

# VÝSTUPY DOSTUPNÝCH NUMERICKÝCH PREDPOVEDNÝCH MODELOV AKO ÚČINNÝ NÁSTROJ PREDIKCIE POVETERNOSTNÝCH PODMIENOK PRE LET

OUTPUTS OF AVAILABLE NUMERICAL FORECASTING MODELS AS AN EFFECTIVE TOOL  
FOR WEATHER FORECASTING FOR FLIGHT

**Matej Pajdlhauser**

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia  
matej.p.12@gmail.com

**Miriam Jarošová**

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia  
miriam.jarosova@fpedas.uniza.sk

**Abstract** – The objective of this paper is to point out knowledge about numerical forecasting models and meteorological aerodrome reports METAR. Another goal is to observe meteorological phenomena, such as the crossing of fronts through our territory and inversion, because they have a significant impact on air traffic. The last goal is to determine the success of weather forecasts of the numerical forecasting model Aladin. To obtain adequate knowledge for the elaboration of the bachelor thesis, available electronic and book resources were used, which were used for self-study. The whole thesis was prepared under the supervision of the bachelor thesis supervisor. The core of this thesis is theoretical knowledge about the problem and observations, which use the freely available outputs of the numerical forecasting model Aladin, meteorological aerodrome reports METAR and maps of the ground pressure field. The success of weather forecasts using the numerical forecasting model Aladin was also evaluated. While examining the accuracy of predictions of the numerical forecasting model Aladin was found that the success rate is relatively high. It follows that this model can be used as a tool to predict weather conditions for flight.

**Key words** – numerical weather forecasting model, atmospheric fronts, meteorological aerodrome report METAR, temperature inversion, M. R. Štefánik airport, anticyclone.

## I. ÚVOD

Numerické predpovedné modely sú neoddeliteľnou súčasťou meteorológie. Svoje uplatnenie majú aj v oblasti leteckej dopravy. Využiť sa dajú ako nástroj predikcie poveternostných podmienok pre let vo všeobecnom letectve. Základy numerickej predpovede počasia vznikli po prvej svetovej vojne. Postupom času sa numerické predpovede počasia vyvíjali až do súčasnej podoby. V dnešnej dobe je možné pomocou numerickej predpovede a numerických predpovedných modelov predpovedať počasie na celom svete na niekoľko dní dopredu.

V súčasnosti poznáme niekoľko numerických predpovedných modelov. Na Slovensku je najpoužívanejší numerický predpovedný model ALADIN.

Cieľom tejto bakalárskej práce je zhodnotiť súčasný stav numerických predpovedných modelov, popísať teoretické východiská, ktoré by mali čitateľovi plne pochopiť riešenie problematiky, stanoviť možnosti numerických predpovedných modelov do budúcnosti a tak isto aj uskutočniť pozorovania, ktoré budú vykonané v praktickej časti. Cieľom praktickej časti je odpozorovanie prechodu atmosférických frontov (teplý, studený, oklúzny) cez naše územie, inverziu spôsobenú výskytom tlakovej výše nad našim územím, sneženie zapríčinené prechodom studeného frontu a zhodnotenie presnosti predpovede počasia pomocou numerických predpovedných modelov na základe porovnávania predpovede počasia a reálneho stavu počasia pozorovaného popri paraglidingu.

Pozorovania v praktickej časti budú vykonané za pomoci porovnávania numerických predpovedných modelov, správ o počasi METAR a pri niektorých pozorovaniach aj za pomoci mapy prízemného tlakového poľa. Pozorovanie týchto atmosférických javov je dôležité z hľadiska ich vplyvu na bezpečnosť leteckej dopravy.

Zhodnotenie presnosti predpovede počasia pomocou numerických predpovedných modelov bude vykonané za pomoci predpovedných modelov a následným porovnaním predpovede s reálnym stavom počasia. Táto časť bakalárskej práce bude vytvorená popri paraglidingu. Tu však budú pozorované iba štyri predpovedané parametre, a to úhrn zrážok, oblačnosť, rýchlosť vetra a smer vetra, pretože tieto parametre hrajú najdôležitejšiu rolu pri paraglidingu.

Všetky pozorovania budú vykonané s pomocou numerického predpovedného modelu ALADIN, pretože sa v súčasnosti na Slovensku využíva najviac. Pozorovania budú vykonané vzhľadom na čas UTC.

## II. SÚČASNÝ STAV NUMERICKÝCH PREDPOVEDNÝCH MODELOV

Numerické predpovede sú objektívne výpočty založené na množstve fyzikálnych rovníc. Prvú numerickú prognózu vykonal po prvej svetovej vojne britský vedec Lewis F. Richardson. Richardsonove výpočty sa stali základom pre takmer všetky súčasné predpovede počasia. Kapacita a zložitosť numerických modelov predpovede počasia sa dramaticky zvýšila v polovici 40. rokov 20. storočia, kedy bola vyvinutá numerická predpovedná jednotka. Táto predpovedná jednotka vytvára numerické predpovede na dennej báze. Éra numerickej predpovede počasia sa tak skutočne začala v 50. rokoch 20. storočia. S rastúcim výpočtovým výkonom sa zvyšovala aj zložitosť, rýchlosť a kapacita modelov. Numerické predpovede sa v priebehu rokov neustále zlepšovali. V roku 1979 vykonal mnoho krajín experiment o počasi pod vedením Svetovej Meteorologickej Organizácie, aby dokázali, aké vysokokvalitné globálne pozorovania by sa mohli vykonať pre zlepšenie predpovedania pomocou numerických predpovedných modelov. Veľmi veľká väčšina predpovedí je založená na výpočte zmien tlaku, teploty, vetra a vlhkosti.

Numerické predpovede sú vydávané pravidelne. Globálne sú tieto predpovede zostavované napríklad v Tokiu, Moskve, Kalifornii, Londýne alebo aj Melbourne. Na národnej úrovni sú vydávané rôznymi štátnymi meteorologickými službami, súkromnými meteorologickými službami a aj vojenskými organizáciami. Existujú aj výskumné verzie numerických predpovedných modelov, ktoré sú testované a vyvíjané Národným Centrom pre Výskum Atmosféry, Goddardovým Vesmírnym Centrom a univerzitami po celom svete.

Na Slovensku je najznámejším a zároveň najpoužívanejším numerickým predpovedným modelom ALADIN. Tento predpovedný model slúži na krátkodobú predpoveď počasia. Koncepciu projektu ALADIN navrhol Météo-France v roku 1990 s cieľom vybudovať vzájomne výhodnú spoluprácu s národnými meteorologickými službami v strednej a východnej Európe. Táto spolupráca mala byť v oblasti numerickej predpovede počasia, ktorá poskytuje základ prognostických nástrojov modernej meteorológie. V súčasnosti je numerický predpovedný model ALADIN prevádzkovaný v štrnástich európskych krajinách.

Numerické predpovedné modely majú aj svoje chyby. Najvýraznejšie chyby vznikajú v dôsledku zovšeobecnenia reliéfu. To znamená, že vzniká rozdiel medzi modelovou a skutočnou výškou reliéfu. Na zabezpečenie zhody modelovej a reálnej výšky reliéfu by bolo potrebné vykonať omnoho viac výpočtov ako pri predpovedi pri rozdielnych výškach, čo by znamenalo vyššie náklady na predpoveď. Avšak nutnosť odstrániť túto chybu vzniká v dôsledku faktu, že miestna orografia zapríčiňuje veľkú premenlivosť vetra. Taktiež vývoj oblačnosti je ovplyvňovaný výraznou orografiou. Ďalším problémom je, že nie je možné vyrátať vlhkosť ovzdušia v blízkosti zemského povrchu. Vlhosť ovzdušia je v numerických predpovedných modeloch zohľadnená až od výšky 300 metrov nad zemou. S touto chybou je spojená aj odchýlka predpovede úhrnu zrážok.

Numerické predpovedné modely zachytávajú viacero meraných veličín – teplota vzduchu, oblačnosť, tlak vzduchu, úhrn zrážok a smer a rýchlosť vetra. Ak premietneme numerickú predpoveď do tabuliek, tak na osi X je čas, kedy je parameter pozorovaný a na osi Y je veľkosť pozorovaného parametru.

## III. SPRÁVY O POČASÍ METAR

METAR je skratka pre slovné spojenie „meteorological aerodrome report“, čo v preklade znamená správa o počasi na letisku. METAR obsahuje zakódovanú správu, ktorá sa týka aktuálnej meteorologickej situácie na danom letisku v danom čase. Táto správa je zvyčajne vydávaná každých 30 minút, aby mala posádka lietadla čo najpresnejšiu informáciu o počasi na letisku.

Príklad správy METAR:

METAR LZIB 221030Z 31015G27MPS 280V350 1400SW 6000N R24/P1500 +SHRA FEW005 FEW010CB SCT018 BKN025 10/03 Q0995 RERA WSRWY24 [Zdroj: [1](#)]

### ZAKÓDOVANÉ INFORMÁCIE

Správy METAR obsahujú informáciu o prízemnom vetre, prízemnej horizontálnej dohľadnosti, dráhovej dohľadnosti, stave počasia, oblačnosti, teplote vzduchu, teplote rosného bodu, tlaku QNH a doplnujúcich informáciách.

Ako prvá je informácia, či ide o správu METAR alebo SPECI. Za ňou nasleduje kód letiska podľa organizácie ICAO. Tento kód sa skladá zo štyroch písmen. Ďalej nasleduje skratka času vo formáte deň v mesiaci, hodina, minúty a písmeno „Z“, označujúce čas Zulu. Nasleduje informácia o vetre. Prvé tri čísla určuje smer, z ktorého fúka vietor a nasledujúce dve silu vetra. Ak sú pozorované aj nárazy vetra, tak sa za silu vetra vloží písmeno „G“, za ktorým nasleduje informácia o sile nárazov vetra. Za informáciou o vetre nasleduje údaj, ktorý pojednáva o horizontálnej dohľadnosti. Tento údaj sa skladá zo štyroch čísel. Hneď za horizontálnou dohľadnosťou nasleduje informácia o dráhovej dohľadnosti. Táto informácia začína písmenom „R“ a číslom dráhy, pre ktorú je údaj platný. Za číslom dráhy nasleduje lomka, za ktorou je v metroch vyjadrená dráhová dohľadnosť. Toto číslo musí byť štvormiestne. Nasledujúcou informáciou je kód o výskyte špecifického počasia na letisku. Tento údaj sa kóduje pomocou písmen. V prípade slabej intenzity javu sa pred kód uvedie „-“ a v prípade silnej intenzity javu sa pred kód uvedie „+“. Tento kód môže v sebe niesť informáciu, napríklad o zrážkach, búrkach, javoch zhoršujúcich dohľadnosť, tornádach alebo aj víchriciach. Ďalšou kódovanou informáciou je stav oblačnosti. V tejto informácii je zakódovaná výška základne oblačnosti, množstvo oblačnosti a prípadne aj oblačnosť typu cumulonimbus a cumulus congestus. Táto kódovacia skupina sa skladá zo 6 znakov. Prvé 3 znaky určujú množstvo oblačnosti a druhé 3 znaky výšku základne v stovkách stopách. Pokiaľ sa vyskytuje naraz viac vrstiev oblačnosti, ktoré majú rôznu výšku základne, tak sa kóduje každá vrstva so svojím množstvom oblačnosti a s vlastnou výškou základne, pričom sa kódujú postupne vrstvy od najnižšej. Za oblačnosťou nasleduje informácia o teplote vzduchu a o teplote rosného bodu. Tento kód má podobu štvorciferného čísla, predeleného lomkou medzi prvými dvoma a druhými dvoma ciframi. Čísla pred lomkou

udávajú teplotu vzduchu a čísla za lomkou teplotu rosného bodu. Ak ide o zápornú hodnotu, tak sa pred číslo doplní „M“. Predposlednou informáciou je hodnota tlaku vzduchu. Tá sa kóduje pomocou písmena „Q“ a štyrmi nasledujúcimi ciframi. Táto hodnota je v hektopascaloch. Ak ide o hodnotu tlaku v palcoch, tak sa pred číselný údaj nepíše „Q“, ale „A“. Poslednými informáciami, ktoré sa kódujú v správe METAR sú doplnujúce informácie. Informácia o predchádzajúcom počasí sa využíva, ak bol v blízkosti letiska za poslednú hodinu alebo od vydania posledného METARu pozorovaný niektorý z javov, ktorý sa kóduje v časti aktuálneho počasia. Táto informácia je v METARE v 4-písmennom tvare. V tejto skupine je taktiež zakódovaná aj informácia o strihu vetra.

#### IV. ATMOSFÉRICKÉ FRONTY

Atmosférický front je prechodové pásmo medzi dvoma vzduchovými hmotami. Fronty, ktoré sa nachádzajú v zemepisných šírkach mierneho pásma sa delia na studené, teplé a oklúzne. Ich charakter závisí od toho, či nahrádza teplý vzduch studený alebo naopak. V prípade, že studený front dobehne teplý, nastáva oklúzia. Oklúzia sa taktiež delí na teplú a studenú. Všetky fronty majú sklon s narastajúcou výškou.

Každý front, nachádzajúci sa v našich zemepisných šírkach má iba určitú životnosť.

##### STUDENÝ FRONT

Studený front sa vyskytuje, ak chladný vzduch postupne nahrádza teplý. Chladný vzduch sa pomaly podsúva pod teplý, ktorý je vytláčaný do väčších výšok. Na mapách prízemného tlakového poľa sú studené fronty vyznačované modrou čiarou, na ktorej sú vyplnené modré trojuholníky.

Prechod studeného frontu sa dá identifikovať aj pomocou zmeny jednotlivých vlastností vzduchu. Teplota vzduchu je pred prechodom frontu stála (konštantná) alebo mierne stúpa. Po prechode studeného frontu teplota vzduchu výrazne klesá. Taktiež výrazne klesá aj teplota rosného bodu. Pokles teploty je zapríčinený hlavne studeným vzduchom, ktorý prúdi do danej oblasti a búrkou spojenou s frontálnym rozhraním. Tesne pred prechodom studeného frontu tlak vzduchu v oblasti najprv mierne klesá, ale po prechode frontu naopak stúpa. Vietor pred studeným frontom býva stabilný, pričom zvyčajne fúka z juhozápadu. Pri prechode frontu sa vietor mení na nárazový v podobe húlavy. Po prechode frontu sa vietor znovu mení na stabilný, ale už vanie zo severozápadu. Pri prechode frontu pozorujeme rozsiahlu oblačnosť typu cumulus, ktorá prerastá do typu cumulonimbus a občasne aj oblačnosť typu nimbostratus. Rozsah oblačnosti je od  $\frac{6}{8}$  do  $\frac{8}{8}$ . Za studeným frontom sa zdvíha výška základne oblakov. Zrážky sa vyskytujú v podobe silných prehánok, pričom v zimnom období sú v podobe snehových prehánok. Taktiež sa môžu vyskytnúť aj krúpy. Zrážky sú spojené s búrkovou činnosťou na studenom fronte. Viditeľnosť je pri prechode studeného frontu veľmi dobrá, okrem viditeľnosti pri zrážkach.

##### TEPLÝ FRONT

Teplý front sa pozoruje, ak sa teplý vzduch tlačí do oblasti so studeným vzduchom a postupne ho nahrádza. Na

mapách prízemného tlakového poľa nájdeme teplý front vyznačený pomocou červenej čiary, na ktorej sú červené vyplnené polgule.

Počasia sa s prechodom teplého frontu postupne mení. Vietor pred frontom zosilňuje a zvyčajne fúka z juhu. Na čiare frontu sa otáča a po prechode teplého frontu fúka z juhozápadu. Rozdiel teplôt vzduchu pred a za studeným frontom je väčšinou výrazný. Pred teplým frontom je teplota vzduchu voči teplote po prechode teplého frontu pomerne nízka. Na čiare frontu sa hodnota teploty vzduchu náhle zväčší a po prechode teplého frontu ostáva teplota stabilná. Teplota rosného bodu má rovnaký priebeh ako teplota vzduchu. Pred frontom je pomerne nízka, na čiare frontu sa náhle zvyšuje a následne po prechode teplého frontu teplota rosného bodu ostáva stabilná. Čo sa týka tlaku vzduchu, ten pred príchodom teplého frontu pomaly klesá až do príchodu teplého frontu na dané územie. V čase, keď sa nachádza teplý front na danom území, tlak vzduchu prestane klesať a po prechode frontu začne znovu mierne klesať. Oblačnosť s príchodom teplého frontu pribúda. Postupne sa nasúva oblačnosť od vysokej (cirrus a cirrostratus), cez strednú (altocumulus a nimbostratus) až po nízku (stratus). Na čiare frontu dosahuje hodnota pokrytia oblohy oblačnosťou  $\frac{8}{8}$ , pričom základne oblačnosti typu stratus a nimbostratus sú veľmi nízko. S prechodom frontu oblačnosť postupne ubúda. Zrážky sú pred príchodom frontu slabé trvalé, pričom postupne rozvíjaním oblačnosti typu nimbostratus zosilnievajú. Na čiare frontu sa pozorujú stredné až silné trvalé zrážky. Po prechode frontu zrážky slabnú. Zrážky za teplým frontom sa pozorujú aj v podobe mrholenia, ktoré môže byť vyvolané výskytom frontálnej hmly. Viditeľnosť sa postupne zhoršuje a nezlepšuje sa ani s prechodom teplého frontu.

##### OKLÚZNY FRONT

Oklúzny front vzniká v prípade, že studený front dobehne teplý front, postupujúci pred nim. Táto situácia nastáva v dôsledku toho, že studený front postupuje rýchlejšie ako teplý front. Bod oklúzie sa nachádza v mieste kde sa zbiehajú oklúzny, teplý a studený front. Oklúzne fronty sú tvorené vždy tromi vzduchovými hmotami. Tieto fronty v sebe združujú znaky aj teplého a aj studeného frontu. Vzduch, ktorý sa nachádzal medzi teplým a studeným frontom je vytláčaný do väčších výšok, čo znamená, že nie je v kontakte so zemským povrchom. Oklúzia sa rozdeľuje na teplú a studenú.

Ak je vzduch, ktorý sa nachádza pred teplým frontom studenší ako ten, čo sa nachádza za studeným frontom, tak sa jedná o teplú oklúziu. Pri teplej oklúzii vzduch, nasúvajúci sa za studeným frontom stúpa nad studenší vzduch, ktorý je tlačенý pred teplým frontom. Tento typ oklúzie sa vyskytuje v oblasti strednej Európy najčastejšie počas zimných mesiacov, pretože vzduch, ktorý prichádzajúci od mora je teplejší ako ten, čo sa vyskytuje nad pevninou. Oblačnosť sa tvorí spočiatku tak, ako pri teplých frontoch, to znamená, že postupne sa formuje oblačnosť typu cirrostratus a altostratus. Táto oblačnosť sa nachádza pred čiarou oklúzneho frontu. Na čiare sa nachádza oblačnosť typu cumulonimbus a za čiarou frontu je to nimbostratus. Pri teplej oklúzii vzniká riziko skrytej oblačnosti typu cumulonimbus v stratiformnej oblačnosti.

Ak je vzduch, nachádzajúci sa za studeným frontom chladnejší ako vzduch pred teplým frontom, tak ide o studený oklúzny front. Pri studenej oklúzii sa studený vzduch, ktorý postupuje za studeným frontom podsúva pod teplý vzduch, ktorý bol tlačný pred teplým frontom. Vzduch spoza studeného frontu spoločne so vzduchom spredu teplého frontu vytlačujú do väčších výšok vzduch, ktorý sa nachádzal medzi teplým a studeným frontom. Tento typ oklúzie je v európskych oblastiach možné pozorovať najmä počas letných mesiacov, pretože vzduch, nasávajúci sa od Atlantiku je chladnejší ako vzduch, nachádzajúci sa nad pevninou. Rovnako ako aj pri teplej oklúzii tu vzniká riziko skrytej oblačnosti typu cumulonimbus vo vrstevnatej oblačnosti. Oblačnosť sa spočiatku vyvíja ako pri teplom fronte, no neskôr prechádza do oblačnosti studeného frontu. Oblačnosť nasleduje v poradí za sebou od cirostratu, cez altocumulus a nimbostratus až po cumulonimbus.

## V. TEPLTNÁ INVERZIA

Jav nazývaný teplotná inverzia nastáva v atmosfére vtedy, keď stúpa teplota vzduchu s rastúcou výškou. Inverzia môže vzniknúť viacerými spôsobmi. Prízemná inverzia najčastejšie vzniká radiačným ochladzovaním zemského povrchu najčastejšie počas noci a niekedy aj počas dňa. Tento typ hmly dosahuje výšku 1 m – 2 m.

Výšková teplotná inverzia môže vzniknúť radiačným ochladzovaním zemského povrchu, keď sa zmení z pôvodnej prízemnej inverzie na inverziu v malej výške. Ďalším spôsobom vzniku výškovej inverzie je teplotná advekcia. Advekčná inverzia sa vyskytuje vo výške približne 1 km – 2 km nad zemou.

Subsidenčná výšková inverzia vzniká vo výškach okolo 2 – 3 km nad zemou v tlakových výškach vplyvom rozsiahlych klesavých pohybov vzduchu, typických pre oblasť vysokého tlaku. Vzduchové vrstvy, klesajúce malou rýchlosťou sa dostávajú do nižších výšok, kde je vyšší tlak vzduchu a pomocou tohto vyššieho tlaku sú stláčané. Stláčanie každého plynu vedie k jeho ohrievaniu a v atmosfére tento proces vedie k rozpúšťaniu oblačnosti a súčasne otepľovanie vedie ku vzniku výškovej inverznej vrstvy s hrúbkou niekoľko desiatok metrov.

Frontálna teplotná inverzia vzniká na teplých frontoch. Frontálnu plochu teplého frontu si môžeme predstaviť ako tenkú prechodovú vrstvu medzi chladnejším vzduchom na spodku a teplejším vzduchom na vrchu. Frontálna plocha je naklonená dopredu v podobe ostrého klinu. Teplejší vzduch prúdi pozdĺž nej dopredu nahor, takže v celom priestore pred čiarou frontu je vo výške vrstva teplejšieho vzduchu nad chladným, ktorý sa nachádza pri zemi, a preto tu nastáva výšková inverzia.

## VI. METODIKA PRÁCE

Na tvorbu teoretického základu práce sú zužitkované znalosti nadobudnuté zo štúdia a znalosti zo samoštúdia, ktoré je realizované pomocou odborných kníh.

Pozorovania sú vykonané pomocou voľne dostupných zdrojov predpovedí počasia, máp prízemného tlakového poľa a správ o počasi METAR. Tieto údaje sú prevzaté z voľne dostupných internetových stránok a použité v práci. Využitie sú voľne dostupné zdroje, pretože skúmanie presnosti predpovedí vydávaných prostredníctvom numerického predpovedného

modelu ALADIN je vykonané popri paraglidingu, pri ktorom sa využívajú vo veľmi veľkej miere iba voľne dostupné zdroje, a predovšetkým numerický predpovedný model ALADIN.

Pri pozorovaniach prechodu atmosférických frontov je využitá metóda porovnávania predpovedného numerického modelu ALADIN so správami o počasi METAR. Na konci kapitol s pozorovaniami sú popísané výsledky daných pozorovaní.

Pozorovanie sneženia spôsobeného prechodom studeného frontu je za pomoci mapy prízemného tlakového poľa a správ o počasi METAR. Na konci sú taktiež definované výsledky.

Pri pozorovaní inverzie pri prechode tlakovej výše cez naše územie sú vykonané porovnávania numerického predpovedného modelu ALADIN, správ o počasi METAR a mapa prízemného tlakového poľa. Opäť sú na konci definované výsledky.

Skúmanie presnosti predpovedí vydávaných prostredníctvom numerického predpovedného modelu ALADIN je sprevádzané porovnaním tohto modelu s reálnym stavom počasia. Sila vetra je meraná pomocou anemometra a smer vetra pomocou veternej ružice. Celkovo je vykonaných 5 pozorovaní, po ktorých bola stanovená úspešnosť predpovedí počasia prostredníctvom numerického predpovedného modelu ALADIN.

## VII. POZOROVANIE PRECHODU STUDENÉHO FRONTU

V pozorovaní je vykonané porovnanie numerického predpovedného modelu ALADIN so správami o počasi METAR. Pozorovanie bolo vykonané 1.7.2019.

Rozdiel medzi predpoveďou vydanou pomocou numerického predpovedného modelu ALADIN a reálnym stavom počasia bol takmer vo všetkých predpovedaných parametroch. Jediný presne predpovedaný parameter bola teplota vzduchu. Tento parameter mal rovnaký priebeh v reálnej situácii ako aj podľa predpovede. Všetky ostatné parametre mali buď odlišné hodnoty, alebo ak bol priebeh ich zmeny identický, tak bol v časovom predstihu voči predpovednému modelu. Smer vetra sa odlišoval až po 20. hodine. Rýchlosť vetra bola spočiatku nižšia ako predpovedaná, no neskôr boli hodnoty reálnej rýchlosti vetra vyššie, ako bolo predpovedané. Oblačnosť bola spočiatku o niečo menšia ako predpovedaná. Obloha sa vyjasnila skôr ako podľa predpovede. Zrážky sa vyskytli podstatne skôr a taktiež bola menšia aj ich intenzita. V reálnom priebehu tlaku sa nevyskytol pokles, tak ako v predpovedi. Ďalší priebeh bol podobný ako v predpovedi, ale s rozdielom tlaku asi 2 hPa.

## VIII. POZOROVANIE PRECHODU TEPLÉHO FRONTU

V pozorovaní je vykonané porovnanie numerického predpovedného modelu ALADIN so správami o počasi METAR. Pozorovanie bolo vykonané 10.3.2020 – 11.3.2020.

Okrem smeru a rýchlosti vetra a zrážok bola predpoveď takmer totožná s reálnym stavom počasia, ktoré bolo pozorované počas prechodu teplého frontu. Vietor sa nezhodoval s predpoveďou, pretože zo začiatku pozorovania bol slabší ako

podľa predpovede, neskôr bol silnejší ako predpovedaný, ale napokon v nočných hodinách dosahoval rýchlosti, ktoré boli predpovedané. Smer vetra bol rozdielny iba zo začiatku, pretože približne o polnoci sa stočil a fúkal tak, ako bolo predpovedané. Tlak vzduchu sa odlišoval iba minimálne. Mal rovnaký priebeh ako predpovedaný, ale reálne bol o 2 hPa nižší. Zrážky sa líšili aj dobou výskytu aj intenzitou. Po dobu pozorovania boli väčšinou iba slabé a padali podstatne dlhšie.

## IX. POZOROVANIE PRECHODU OKLÚZNEHO FRONTU

V pozorovaní je vykonané porovnanie numerického predpovedného modelu ALADIN so správami o počasí METAR. Pozorovanie bolo vykonané 13.2.2020 – 14.2.2020.

Pozorovaný oklúzny front sa v niektorých parametroch líšil od predpovede. Smer vetra bol na začiatku pozorovania rozdielny, ale napokon sa pri konci pozorovania stočil a fúkal z predpovedaného smeru. Rýchlosť vetra bola oproti predpovedi nižšia, no ku koncu pozorovania vietor zosilnel a bol silnejší ako predpovedaný. Reálny stav oblačnosti bol takmer rovnaký ako predpovedaný. Tlak vzduchu bol taktiež podobný ako predpovedaný. Reálny úhrn zrážok bol menší ako predpovedaný. Zrážky sa vyskytovali kratšie ako bolo hlásené predpovedným modelom. Teplota mala rovnaký priebeh ako predpovedaná, ale s tým rozdielom, že bola o 2 °C – 3 °C nižšia.

## X. POZOROVANIE SNEŽENIA ZAPRÍČINENÉHO PRECHODOM STUDENÉHO FRONTU

Pozorovanie je vykonané za pomoci mapy prízemného tlakového poľa a správ o počasí METAR. Pozorovanie bolo vykonané 29.1.2020

Pozorovaná situácia bola pre leteckú dopravu nebezpečná z viacerých hľadísk. Najväčšie riziko predstavovala námraza, ktorá mohla vzniknúť na povrchu časti lietadla. Preto by bolo potrebné pred odletom pozemné odmrazovanie lietadla. V dôsledku výskytu snehových zrážok bola výrazne znížená horizontálna dohľadnosť. Spočiatku pozorovania bol hlásený na letisku M. R. Štefánika v Bratislave strih vetra. Táto výstraha bola publikovaná pre dráhu 31.

## XI. POZOROVANIE INVERZIE PRI TLAKOVEJ VÝŠI

Pozorovanie inverzie počas pretrvávajúcej rozsiahlej tlakovej výše bolo vykonané dňa 26.1.2020. Pozorovanie bolo vykonané za pomoci mapy prízemného tlakového poľa, numerického predpovedného modelu ALADIN, vydaného METARu z dňa 26.1.2020 a osobného pozorovania.

Na pozorovanie inverzie z pohľadu potreby pozemného odmrazovania lietadiel bol vybratý let spoločnosti Ryanair číslo FR6643 do Edinburghu. Lietadlo priletelo na Bratislavské letisko v čase 9:09. Odlet späť do Edinburghu bol naplánovaný na 9:35. Pred odletom bolo potrebné vykonať na lietadle pozemné odmrazovanie z dôvodu nízkej teploty a dymna, ktoré je tvorené mikroskopickými vodnými kvapôčkami.

Z pozorovaných meteorologických správ o počasí METAR, numerického predpovedného modelu ALADIN a osobného pozorovania na letisku M. R. Štefánika v Bratislave vyplýva, že bola na pozorovanom území teplotná inverzia. Pozorovaná bola teplotná inverzia vyskytujúca sa v zimnom období pri prechode tlakovej výše cez pozorované územie. Pre túto inverziu bolo potrebné aj pozemné odmrazovanie lietadiel.

## XII. SKÚMANIE PRESNOSTI NUMERICKÉHO PREDPOVEDNÉHO MODELU ALADIN

Táto časť bakalárskej práce sa zaoberá skúmaním presnosti predpovede počasia predpovedaného pomocou numerických predpovedných modelov. Presnosť bude skúmaná pozorovaním grafov predpovedného modelu ALADIN a následným porovnaním s reálnym stavom počasia. Pozorované sú oblačnosť, rýchlosť vetra, smer vetra a zrážky.

### POZOROVANIE 17.2.2020

Úspešnosť predpovedania pozorovaných parametrov dosiahla v tento deň 50 %. Úspešne boli predpovedané úhrn zrážok a rýchlosť vetra. Naopak neúspešne predpovedané parametre boli oblačnosť a smer vetra.

### POZOROVANIE 5.3.2020

Predpoveď na tento deň bola celkom presná, a to na 75 %. Všetky predpovedané parametre okrem rýchlosti vetra sa zhodovali s reálnymi. Rýchlosť vetra bola podstatne vyššia ako predpovedaná. Táto odchýlka mohla vzniknúť v dôsledku konvektívnej oblačnosti a termickej aktivity.

### POZOROVANIE 26.3.2020

Predpoveď na tento deň mala úspešnosť 75 %. Odlišný bol iba stav oblačnosti. Reálne sa na oblohe vyskytovalo viac oblačnosti ako bolo predpovedané. Pre súvislú vrstvu strednej oblačnosti nebolo možné rozoznať, či sa vyskytuje aj vysoká oblačnosť.

### POZOROVANIE 27.3.2020

Predpoveď na tento deň z pohľadu presnosti bola veľmi dobrá. V oblačnosti sa vyskytla odchýlka predpovede od reálneho stavu iba minimálna. Taktiež sa mierne odlišovala aj rýchlosť vetra. Reálna rýchlosť vetra bola nižšia ako predpovedaná.

### POZOROVANIE 5.4.2020

Predpoveď na tento deň bola 100 %. Všetky pozorované parametre dosahovali v čase pozorovania rovnaké hodnoty, aké boli predpovedané.

### VYHODNOTENIE POZOROVANÍ

Priemerná úspešnosť predpovedí bola 75 %. Predpovedné numerické modely sa dajú použiť ako nástroj predikcie poveternostných podmienok pre let, ako vo všeobecnom letectve, tak aj pri paraglidingu. Aj keď predpovede nie sú 100 % presné, tak percento úspechu je vysoké. Chybou numerických predpovedných modelov je, že tieto modely nezohľadňujú konvekciu a s ňou spojené javy. Konvekcia má

vplyv na všetky parametre, ktoré boli pozorované v tejto kapitole. Vplyvom konvekcie sa formuje kumuliformná oblačnosť. Ak je dostatočne nasýtený oblak, môžu z neho začať vypadávať zrážky. Vietor je taktiež ovplyvňovaný konvekciou. V prípade „termických závanov“ sa zvýši na istú dobu rýchlosť vetra. Taktiež sa vplyvom týchto závanov môže zmeniť aj smer, z ktorého vietor vane. Tieto skutočnosti však nevylučujú fakt, že sú numerické predpovedné modely vhodným nástrojom na predikciu poveternostných podmienok pre let.

### XIII. MOŽNOSTI NUMERICKÝCH PREDPOVEDNÝCH MODELOV DO BUDÚCNOSTI

Numerické predpovedné modely majú potenciál aj v budúcnosti, avšak dali by sa aj vylepšiť, aby poskytovali čo najaktuálnejšiu prognózu počasia. Ako v súčasnosti, tak aj v budúcnosti budú numerické predpovedné modely vhodným nástrojom predikcie počasia vo všeobecnom letectve.

Numerické predpovedné modely sú v súčasnosti aktualizované štyrikrát denne, a to v čase 4:15 UTC, 11:00 UTC, 15:55 UTC a 22:55 UTC. Aby bola zaistená čo najaktuálnejšia prognóza počasia a s tým spojená predikcia poveternostných podmienok pre let, bola by vhodná častejšia aktualizácia numerických predpovedných modelov. Častejšou aktualizáciou by sa dosiahol väčší prehľad v zmene poveternostnej situácie a rýchlejšia reakcia na predpovedané zmeny. Taktiež by to napomohlo k jednoduchšiemu plánovaniu letov z hľadiska počasia.

Asi najväčšia chyba predikcie poveternostných podmienok pri numerických predpovedných modeloch vzniká v dôsledku zovšeobecnenia reliéfu. Táto chyba je popísaná v prvej kapitole. Potlačenie chyby zovšeobecnenia reliéfu by sa dala vyriešiť rozšírením personálu meteorologických pracovníkov a technickej základne služby, ktorá vydáva predpovede počasia pomocou numerických predpovedných modelov. Odstránenie tejto chyby by bolo nákladné, avšak spresnilo by to predpoveď poveternostných podmienok hlavne v pohoriach a ich okolí.

Ďalšou chybou numerických predpovedných modelov je, že predpovedajú úhrn zrážok s menšou presnosťou ako pri ostatných predpovedaných parametroch. Táto chyba je taktiež popísaná v prvej kapitole. V súčasnosti nie je možné túto chybu nijakým spôsobom odstrániť, pretože neexistuje žiadny matematický vzorec, ktorý by vedel predpovedať vlhkosť vzduchu v blízkosti zemského povrchu. Tak ako pri eliminácii predchádzajúcej chyby, tak aj pri tejto by vznikla finančná náročnosť, a to pri vývoji matematického vzorca.

V budúcnosti by bolo možné rozšíriť sieť miest, pre ktoré by boli vydávané predpovede počasia pomocou numerických predpovedných modelov. Táto možnosť by tiež prispela k spresneniu prognózy počasia. Pre oblasť letectva by bolo najvýhodnejšie, keby sa sieť týchto miest rozšírila o miesta, kde sa nachádzajú menšie športové letiská, alebo aj miesta určené pre vzlet paraglidistov. Možnosť zhustenia siete, pre ktorú by boli vydávané predpovede počasia by prispelo napríklad k lepšiemu plánovaniu trate letu.

### XIV. ZÁVER

V tejto bakalárskej práci sú spracované základné teoretické poznatky o numerických predpovedných modeloch, správach o počasi METAR, atmosférických frontoch a inverziách. Tieto teoretické poznatky by mali čitateľovi poskytnúť vedomosti na porozumenie pozorovaní, vykonaných v praktickej časti.

V teoretickej časti je spracovaný teoretický základ o numerických predpovedných modeloch, správach METAR a všetkých atmosférických javoch, ktoré sú pozorované v praktickej časti. V teoretickej časti sú popísané aj základné chyby numerických predpovedných modelov. Medzi tieto chyby patria zovšeobecnenie reliéfu a nemožnosť vypočítať vlhkosť vzduchu pri zemskom povrchu. Neskôr sú v tejto bakalárskej práci navrhnuté možnosti numerických predpovedných modelov do budúcnosti, medzi ktorými sú vypracované aj možnosti, ako tieto chyby odstrániť. Avšak odstránenie týchto chýb by bolo náročné z technického a finančného hľadiska. Vypracovanie teoretických poznatkov o atmosférických frontoch a inverziách bolo potrebné pre následné porozumenie vykonaných pozorovaní v praktickej časti.

V praktickej časti sú vykonané pozorovania prechodu studeného, teplého a oklúzneho frontu cez naše územie, inverzie spôsobenej tlakovou výšou a sneženia zapríčineného prechodom studeného frontu. Taktiež je zhodnotená presnosť predpovedí vydávaných pomocou numerických predpovedných modelov. V celej práci sú vykonané pozorovania za pomoci numerického predpovedného modelu ALADIN, pretože ten je na Slovensku najpoužívanejší. Numerický predpovedný model ALADIN bol využitý ako voľne dostupný materiál na stránke SHMÚ. Využitie sú voľne dostupné zdroje, pretože skúmanie presnosti predpovedí vydávaných prostredníctvom numerického predpovedného modelu ALADIN je vykonané popri paraglidingu, pri ktorom sa využívajú vo veľmi veľkej miere iba voľne dostupné zdroje, a predovšetkým numerický predpovedný model ALADIN. Taktiež boli všetky pozorovania vykonané vzhľadom na čas UTC.

Odporované atmosférické javy sú vybraté zámerne, pretože všetky z nich majú vplyv na bezpečnosť a prevádzku leteckej dopravy. Všetky pozorované javy sú nebezpečné, pretože buď znižujú dohľadnosť, sú príčinou tvorby námrazy na povrchoch lietadla, sú zdrojom strihu vetra a elektrického výboju alebo iným spôsobom ovplyvňujú bezpečnosť leteckej dopravy. Výskyt všetkých pozorovaných javov je možné vyčítať z numerických predpovedných modelov. Pri vykonávaní pozorovaní sú využité predpovede počasia numerického predpovedného modelu ALADIN, správy o počasi METAR a mapy prízemného tlakového poľa.

Prvé pozorovanie bolo vykonané dňa 1.7.2019. V tento deň bol pozorovaný studený front. Po porovnaní numerického predpovedného modelu so správami o počasi METAR bolo zistené, že studený front prechádzal cez naše územie skôr, ako bolo predpovedané. Bola zistená aj vyššia rýchlosť vetra ako predpovedaná a taktiež aj menšia intenzita zrážok.

Prechod teplého frontu bol pozorovaný v noci 10.3.2020 – 11.3.2020. Priebeh prechodu tohto frontu bol takmer identický s predpoveďou. Spočiatku pozorovania sa niektoré

parametre líšili od predpovede, no napokon sa ich priebeh zmeny stotožnil s predpovedaným priebehom. Iba zrážky mali celkom odlišný priebeh. Tie padali dlhšie ako bolo predpovedané.

Oklúzny front bol pozorovaný v noci 13.2.2020 – 14.2.2020. Pri pozorovaní tohto frontu boli zistené odlišnosti v priebehu zmeny niektorých pozorovaných parametrov. Rýchlosť vetra bola zo začiatku nižšia a neskôr naopak vyššia ako predpovedaná. Smer vetra bol totožný s predpovedaným až pri konci pozorovania. Oblačnosť a tlak vzduchu boli takmer rovnaké ako predpovedané. Úhrn zrážok bol menší ako predpovedaný. Zmena teploty vzduchu mala rovnaký priebeh ako podľa predpovede, ale reálne bola nižšia o 2 °C – 3 °C.

Sneženie zapríčinené prechodom studeného frontu bolo pozorované 29.1.2020. Toto pozorovanie bolo vykonané pre význam poveternostnej situácie v oblasti bezpečnosti leteckej dopravy. Pozorovaná poveternostná situácia predstavovala najväčšie nebezpečenstvo pre bezpečnosť leteckej dopravy najmä kvôli riziku tvorby námrazy na povrchoch častí lietadla. V dôsledku výskytu snehových zrážok bola výrazne znížená horizontálna dohľadnosť. Taktiež bola vydaná výstraha pred strihom vetra na dráhe 31.

Pozorovanie výskytu teplotnej inverzie pri prechode tlakovej výše bolo vykonané 26.1.2020. Počas pozorovania sa na danom území vyskytovalo dymno, pre ktoré bolo potrebné zabezpečiť pozemné odmrzovanie lietadiel. Na letisku M. R. Štefánika v Bratislave bolo potrebné vykonať túto procedúru pred každým odletom.

V poslednej časti tejto bakalárskej práce je skúmaná presnosť numerického predpovedného modelu ALADIN. Celkovo je vykonaných 5 pozorovaní. Priemerná úspešnosť predpovedí je 75 %. Aj keď nie je úspešnosť 100 %, tak numerický predpovedný model môže slúžiť ako účinný nástroj predikcie poveternostných podmienok pre let. Percento úspešnosti by bolo vyššie, ak by bola odstránená chyba zovšeobecnenia reliéfu, a ak by vedel numerický predpovedný model predpokladať prítomnosť konvekcie.

## REFERENCIE

- [1] Príklad správy METAR [online] Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/File/letecka/metar/metar.pdf> s.10 (citované 2020-01-14)
- [2] JAROŠOVÁ, M. 2019. Cold front and its influence on weather at airports in western Slovakia. In AEROjournal [online]. 2019 [cit. 2020-02-19]. Dostupné na internete: [https://drepo.uniza.sk/bitstream/handle/hdluniza/41/05\\_AEROjournal-2019\\_02-pages-25-26.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://drepo.uniza.sk/bitstream/handle/hdluniza/41/05_AEROjournal-2019_02-pages-25-26.pdf?sequence=4&isAllowed=y) ISSN 1338-8215
- [3] NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. 2018. The regional airports problems in the Slovak Republic, 19th International Scientific Conference – LOGI 2018 [electronic] (citované 2020-04-27)
- [4] CAE OXFORD AVIATION ACADEMY. 2016. Meteorology. Oxford: CAE OXFORD AVIATION ACADEMY, 2016. ISBN 9781906202729
- [5] ZVEREV, S. A. 1977. Synoptická meteorológia. Leningrad: ALFA, 1977.

- [6] DVOŘÁK, P. 2017. Letecká meteorologie. Svět křídél, 2017. ISBN 978-80-7573-014-5
- [7] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. 2010. Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva. Žilinská univerzita, 2010. - 125 s. ISBN 978-80-554-0300-7.
- [8] KAZDA, A., CAVES, R.E. 2007. Airport Design and Operation. Bingley: Emerald Group Publishing Limited, 2007. 538 s. ISBN 978-0-08-045104-6.
- [9] KAZDA, A. 1995. Letiská design a prevádzka. Žilina: Edičné stredisko VŠDS 1995. 377 s. ISBN 80-7100-240-2
- [10] LAZAR, T., NOVÁK-SEDLÁČKOVÁ, A. & BRÉDA, R. 2015. Regression in personal air transport of passengers evolution at selected airport time series method. [Regresija u osobnom zračnom prijevozu putnika-razvoj metode vremenskih serija u odabranoj zračnoj luci] Naše More 62, pages 228-232. doi:10.17818/NM/2015/SI26

Matej Pajdlhauser – narodený dňa 31.01.1998 v Bratislave absolvoval v roku 2017 Gymnázium Alberta Einsteina v Bratislave. V roku 2017 bol prijatý na Katedru leteckej dopravy na Žilinskej univerzite v Žiline. V mesiacoch jún – august v roku 2019 pracoval na dohodu v spoločnosti Austrian Airlines Technik Bratislava s.r.o. na pozícií nekvalifikovaného technika leteckej údržby.