. Druhým prostředkem je tzv. UAT, který má již dnes uplatnění ve všeobecném letectví v USA.

5.2 Využití ADS-B při transoceánských letech

Důležitá jsou však možná využití systému ADS-B při transoceánských letech. Tato využití jsou dnes označována jako ASAS z anglického Airborne separation assurance system. Jeho vývoj probíhá v programu ASSTAR v rámci projektů NextGen i SESAR. V systému ASAS vznikly mimo jiné tři aplikace, které jsou navrženy pro použití v OCA [7], [36]:

5.2.1 ASEP-ITF

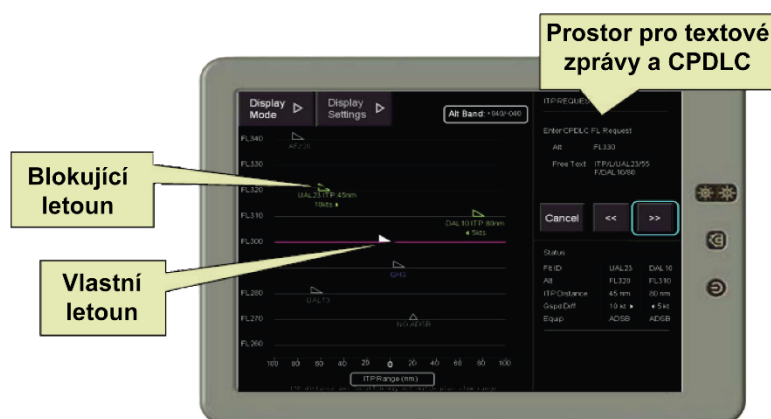
Nebo anglicky In-Trail Follow je aplikace vyvíjená za účelem snížení pracovní zátěže ATCo, zvýšení kapacity prostoru a efektivity letu. V této aplikaci dochází k přerozdělení odpovědností mezi ATCo a posádku. Zjednodušeně si lze aplikaci představit jako vláček letadel. Posádka může na vstupním bodě OCA obdržet instrukci, aby udržovala určitou vzdálenost nebo čas od určeného letadla. Takto lze úplně nahradit nyní používaný systém Machova čísla. Posádka by byla vybavena novými funkcemi palubního vybavení, které by umožnilo takové manévry provádět. Příklad tohoto vybavení je na obr. 5.1.

5.2.2 ASEP-ITP

Z anglického In-Trail Procedure je aplikace vyvíjená pro zvýšení efektivity letu. V současnosti je kvůli procedurálnímu systému řízení v oceánských prostorech obtížné změnit letovou hladinu. ATCo povolí změnu pouze v případě, že budou dodrženy všechny předepsané rozstupy, což je bez radarového přehledu během dopravních špiček obtížné. Pro letadlo je však výhodné s postupným spalováním paliva zvyšovat letovou hladinu. Tato aplikace předpokládá přerozdělení odpovědnosti mezi ATCo a posádku a také dočasné snížení minimálních podélných rozstupů během stoupání a klesání. Aplikace by byla schopna dodržet během těchto manévru požadované rozstupy od určeného letadla.

5.2.3 SSEP-FFT

Self-separation in an OTS je variantou konceptu Free Flight upravenou pro OTS. Letadlo by s touto aplikací bylo schopno samo udržovat minimální rozstupy od veškerého okolního provozu s tím omezením, že by se mohlo laterálně pohybovat pouze po určeném tracku, avšak jeho vertikální poloha a rychlost by omezeny nebyly a mohly by tak být libovolně zvoleny posádkou. Jedná se však zřejmě o časově velice vzdálenou aplikaci, jejíž implementace bude trvat velmi dlouho.



Obr. 5.1 Palubní vybavení systému ASAS se zobrazením okolního provozu [46].

ZÁVĚR

V roce 1933, kdy pilot Wiley Post měl jako první možnost zažít účinky tryskového proudění, si jen velmi málo lidí dokázalo představit, jakou mírou v budoucnu tento jev ovlivní lidskou činnost. Na konci roku 1952 bylo tryskové proudění poprvé záměrně využito v civilní letecké dopravě, čímž se zkrátil čas daného letu o zhruba 60 %. Dnes je tryskové proudění běžnou součástí letání na velké vzdálenosti. Jedná se však o komplexní meteorologický jev, jehož charakteristiky jsou úzce závislé na mnoha meteorologických prvcích. Kvůli tomu a výšce, ve které se tryskové proudění vyskytuje, je poměrně obtížné vytvářet přesné meteorologické modely, které jej popisují i v oblastech, kde nelze provádět žádná místní měření. Z modelů se poté vytvářejí různé druhy map a výstrah, které se používají jak při plánování letů, tak na palubách letadel.

Vzhledem ke skutečnosti, že oblast severního Atlantského oceánu je poměrně odlehlá a neumožňuje zavést radarové pokrytí, je organizace a řízení letového provozu poměrně náročné a v určitých ohledech odlišné od způsobů řízení letového provozu v kontinentálním vzdušném prostoru. Proto je také nutné transoceánský provoz organizovat do ucelených proudů na několika předem stanovených tratích v předem stanovených časech. Taková organizace však není zcela ideální pro jednotlivé lety, neboť se jedná o kompromis mezi požadavky mnoha různých dopravců provozujících velké množství linek. Z toho důvodu existuje v organizaci letového provozu snaha co nejlépe využívat informace o tryskovém proudění, a tím zvýšit letové výkony v oceánském provozu. To však s sebou nese i mnoho nevýhod, které mohou nárůst výkonů převýšit.

Vyhodnocení 47 transatlantických letů v této práci bylo založeno na málo přesných vstupních datech, která byla k dispozici. Chybná data byla nahrazena teoretickými hodnotami, čímž se vyhodnocení posunulo pouze do teoretické roviny. Pro posouzení letových výkonů byla zvolena velmi přísná kritéria, jež však nejlépe odpovídají skutečným záměrům leteckých provozovatelů. Těmi jsou maximalizace letových výkonů a efektivnosti letu a z toho plynoucí minimalizace nákladů na provedení letu.

Z vyhodnocení vyplývá, že oceánská část letu plánovaná na základě předpovědi tryskového proudění je výhodnější než oceánská část ortodromické tratě. Průměrná časová úspora je asi 6 minut u letů na východ a asi 15 minut u letů na západ. Organizacím plánující tratě pro tento provoz se tedy daří zvyšovat letové výkony správným využitím informací o tryskovém proudění. Přizpůsobení letu těmto tratím je však spojeno s prodloužením trasy letu, které vede k časovým ztrátám, jež mohou tyto úspory převýšit. Tratě je však někdy obtížné plánovat, neboť charakteristiky tryskového proudění se stále mění. Pro dostatečné zvýšení letových výkonů je nutné, aby bylo tryskové proudění v optimální pozici a mělo vhodný tvar, směr i intenzitu. Taková situace však nastává poměrně zřídka.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ASR, Inc.. *Selective Calling (SELCAL) Users Guide*. Annapolis: Aviation Spectrum Resources, Inc., 2013. 35 s. 61742 REV C.
- [2] ČHMÚ - Upper Air and Surface Observation Department. *Ozone Measurement*. CHMI.cz [online]. © 1998-2004 [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: http://old.chmi.cz/meteo/oap/eoap_ozone.html
- [3] DVOŘÁK, P. *Letecká meteorologie: Učebnice meteorologie pro piloty kvalifikace UL, GLD, PPL, CPL, ATPL a všechny ostatní, kteří potřebují odborné znalosti letecké meteorologie*. 2. vyd. Cheb: Svět křidel, 2010. 481 s. ISBN 978-80-86808-85-7.
- [4] EASA AMC 20-11. *Acceptable Means of Compliance for the Approval of use of Initial Services for Air-Ground Data Link in Continental Airspace*. Annex IV to ED Decision 2007/019/R of 19/12/2007. Cologne: European Aviation Safety Agency, 2007. 8 s.
- [5] ELMS, J. *Instruments and Observing Methods Report No. 80: WMO Catalogue of radiosondes and upper-air wind systems in use by members in 2002 and compatibility of radiosonde geopotential measurements for period from 1998 to 2001*. Geneva: World Meteorological Organisation, 2003. 219 s. WMO/TD No. 1197.
- [6] ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. *Jet stream*. Britannica.com [online]. ©2014 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/303269/jet-stream/>
- [7] EUROCONTROL & FAA Cooperative R&D. *Principles of Operation for the Use of Airborne Separation Assurance Systems*. Vyd. 7.1. EUROCONTROL, 2001. 52 s.
- [8] FAA 14 CFR Part 91. *Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) Out Performance Requirements To Support Air Traffic Control (ATC) Service*. Final Rule. Washington: Federal Aviation Administration, 2010. 37 s.
- [9] FAA PU-10 SPR. *SAFETY AND PERFORMANCE STANDARD FOR BASELINE 2 ATS DATA COMMUNICATIONS*. Version M. Chapter 6. Automatic Dependent Surveillance - Contract (ADS-C) Application. Washington: Federal Aviation Administration, 2013. 42 s.
- [10] FAIRBRIDE, Rhodes W., OLIVER John E. *The Encyclopedia of climatology*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987. 276 s. ISBN 08-793-3009-0.
- [11] HÁČIK, L'. *Lidská výkonnost a omezení (040 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 96 s. ISBN 80-7204-471-0.
- [12] HOLTON, James R. *AN INTRODUCTION TO DYNAMIC METEOROLOGY*. 4. vyd. Burlington: Elsevier Academic Press, 2004. 535 s. ISBN: 0-12-354015-1.
- [13] ICAO Doc 7030 (NAT). *NORTH ATLANTIC (NAT) REGIONAL SUPPLEMENTARY PROCEDURES*. 2014. Montreal: ICAO, 2014. 43 s.
- [14] ICAO NAT Doc 003. *High Frequency Management Guidance Material For the North Atlantic Region*. Version 2.0. Neuilly sur Seine: ICAO EUR/NAT Office, 2012. 43 s.

- [15] ICAO NAT Doc 006 – Part I. *AIR TRAFFIC MANAGEMENT OPERATIONAL CONTINGENCY PLAN NORTH ATLANTIC REGION*. First Edition. Neuilly sur Seine: ICAO EUR/NAT Office, 2013. 143 s.
- [16] ICAO NAT Doc 007. *NORTH ATLANTIC OPERATIONS AND AIRSPACE MAUAL*. Edition 2013. Neuilly sur Seine: ICAO EUR/NAT Office, 2013. 200 s.
- [17] ICAO. *Global Operational Data Link Document (GOLD)*. 2 vyd. Montreal: ICAO, 2013. 404 s.
- [18] ICAO. *SADIS User Guide*. Fifth Edition – June 2012. Prepared by the ICAO Satellite Distribution System Operations Group (SADISOPSG). Montreal: ICAO, 2012. 105 s.
- [19] ICAO. *Satellite Voice Guidance Material (SVGM)*. 1. vyd. Montreal: ICAO, 2012. 119 s.
- [20] JetPlan. *LATEST PROPOSED WESTBOUND (ABC) TRACKS*. JetPlan.com [online]. ©2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.jetplan.com/tda/westLatest.html>
- [21] KIDDER, Stanley Q., VONDER HAAR, Thomas H. *Satellite Meteorology: an introduction*. San Diego: Academic Press, 1995. 466 s. ISBN 01-240-6430-2.
- [22] KRAČMÁR, J., KRŠKA, K., SOBOTA, J., SVATOŠ, V. *Meteorologie (050 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 305 s. ISBN 80-7204-447-8.
- [23] L 2. *Letecký předpis pravidla létání*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2013. 104 s. Uveřejněno pod číslem jednacím 25344/99-220.
- [24] L 3. *Letecký předpis meteorologie*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2013. 157 s. Uveřejněno pod číslem jednacím 584/2008-220-SP/4.
- [25] L 8400. *Letecký předpis zkratky a kódy*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2011. 108 s. Uveřejněno pod číslem jednacím 710/2007-220-SP/2.
- [26] L Frazieologie. *Letecký předpis radiotelefonní postupy a letecká frazeologie a terminologie pro poskytování letových provozních služeb a provádění letů*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2013. 122 s. Uveřejněno pod číslem jednacím 990/2006-220-SP/1.
- [27] NASA Visualization Explorer. *AERIAL SUPERHIGHWAY*. NASA.gov [online]. ©2012 [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a010900/a010902/>
- [28] NASH J., OAKLEY, T., VÖMEL, H., WEI, L. *Instruments and Observing Methods Report No. 107: WMO Intercomparison of high quality radiosonde systems*. Geneva: World Meteorological Organisation, 2011. 248 s. WMO/TD No. 1580.
- [29] NATS. *Trackwise: Targeting Risk Within The Sahnwick OCA* [film]. itl video. Whiteley: NATS, 2012.
- [30] NAV CANADA. *GANDER ANS: Operating In Oceanic Airspace*. Ottawa: NAV CANADA, 2010. 39 s.

- [31] North Atlantic Tracker. *Enroute Flightplanning Resource & Archive (flight simulation only)*. Blackswan.ch [online]. ©2014 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://blackswan.ch/nat/>
- [32] NOVÁKOVÁ, L. Osobní konzultace dne 17. 4. 2014. Reading & Brno.
- [33] OAA. *Joint Aviation Authorities Airline Transport Pilot's Licence 050 METEOROLOGY: Theoretical knowledge manual*. 1. vyd. Frankfurt: Oxford Aviation Services Limited & Jeppesen GmbH, 2001. 544 s. ISBN 08-848-7286-6.
- [34] PETTERSEN S. *WEATHER ANALYSIS AND FORECASTING: a textbook on synoptic meteorology*. 1. vyd. New York: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1940. 505 s.
- [35] PLATTS McGRAW HILL FINANCIAL. *Platts Jet Fuel*. Platts.com [online]. ©2014 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.platts.com/JetFuel/Prices>
- [36] SESAR ASAS-TN2. *WP3 ASAS application maturity assessment*. Rome: SESAR, 2006. 36 s.
- [37] SOBÍŠEK, B. a kol. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. 1. vyd. Praha: Academia & Ministerstvo životního prostředí ČR, 1993. 594 s. ISBN 80-853-6845-5.
- [38] STAVOVČÍK, B. *Obecná navigace (061 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 311 s. ISBN 978-80-7204-576-1.
- [39] SWISS AviationTraining. *Controller Pilot Data-Link Communications (CPDLC)*. SWISS-Aviation-Training.com [online]. ©2014 [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.swiss-aviation-training.com/en/training/controller-pilot-data-link-communications-cpdlc>
- [40] ŠVEC, M. *Vliv větru na provoz letišť v ČR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 54 s. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Karel Krška, CSc.
- [41] TAYLOR, Frank J. *The jet stream is the villain*. Popular mechanics magazine. 1958. s. 96.
- [42] THE BOEING COMPANY. *777-2Z9 Operations Manual. Lauda Air Luftfahrt AG*. 15. rev. Seattle: Boeing, 1997. 1378 s. Document Number D632W001-LAL.
- [43] VAISALA. Vaisala Radiosonde RS92-SGP Datasheet. Helsinky: Vaisala Oyj, 2013. 2 s. Ref. B210358EN-F.
- [44] VOLNER, R. a kol. *Flight Planning Management*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 630 s. ISBN 978-80-7204-496-2.
- [45] VOSECKÝ, S. *Radionavigace (062 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 238 s. ISBN 80-7204-448-6.

- [46] WEBER, R. *Avionics Solutions for ADS-B: Safety and Traffic Surveillance Systems*. Honeywell 2012. 16 s.
- [47] WMO. *AMDAR*. WMO.com [online]. ©2012 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: http://www.wmo.int/pages/prog/www/GOS/ABO/AMDAR/AMDAR_Airlines.html
- [48] WMO. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*: 2008 edition updated in 2010. Geneva: World Meteorological Organisation, 2008. 681 s. WMO-No. 8. ISBN 978-92-63-100085.
- [49] WMO. *International meteorological vocabulary*. Geneva: World meteorological organization, 1966. 276 s. WMO/OMM/BMO – No. 182. TP. 91.
- [50] WMO. *WWRP-THORPEX a World Weather Research Programme. TIGGE Leaflet*. Geneve: World meteorological organization, 2010. 4 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
\$	Dollar	dolar
Ac	Altocumulus	altokumulus
Ac len	Altocumulus lenticularis	altokumulus lenticularis
ACARS	Aircraft communication addressing and reporting system	letadlový komunikační adresní a oznamovací systém
ACAS	Airborne collision avoidance system	palubní protisrážkový systém
ACC	Area control centre	oblastní středisko řízení
ADC	Air data computer	aerometrická centrála
ADS-B	Automatic dependend surveillance – broadcast	automatický závislý přehledový systém - vysílání
ADS-C	Automatic dependend surveillance – contract	automatický závislý přehledový systém - kontrakt
AF	Air France (operator's code)	Air France (označení provozovatele)
AFR	Air France flight number code	označení čísla letu Air France
AFTN	Aeronautical fixed telecommunication network	letecká pevná telekomunikační síť
AIP	Aeronautical information publication	letecká informační příručka
AIRAC	Aeronautical information regulation and control	regulovaný systém řízení leteckých informací
AMDAR	Aircraft meteorological data relay	letadlové vysílání meteorologických dat*
AMSL	Above mean sea level	nad střední hladinou moře
ASAS	Airborne separation assurance system	palubní systém pro zajištění rozstupů*
ASEP	Airborne separation	zajištění požadovaných rozstupů*
ASSTAR	Advanced safe separation technologies and algorithms	pokročilé technologie a algoritmy bezpečných rozstupů*
AT	Absolute topography	absolutní topografie
ATC	Air traffic control (in general)	řízení letového provozu (všeobecně)
ATCo	Air traffic controller	řídící letového provozu

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
ATIS	Automatic terminal information service	automatická informační služba koncové řízené oblasti
ATM	Air traffic management	Uspořádání letového provozu
ATS	Air traffic services	letové provozní služby
BA	British Airways (operator's code)	British Airways (označení provozovatele)
BAW	British Airways flight number code	označení čísla letu British Airways
C	Coriolis force (Geostrophic force) [N]	Coriolisova síla (uchylující síla zemské rotace) [N]
CAT	Clear air turbulence	turbulence v bezoblačném prostoru
Cc	Cirrocumulus	cirokumulus
CDU	Control display unit	řídící a zobrazovací jednotka FMS*
Ci	Cirrus	cirus
CI	Cost index	index ekonomické náročnosti letu*
Ci un	Cirrus uncinus	cirus uncinus
CMC	Canadian meteorological centre	Kanadské meteorologické centrum
CNS	Communications, navigation and surveillance	spojení, navigace a přehled
cos	Cosine (goniometric function)	kosinus (goniometrická funkce)
cot	Cotangent (goniometric function)	kotangens (goniometrická funkce)
CPDLC	Controller-pilot data link communications	komunikace datovým spojem mezi řídícím a pilotem
CYYZ	Toronto Pearson International airport ICAO code	směrovací značka ICAO letiště Pearson International, Toronto
ČHMÚ	Czech hydrometeorological institute	Český hydrometeorologický ústav
D	Drift angle	úhel snosu
d	Great circle distance [NM]	délka ortodromy [NM]
d₁	Length of first part of examined track [NM]	délka hodnocené první části tratě [NM]
d₂	Length of second part of examined track [NM]	délka hodnocené druhé části tratě [NM]

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
d₃	Length of third part of examined track [NM]	délka hodnocené třetí části tratě [NM]
d_{co}	Corrected length of track used in oceanic part method [NM]	opravená délka tratě použitá v metodě oceánské části letu [NM]
d_{FL}	Total length of examined track [NM]	celková délka hodnocené tratě [NM]
DLH	Lufthansa flight number code	označení čísla letu Lufthansa
d_o	Length of track used in oceanic part method [NM]	délka tratě použitá v metodě oceánské části letu [NM]
E	East	východ
ECMWF	European centre for medium-range weather forecasts	Evropské centrum pro střednědobou předpověď počasí*
EDDF	Frankfurt/Main airport ICAO code	směrovací značka ICAO letiště Frankfurt/Main
EGLL	London Heathrow airport ICAO code	směrovací značka ICAO letiště Heathrow, Londýn
EGNOS	European geostationary navigation overlay system	služba evropského překryvného segmentu globální navigace
ELT	Emergency locator transmitter	polohový maják nehody
ES	Extended squitter (technology)	rozšířené vysílání použitím odpovídače SSR módu S (technologie)*
ETA	Estimated time of arrival	předpokládaný čas příletu
EUR	Europe (region)	Evropa (region)
FAA	Federal aviation administration	Federální letecký úřad
FDD	Flight data display	displej letových dat*
FFT	Free flight in an organised track system	koncept volného letu v systému organizovaných tratí*
FIR	Flight information region	letová informační oblast
FL	Flight level	letová hladina
FMS	Flight management system	palubní systém pro řízení letadla a optimalizaci letu
FPL	Filed flight plan (message type designator)	podaný letový plán (označení druhu zprávy)
ft	Foot (0,305 m)	stopa (0,305 m)

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
G	Horizontal pressure gradient force [N]	síla horizontálního tlakového gradientu [N]
GAATS	Gander automated air traffic system	automatizovaný systém letového provozu používaný střediskem Gander*
GDD	Graphical data display	displej grafických dat*
GNSS	Global navigation satellite system	globální navigační satelitní systém
GRIB	General regularly-distributed information in binary form	obecné pravidelně rozšiřované informace v binární formě
GS	Ground speed	traťová rychlost
GS₁	Average ground speed along first part of examined track [kt]	průměrná traťová rychlost na první části hodnocené tratě [kt]
GS₂	Average ground speed along second part of examined track [kt]	průměrná traťová rychlost na druhé části hodnocené tratě [kt]
GS₃	Average ground speed along third part of examined track [kt]	průměrná traťová rychlost na třetí části hodnocené tratě [kt]
GS₀	Average ground speed along track used in oceanic part method [kt]	průměrná traťová rychlosti na trati použité v metodě oceánské části letu [kt]
h	Hour (3600 s)	hodina (3600 s)
HDG	Heading	kurz
HF	High frequency	krátké vlny
hPa	hectopascal (100 Pa)	hektopascal (100 Pa)
i	index (defined)	index (definováno)
ICAO	International civil aviation organisation	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFR	Instrument flight rules	pravidla pro let podle přístrojů
INS	Inertial navigation system	inerční navigační systém
IRS	Inertial reference system	inerční referenční systém
ITF	In-trail follow	let ve vleku*
ITP	In-trail procedure	postup pro let ve vleku*
ITU	International telecommunication union	Mezinárodní telekomunikační unie

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
JTST	Jet stream	tryskové proudění
K	Kelvin	kelvin
KBOS	Boston Logan International airport ICAO code	směrovací značka ICAO letiště Logan International, Boston
Kč	Czech crown	koruna česká
kg	kilogram	kilogram
kHZ	kilohertz (10^3 Hz)	kilohertz (10^3 Hz)
KJFK	New York Kennedy International airport ICAO code	směrovací značka ICAO letiště Kennedy International, New York
km	kilometer (1000 m)	kilometr (1000 m)
kt	Knot ($0,514 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)	uzel ($0,514 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)
l	Litre or wave length [m]	litr nebo délka vlny [m]
LAAS	Local area augmentation system	system rozšíření pro malé oblasti (diferenční system GNSS)
LEO	Low Earth orbit	nízká oběžná dráha Země
LFPG	Paris Charles de Gaulle airport ICAO code	směrovací značka ICAO letiště Charles de Gaulle, Paris
LH	Lufthansa (operator's code)	Lufthansa (označení provozovatele)
LIDAR	Light detection and ranging or laser detection and ranging	světelný lokátor nebo laserový lokátor
LPV	Localizer performance with vertical guidance	výkonnost směrového majáku s vertikálním vedením
LRNS	Long range navigation systems	navigační systémy dalekého dosahu*
M	Mach number	Machovo číslo
m	Meter or mass of air particle	metr nebo hmotnost vzduchové částice
METAR	Aerodrome routine meteorological report (in meteorological code)	pravidelná letištní zpráva (v meteorologickém kódu)
MHz	Megahertz (10^6 Hz)	Megahertz (10^6 Hz)
min	Minute (60 s)	minuta (60 s)
MNPS	Minimum navigation performance specifications	specifikace minimální navigační výkonnosti

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
MTT	Minimum time track	trať nejkratšího času*
N	North	sever
n	Length of perpendicular line to isobar in the defined horizontal plain [m]	délka normály k izobare v definované horizontální rovině [m]
NARS	North American routeing scheme	traťové schéma Severní Ameriky
NASA	National aeronautics and space administration	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NAT	North Atlantic (region)	severní Atlantik (region)
NERS	North Atlantic European routeing scheme	evropské traťové schéma pro severní Atlantský oceán
NextGen	Next generation (USA ATM research programme)	další generace (výzkumný program ATM v USA)*
NIL	Nothing	nic
NM	Nautical mile (1852 m)	námořní míle (1852 m)
NOAA	National oceanic and atmospheric administration	Národní úřad pro oceány a atmosféru
NOTAM	A notice distributed by means of telecommunication containing information concerning the establishment, condition or change in any aeronautical facility, service, procedure or hazard, the timely knowledge of which is essential to personnel concerning with flight operations	Oznámení rozšiřované telekomunikačními prostředky, obsahující informaci o zřízení, stavu nebo změně kteréhokoli leteckého zařízení, služby nebo postupů, nebo o nebezpečí, jejichž včasná znalost je nezbytná pro pracovníky, kteří se zabývají letovým provozem
O	Centrifugal force [N]	odstředivá síla [N]
OAC/OACC	Oceanic area control centre	oceánské oblastní středisko řízení
OCA	Oceanic control area	oceánská řízená oblast
OFP	Operation flight plan	operační letový plán
OTA	Oceanic transition area	oceánská převodová oblast*
OTS	Organised track system	systém organizovaných tratí
p	Atmospheric pressure [Pa]	atmosférický tlak [Pa]
Pa	Pascal [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$]	Pascal [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$]

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
PALT	Pressure altitude	tlaková výška
PANS	Procedures for air navigation services	postupy pro letové navigační služby
PRM	Preferred route message	zpráva o preferované trati*
PSP	Polar stereographic projection	polární stereografická projekce
r	Radius [m]	radius [m]
RDF	Radio direction finder	rádiový zaměřovač
RNP	Required navigation performance	požadovaná navigační výkonnost
RSP	Regional supplementary procedures	regionální doplňkové postupy
RVSM	Reduced vertical separation minimum	snížené minimum vertikálního rozstupu
S	South	jih
s	Second	sekunda
SAATS	Shanwick automated air traffic system	automatizovaný systém letového provozu používaný střediskem Shanwick*
SAT	Static air temperature	statická teplota vzduchu
SATCOM	Satellite communication	komunikace prostřednictvím satelitu
SELCAL	Selective calling system	systém výběrového volání
SESAR	Single European sky ATM research	výzkum ATM pro jednotné evropské nebe*
SIGMET	Information concerning en-route weather phenomena which may affect the safety of aircraft operations	informace o meteorologických jevech na trati, které mohou ovlivnit bezpečnost letového provozu
SIGWX	Significant weather	význačné počasí
sin	Sine (goniometric function)	sinus (goniometrická funkce)
SLOP	Strategic lateral offset procedure	strategická procedura příčné paralelní tratě*
SODAR	Sonic detection and ranging	akustický lokátor
SSEP	Self separation	vlastní zajištění rozstupů*
SSR	Secondary surveillance radar	sekundární přehledový radar

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
SWH	Significant weather - high level chart	mapa význačného počasí ve vysokých hladinách
t₁	Flight time of first part of examined track [min]	letový čas na první části hodnocené tratě [min]
t₂	Flight time of second part of examined track [min]	letový čas na druhé části hodnocené tratě [min]
t₃	Flight time of third part of examined track [min]	letový čas na třetí části hodnocené tratě [min]
TAF	Aerodrome forecast	letištní předpověď
tan	Tangent (goniometric function)	tangens (goniometrická funkce)
TAS	True air speed	pravá vzdušná rychlost
TAT	Total air temperature	celková teplota vzduchu
TCAS	Traffic alert and collision avoidance system	provozní výstražný protisrážkový systém
t_{co}	Corrected flight time of track used in oceanic part method [min]	opravený letový čas na trati použité v metodě oceánské části letu [min]
t_{FL}	Total flight time of examined track [min]	celkový letový čas hodnocené tratě [min]
THORPEX	The Observing System Research and Predictability Experiment	experiment výzkumu a předvídatelnosti sledovacího systému*
TIGGE	THORPEX interactive grand global ensemble	velké globální interaktivní sestavení programu THORPEX*
TK	Track	trať
TMI	Track message identification	identifikace traťové zprávy*
t_o	Flight time of track used in oceanic part method [min]	letový čas na trati použité v metodě oceánské části letu [min]
UAT	Universal access transceiver	přijímač pro univerzální přístup*
USA	United States of America	Spojené státy americké
USG	US Gallon (3,79 l)	americký gallon (3,79 l)
UTC	Coordinated universal time	světový koordinovaný čas
v	Velocity of air particle [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	rychlost vzduchové částice [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
VDL	VHF data link	VHF datové spojení*

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
VFR	Visual flight rules	pravidla pro let za viditelnosti
VHF	Very high frequency	velmi krátké vlny
VRV	Velocity of Rossby waves [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	rychlost postupu Rossbyho vln [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
VZZP	Velocity of westerly zonal wind [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	rychlost západního zonálního proudění [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
W	West	západ
WAAS	Wide area augmentation system	systém rozšíření pro velké oblasti (diferenční systém GNSS)
WAFS	World area forecast system	Světový oblastní předpovědní systém
WD	Wind direction	směr větru
WILCO	"Will comply"	"provedu"
WMO	World meteorological organisation	Světová meteorologická organizace
WPR	Wind profiler radar	radar k profilaci větru*
WS	Wind speed	rychlost větru
WST	Wind shear turbulence	turbulence v bezoblačném prostoru
WWW	World weather watch	Světová služba počasí
y	Distance on coordinate axis ascending to the north [m]	vzdálenost na souřadnicové ose směřující k severu [m]
Z	Zulu	čas podle UTC
α	Angle between GS/TK and TAS/HDG vectors	úhel svírající vektory GS/TK a TAS/HDG
β	Angle between WS/WD and TAS/HDG vectors or Rossby's parameter [$\text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]	úhel svírající vektory WS/WD a TAS/HDG nebo Rossbyho parametr [$\text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$]
γ	Angle between WS/WD and GS/TK vectors	úhel svírající vektory WS/WD a GS/TK
δ	Great circle origin heading [$^{\circ}$]	počáteční kurz ortodromy [$^{\circ}$]
λ_1	Origin longitude [$^{\circ}$]	zeměpisná délka počátečního bodu [$^{\circ}$]
λ_2	Destination longitude [$^{\circ}$]	zeměpisná délka konečného bodu [$^{\circ}$]
λ_i	Longitude of i-th (defined) [$^{\circ}$]	zeměpisná délka i-té (definováno) [$^{\circ}$]
λ_i'	λ_i and λ_v difference [$^{\circ}$]	rozdíl λ_i a λ_v [$^{\circ}$]

Zkratka	Význam (anglicky) [jednotka]	Význam (česky) [jednotka]
λ_v	Vertex longitude [°]	zeměpisná délka vrcholu ortodromy [°]
λ_v'	Vertex longitude from λ_1 [°]	zeměpisná délka vrcholu ortodromy od λ_1 [°]
π	Archimedes' constant (3,14) [-]	Ludolfovo číslo (3,14) [-]
ϕ	Latitude [°] or Coriolis' parameter [s ⁻¹]	zeměpisná šířka [°] nebo Coriolisův parametr [s ⁻¹]
ϕ_1	Origin latitude [°]	zeměpisná šířka počátečního bodu [°]
ϕ_2	Destination latitude [°]	zeměpisná šířka konečného bodu [°]
ϕ_i	Latitude of i-th (defined) [°]	zeměpisná šířka i-té (definováno) [°]
ϕ_v	Vertex latitude [°]	zeměpisná šířka vrcholu ortodromy [°]
ω	Angular velocity of the Earth (7,29·10 ⁻⁵ s ⁻¹) [s ⁻¹]	úhlová rychlost zemské rotace (7,29·10 ⁻⁵ s ⁻¹) [s ⁻¹]

*pouze volný překlad

OBSAH CD

- **Složky letů**
 - ↳ *Složka WX*
 - ↳ *Mapy větru ve formátu .kmz*
 - ↳ *Mapy větru ve formátu .png*
 - ↳ *Vyhodnocení letu ve formátu .xlsx*
 - ↳ *Opravené trať letu ve formátu .kml*
- **Složka FlightAware**
 - ↳ *Záznamy FlightAware hodnocených letů pro vybrané dny ve formátu .xlsx*
- **Body OCA.kml**
- **Letiště.kml**
- **Porovnání & Grafy.xlsx**
- **Soubory referenčních tratí ve formátu .kml**
- **Soubory publikovaných tracků denního a nočního OTS ve formátu .xlsx**
- **Vybrané ortodromy.kml**
- **WindC.dwg (rychlostní trojúhelníky)**
- **DP_Svec.pdf (diplomová práce)**

Poznámky:

Pro prohlížení souborů ve formátu .kml nebo .kmz je nutné mít nainstalovaný volně dostupný software Google earth od společnosti Google Inc. Odkaz pro stažení programu Google earth: <http://www.google.com/earth/>

Pro prohlížení souborů ve formátu .xlsx je nutné mít nainstalovaný volně dostupný software Excel Viewer od společnosti Microsoft Corporation. Odkaz pro stažení programu Excel Viewer:

<http://www.microsoft.com/cs-cz/download/details.aspx?id=10>

Pro prohlížení souborů ve formátu .dwg je nutné mít nainstalovaný volně dostupný software DWG TrueView od společnosti Autodesk. Odkaz pro stažení programu DWG TrueView:

<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=6703438&siteID=123112>

Pro prohlížení souborů ve formátu .pdf je nutné mít v PC nainstalovaný volně dostupný software Adobe Reader od společnosti Adobe Systems Incorporated. Odkaz pro stažení Adobe Reader:

<http://get.adobe.com/cz/reader/>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Mapa výškového větru a teploty ve standardní izobarické hladině (IS)	A
Příloha 2	Mapa význačného počasí ve vysokých hladinách (SWH)	B
Příloha 3	NAT Track Message pro lety na západ	C
Příloha 4	Publikované tratě OTS (tracky) pro denní OTS směřující na západ	D
Příloha 5	NAT Track Message pro lety na východ	E
Příloha 6	Publikované tratě OTS (tracky) pro denní OTS směřující na východ	F
Příloha 7	Pokrytí rádiového spojení v pásmu VHF ve FL300 v regionu NAT	G
Příloha 8	Radarové pokrytí SSR v regionu NAT	H
Příloha 9	Definované mapy ICAO	I