

ANALÝZA PRÍZEMNÉHO VETRA NA LETISKU M. R. ŠTEFÁNICA

Martin Hromádka

Katedra leteckej dopravy, Fakulta PEDaS, Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko
hromadka@fpedas.uniza.sk

Abstract – This paper discusses both wind speed and direction at Bratislava airport based on data analysis. The data collection carried out during 10 year period.

Key words – key word, key word, key word, key word.

Úvod

Rýchlosť a smer prízemného vetra významne ovplyvňuje leteckú prevádzku na akomkoľvek letisku. Je preto nevyhnutné poznať prevládajúce jeho smery a rýchlosti tak v jednotlivých ročných obdobiach ako aj častiach dňa. V súčasnosti sú často skloňované zmeny počasia. Preto sa bude v tomto článku vykonať porovnanie cirkulačných pomerov v oblasti letiska M. R. Štefánika v Bratislave v rokoch 1951 – 1970 s cirkulačnými pomermi v rokoch 1997 – 2006. Na analýzu budú využité dáta zozbierané z pravidelných správ METAR.

VŠEOBECNÉ CIRKULAČNÉ CHARAKTERISTIKY BRATISLAVY A ICH OVPLYVNĽOVANIE

Cirkulačné pomery Bratislavy sú priamo závislé na veterných pomeroch Podunajskej a Záhorskej nížiny. Tieto sú vytvárané priebehom všeobecnej cirkulácie atmosféry v strednej Európe a sú v značnej miere ovplyvnené orografickou depresiou medzi Východnými Alpami a Západnými Karpatmi. Toto orografické zníženie spôsobuje v oboch nížinách v medznej vrstve troposféry charakteristickú cirkuláciu vzduchu s maximom početnosti smerov NW a SE vetra a minimom početnosti NE a SW vetra, ako aj celkovo rýchlejšiu výmenu vzduchu oproti okolitým oblastiam. Okrem toho cirkulačné pomery v oboch nížinách ovplyvňuje aj pohorie Malé Karpaty, ktorého pozdĺžna os je orientovaná v smere SW-NE, teda kolmo na prevládajúce smery vetra. Pomerne dobre izolované pohorie, i napriek nemalej relatívnej výške (približne 400 – 500 m), je výraznou orografickou prekážkou pre prevládajúce prúdenie vzduchu a podmieňuje niektoré výrazné rozdiely medzi charakteristikami rýchlostí a smerov vetra medzi oboma nížinami.

Orografický vplyv Malých Karpát na ich NW strane sa prejavuje najmä náveterným znížením početnosti a zoslabovaním NW vetra a záveterným zvýšením početnosti a

zosilňovaním SE vetra. Naopak, na ich SE strane pozorujeme opačné orografické účinky – záveterné zvýšenie početnosti a zosilňovanie NW vetra a náveterné zníženie početnosti a zoslabovanie SE vetra oproti zodpovedajúcim hodnotám na NW strane pohoria. Takéto rozdiely sa uplatňujú vo vzdialenosti niekoľko desiatok kilometrov od pohoria.

V oblasti Bratislavy, na SE strane hlavného hrebeňa Malých Karpát, sa však objavujú aj iné orografické vplyvy, ktoré sa v ostatných častiach Záhorskej a Podunajskej nížiny nevyskytujú. Prejavujú sa zmenou všeobecného prúdenia, a síce náveterným orografickým zoslabovaním a stáčaním prúdenia z kvadrantu S-E do kvadrantu N-E. V dôsledku toho v oblasti Bratislavy pripadá vedľajšie maximum početnosti výskytov na NE vietor, na rozdiel od ostatných častí Podunajskej nížiny, kde pripadá vedľajšie maximum početnosti na SE vietor.

Orografické zmeny smerov a rýchlostí všeobecného prúdenia vzduchu v Bratislave závisia od celkovej poveternostnej situácie, od rýchlosti všeobecného prúdenia a od vertikálnej stability spodnej vrstvy atmosféry. Pritom od vertikálnej stability závisí najmä orografické náveterné stáčanie všeobecného prúdenia.

PREVLÁDAJÚCE SMERY VETRA A ICH SEZÓNNE ZMENY

Na letisku M. R. Štefánika v Bratislave prevláda celoročne NW vietor. Maximum výskytu dosahuje v letnom období kedy je prevládajúcim vetrom v oblasti celej Bratislavy i Záhorskej nížiny. Druhým najpočetnejším smerom vetra je NE vietor, ktorý je dôsledkom, ako už bolo spomenuté vyššie, orografického stáčania SE vetra. NE vietor dosahuje svoje maximum početnosti v chladnom polroku.

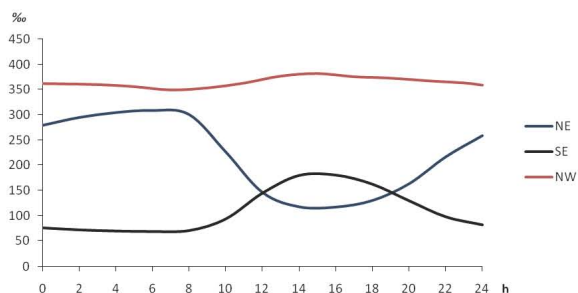
Rozdiely v početnosti prevládajúcich a ostatných smerov vetra medzi ročnými obdobiami sú podmienenými najmä sezónnym kolísaním všeobecnej cirkulácie atmosféry v strednej Európe, ktorá vyplýva z klimatických charakteristík mierneho pásma. Rozdelenie početnosti dvoch prevládajúcich smerov (NW a NE) sa môže z roka na rok líšiť, najmä však v zime, a to podľa toho, či ide o miernu zimu s prevládajúcim prúdením vzduchu od oceána, alebo o chladnejšiu zimu s prevládajúcou cirkuláciou s kontinentálnymi zložkami prúdenia.

ZMENY SMEROV VETRA CEZ DEŇ

Denné periodické kolísanie početnosti smerov vetra v oblasti Bratislavy má svoje špecifiká a je spôsobené

kombináciou všeobecného prúdenia s lokálnymi termodynamickými efektmi a orografickými účinkami Malých Karpát.

Ako vidieť z priebehu kriviek na obr. 1, na letisku v Bratislave majú smery NNE-NE-ENE a ESE-SE-SSE výrazný a pritom opačný denný chod početnosti. Výkyvy priemernej početnosti prevládajúcich vetrov z kvadrantu N-W v priebehu dňa sú malé a nevykazujú výrazný denný chod, čo poukazuje na to, že denný chod početnosti týchto smerov nezávisí (alebo iba málo závisí) od vertikálnej stability spodnej vrstvy atmosféry.



Obrázok 1 – Denný chod relatívnej početnosti (%) smerov vetra v troch kvadrantoch na letisku v Bratislave

Smery vetra NNE-NE-ENE sa vyskytujú vo väčšine prípadov pri stabilnom zvrstvení. Za takéhoto zvrstvenia spôsobujú Malé Karpaty náveterné stáčanie a zoslabovanie všeobecného prúdenia z kvadrantu S-E do kvadrantu N-E. Preto zložky prúdenia SSE-SE-ESE sa v tejto oblasti vyskytujú vo väčšine prípadov iba pri nestabilnom vertikálnom zvrstvení. Ešte výraznejšia je prevládajúca vertikálna nestabilita atmosféry pri prevládajúcich smeroch vetra WNW-NW-NNW, ktoré sa vyskytujú pri vpádoch chladného vzduchu, najmä v teplom polroku, alebo pri relatívnom oteplení v zimnom období. Avšak istý podiel na zväčšených vertikálnych gradientoch teploty vzduchu pri prúdení WNW-NW-NNW má aj relatívne záveterné oteplenie, ktoré za vhodných poveternostných situácií spôsobuje zostupnú zložku NW prúdenia v závetrí Malých Karpát, o čom svedčí aj zmenšenie oblačnosti na SE strane pohoria za takýchto situácií.

Smery vetra NNE-NE-ENE a ESE-SE-SSE majú vo všetkých ročných obdobiach navzájom obrátený ročný chod početnosti s maximálnou amplitúdou v prechodných ročných obdobiach a s najmenšou amplitúdou v zime. Prúdenie vzduchu smerov NNE-NE-ENE, ktoré je v SE oblasti Malých Karpát vytvárané prevažne náveterným stáčaním všeobecného prúdenia z kvadrantu S-E do kvadrantu N-E pri stabilnom vertikálnom zvrstvení, má vcelku výrazný, a pritom opačný denný chod početnosti ako denný chod súčasných hodnôt vertikálneho gradientu teploty vzduchu. Preto maximum početnosti smerov NNE-NE-ENE je v čase najmenších vertikálnych gradientov teploty v neskorých nočných až skorých ranných hodinách a minimum v čase najväčších vertikálnych gradientov v popoludňajších hodinách. Najmenšia denná amplitúda početnosti NNE-NE-ENE v zime je podmienená najmä tým, že v tejto časti roka sa najčastejšie vyskytujú poveternostné situácie, keď náveterné stáčanie všeobecného prúdenia s SE

zložkou do smeru so NE zložkou prebieha i cez celý deň, kým v ostatných ročných obdobiach sú takéto situácie zriedkavé. V iných ročných obdobiach, za situácií s náveterným stáčaním všeobecného prúdenia s SE zložkou do smeru so NE zložkou, prebieha takéto orografické stáčanie vo večerných až ranných hodinách a v denných hodinách býva spravidla vymenené nestáčaním všeobecným prúdením z kvadrantu S-E. Preto tieto skupiny smerov vetra majú navzájom opačný denný chod početnosti.

Amplitúda denného chodu početnosti smerov vetra ESE-SE-SSE je približne rovnaká, alebo len o málo menšia ako denná amplitúda početnosti smerov NNE-NE-ENE. Keďže tieto skupiny smerov vetra majú vcelku navzájom obrátený denný chod početnosti, krivka denného chodu početnosti smerov ESE-SE-SSE má v oblasti Bratislavy približne rovnakú tendenciu ako krivka denného chodu súčasného vertikálneho gradientu teploty vzduchu v spodnej vrstve atmosféry.

PRIEMERNÁ RÝCHLOSŤ VETRA A JEJ SEZÓNNE KOLÍSANIE

Orografické prostredie Bratislavy zapríčiňuje celkovú značnú veternosť a to do takej miery, že Bratislava je jedným z najveternejších miest na Slovensku. Orografický účinok Malých Karpát sa prejavuje zosilňovaním NW vetra na záveternej SE strane pohoria a jeho zoslabovaním na náveternej NW strane. Pri SE vetre sa zasa uplatňuje jeho orografické náveterné zoslabovanie na SE strane pohoria a záveterné zosilňovanie na NW strane. Tieto orografické zmeny sú najvýraznejšie na úpätí, spodných svahoch pohoria a priľahlých nížinných oblastiach, teda i na letisku M. R. Štefánika.

Najväčšiu priemernú rýchlosť v oblasti letiska majú prevládajúce NW a NE vetry. Na smery vetrov, ktorých početnosť je najnižšia (SW a SE), pripadá aj najmenšia priemerná rýchlosť. Maximum početnosti rýchlostí NW vetra pripadá na interval 11 – 15 km/h, zatiaľ čo u NE vetra to je interval 6 – 10 km/h, pretože orografické stáčanie prúdenie spomaľuje, kým prechod NW vetra cez Malé Karpaty spôsobí jeho urýchlenie.

Čo sa týka sezónnych zmien priemernej rýchlosti jednotlivých smerov vetra, maximum priemernej rýchlosti všetkých smerov pripadá na zimu alebo na jar, tieto obdobia sú teda najviac veterné. Najmenej veterná je v tomto ukazovateli jeseň. Zima alebo jar reprezentujú tiež obdobia, kedy dochádza k výskytu najväčších rýchlostí vetra bez ohľadu na smer. Najväčšie sezónne kolísanie priemernej rýchlosti majú prevládajúce smery vetra, čiže NW a NE. Z hľadiska extrémnych rýchlostí vetra, najvyššie okamžité hodnoty bývajú zaznamenané v zime, teda v období maximálnej intenzity všeobecnej cirkulácie v strednej Európe.

Rozloženie rýchlostí a priemerná rýchlosť jednotlivých smerov vetra sa mení aj podľa jednotlivých typov poveternostných situácií. Rozdiely priemernej rýchlosti vetra medzi anticyklonálnymi a cyklonálnymi situáciami sa menia podľa smerov vetra a pri jednotlivých smeroch sa menia aj v priebehu roka. Najväčšie rozdiely v priemernej rýchlosti za anticyklonálnych a cyklonálnych situácií sú pri prevládajúcich NW vetroch, kým najmenšie pri vetroch vedľajšieho maxima

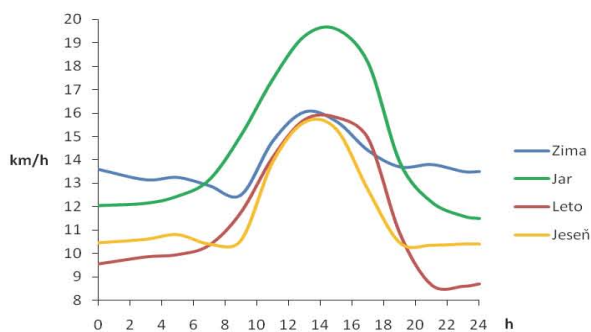
NE. Priemerná rýchlosť za anticyklonálnych typov je spravidla menšia ako zodpovedajúca priemerná rýchlosť za cyklonálnych typov, s výnimkou prúdenia z kvadrantu S-E, kde je situácia opačná.

Silné vetry sa najčastejšie vyskytujú z kvadrantu N-W. Minimum výskytov silných vetrov v oblasti Bratislavy pripadá na NE alebo na SW vietor. V priebehu roka sa silné vetry vyskytujú najviac v druhej časti zimy a v jarných mesiacoch, najmenej v období mesiacov august až október. Okrem najvyšších svahov a hrebeňov Malých Karpát sa silné vetry vyskytujú aj v rovinných častiach Bratislavy (letisko), kde sa uplatňuje záveterné orografické zosilňovanie NW vetra. V extrémnych prípadoch môžu dosahovať silu víchrice až silnej víchrice, čo predstavuje rýchlosť vetra 70 – 90 km/h.

DENNÉ ZMENY RÝCHLOSTI VETRA

Podobne ako pri smeroch vetra, aj pri jeho rýchlosti dochádza k periodickým zmenám v priebehu dňa. Tieto zmeny sú spôsobené denným periodickým chodom radiačnej a tepelnej bilancie v spodnej vrstve atmosféry a s tým súvisiacim denným chodom turbulentnej výmeny tepla medzi prízemnou vrstvou a vyššími vrstvami ovzdušia. Preto i v Bratislave sa najzreteľnejší denný chod vyskytuje za radiačných typov počasia. V priebehu roka sa najmenšie denné kolísanie rýchlosti vyskytuje v zimných mesiacoch.

Ako vidieť z obr. 2, v zime sa vyskytuje jednoduchý denný chod rýchlosti vetra s maximom v prvých popoludňajších hodinách a málo významným minimom v čase okolo východu slnka. V ostatných ročných obdobiach je chod takmer paralelný, s výrazným maximom v prvých popoludňajších hodinách a s minimom v neskorých večerných až nočných hodinách. Ide o denný chod rýchlosti vetra rovinného typu. Najväčšiu dennú amplitúdu na letisku M. R. Štefánika má mesiac apríl (9,4 km/h) a najmenšiu január (3,1 km/h). Ročný priemer dennej amplitúdy je 5,8 km/h.

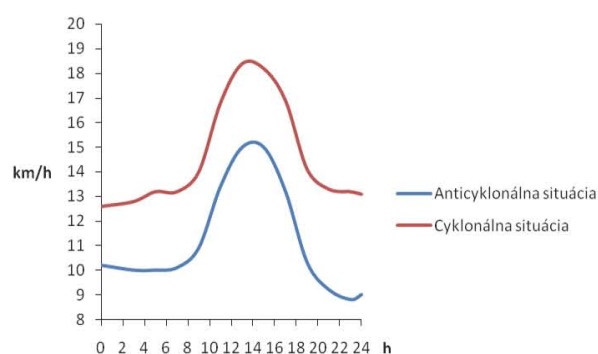


Obrázok 2 – Denný chod celkovej priemernej rýchlosti vetra v jednotlivých ročných obdobiach

Denné periodické kolísanie rýchlosti vetra závisí aj od poveternostnej situácie. Ako je uvedené vyššie, najvýraznejší denný chod rýchlosti vetra sa vyskytuje za situácie s radiačným typom počasia. Takýto typ sa vyskytuje častejšie za anticyklonálnych situácií ako za cyklonálnych, preto väčšie denné periodické kolísanie i väčšia denná amplitúda rýchlosti vetra sa vyskytujú za anticyklonálnych situácií, a to vo všetkých

ročných obdobiach okrem zimy. Priemerná rýchlosť vetra v priebehu celého dňa je vo všetkých ročných obdobiach väčšia za cyklonálnych situácií ako sa anticyklonálnych. Táto väčšia veternosť je spôsobená zvýšenou intenzitou všeobecného prúdenia cyklonálnej situácie.

Rozdiely rýchlosti vetra medzi anticyklonálnymi a cyklonálnymi situáciami sa menia v priebehu dňa i roka. Rozdiely v priebehu dňa vo všetkých ročných obdobiach sú najväčšie vo večerných až prvých nočných hodinách (obr. 3). Možno to vysvetliť tým, že za anticyklonálnych situácií večerný pokles rýchlosti vetra podmienený vyžarovaním sa začína rýchlejšie a je intenzívnejší ako za cyklonálnych situácií. V priebehu roka sú rozdiely priemernej rýchlosti medzi oboma situáciami najväčšie v lete. [14]



Obrázok 3 – Denný chod priemernej rýchlosti vetra za anticyklonálnych a cyklonálnych situácií

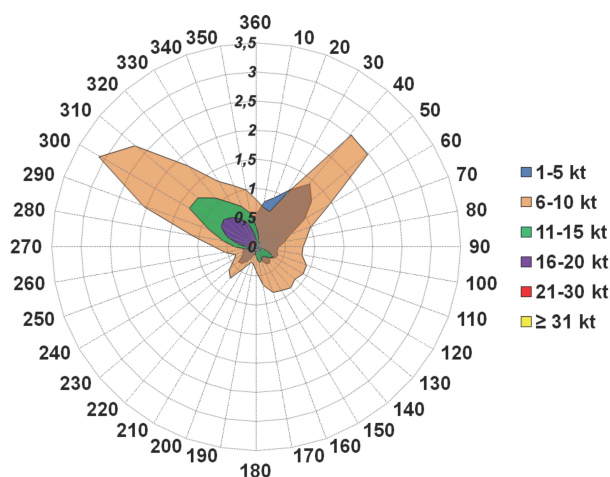
ŠTATISTICKÁ ANALÝZA

V predchádzajúcom boli popísané cirkulačné pomery Bratislavy tak, ako sú popísané v literatúre, ktorá vychádza zo údajov o vetre z rokov 1951 – 1970. V nasledujúcich odsekoch budú uvedené výsledky štatistickej analýzy zozbieraných dát. Zber dát pre potreby výskumu sa uskutočnil na meteorologickej stanici letiska M. R. Štefánika. Na meranie rýchlosti a smeru prízemného vetra slúžia súpravy Vaisala WA15 a WA25. Na meranie rýchlosti sú používané senzory WAA 251, WAA 252 a WAA 15A. senzory WAV 251 a WAV 252 slúžia na meranie smeru prízemného vetra. Vyššie popísanými prístrojmi sa na letisku M. R. Štefánika monitoruje aktuálna poveternostná situácia. Výstupy z meracích zariadení sú o. i. uvádzané v pravidelných leteckých meteorologických správach METAR. Tieto správy sú vydávané v polhodinových intervaloch. Pri štatistickej analýze boli spracované práve správy METAR z letiska M. R. Štefánika za obdobie 10 rokov, a síce od r. 1997 do r. 2006. Toto obdobie spĺňa (a prekračuje) minimálne požiadavky ICAO na spracovanie meteorologických údajov. Ako bolo spomenuté vyššie, na sledovanom letisku sú tieto správy vydávané v polhodinových intervaloch. Za 10 rokov tak dostávame 175 296 správ. Pri samotnej analýze však boli použité len správy vydané v hodinových intervaloch, z dôvodu možnosti porovnania aj tými s letiskami, na ktorých sa správy METAR v polhodinových intervaloch nevydávajú. Pri 24 správach za deň, 365 dňoch v roku a dvoch priestupných rokoch z desiatich sledovaných, tak dostávame 87 648 správ. Z letiska M. R. Štefánika bolo k dispozícii 87 584 správ METAR, ktoré

boli v tejto analýze spracované; chýbajúcich 64 správ predstavuje 0,073% z celkového počtu, preto je možné absenciu týchto niekoľko málo údajov zanedbať.

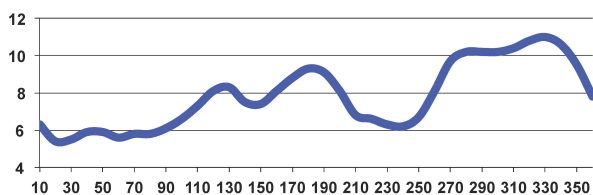
Za obdobie rokov 1997 – 2006 sa na letisku LZIB najčastejšie pozorovali smery prízemného vetra 300° až 310° s relatívnou početnosťou 5,76% resp. 5,27% (absolútna početnosť 5 048 resp. 4 619 pozorovaní), druhotné maximum početnosti výskytu pripadá na smery 40° až 50° s relatívnou početnosťou 4,05% resp. 3,78% (absolútna početnosť 3 550 resp. 3 310). Naopak, najmenej početné sú vetry so smerom 190° až 200°, na ktoré pripadá relatívna početnosť 0,58% v oboch prípadoch (absolútna 510 resp. 509). Bezvetrie sa na celkových cirkulačných pomeroch podieľalo 13,34% (11 686 pozorovaní), kým premenlivý smer vetra bol zaznamenaný 12 751 krát, čo predstavuje podiel 14,56%.

Maximum početnosti rýchlostí vetra pripadá s 38,32% na interval 6 až 10 kt (33 563 pozorovaní), druhotné maximum na interval 1 až 5 kt s relatívnou početnosťou 30,58% (absolútna početnosť 26 782), kým najmenej početný je interval nad 31 kt s podielom 0,03%, čo predstavuje 27 pozorovaní v priebehu desiatich rokov.



Obrázok 4 - Relatívna početnosť smerov a rýchlostí (kt) prízemného vetra na LZIB za celé sledované obdobie v %

V porovnaní s údajmi uvedenými v predchádzajúcich častiach článku, ktoré boli získané z pozorovaní a záznamov z rokov 1951 – 1970, najväčšiu početnosť naďalej majú NW vetry, nasledované NE vetrami. Pri spomínanom výskume však bolo zaznamenaných 8 smerov, pri tejto analýze 36 smerov. To znamená, že smery prízemného vetra 300° až 310° zodpovedajú NW smeru a smery 40° až 50° NE smeru. Pri NW smeroch prízemného vetra bola zaznamenaná aj najväčšia priemerná rýchlosť (obr. 5), všeobecná cirkulácia na LZIB sa teda za niekoľko posledných desaťročí výrazne nezmenila.



Obrázok 5 – Priebeh priemernej rýchlosti (kt) v závislosti od smeru prízemného vetra na LZIB za sledované obdobie

ZÁVER

V sledovanom období boli najpočetnejšími smermi vetra smery 300° až 310°, druhotné maximum pripadá na smery 40° až 50°. Naopak, najmenej často sa vyskytli smery prízemného vetra 190° až 200°. Bezvetrie bolo zaznamenané v 13,34% prípadov, zatiaľ čo premenlivý smer vetra bol pozorovaný 12 751 krát, čo predstavuje podiel 14,56%. Čo sa týka rýchlostí prízemného vetra, najpočetnejším rýchlostným intervalom bol interval 5 – 10 kt a najväčšia priemerná rýchlosť pripadá na najpočetnejšie smery 300° až 310°. V porovnaní s údajmi z kapitoly 4, ktorá popisuje veterné pomery Bratislavy z rokov 1951 – 1970, možno konštatovať, že všeobecná cirkulácia sa za posledných niekoľko desaťročí výrazne nezmenila.

POĎAKOVANIE

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „*Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry; ITMS 26220220156.*“

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „*Centrum excelencie pre leteckú dopravu; ITMS 26220120065.*“



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

LITERATÚRA

- [1] KOKČEK M. a kol.: *Klíma a bioklíma Bratislavy*, Prvé vydanie, Veda, Bratislava, 1979, s. 11, 83 – 113, 138, 146, 151. Vojenský útvar Sliač. Pokyny pre činnosť stanice biologickej ochrany letiska. 2012. 9 s.
- [2] Hromádka, M.: *Analýza výšky základne oblačnosti v závislosti od smeru a rýchlosti prízemného vetra na letisku M. R. Štefánika v Bratislave* [Bakalárska práca]. 2009. 75 s.
- [3] NEDELKA M.: *Prehľad leteckej meteorológie*, Prvé vydanie, Alfa, Bratislava, 1984, s. 18, 84, 87 – 88.

- [4] Meteorológia / Roman Topolčány, František Jůn, Sandra Krollová ; vedecký redaktor: Dušan Kevický. - 1. vyd. - Žilina : Žilinská univerzita, 2004. - 210 s. - ISBN 80-8070-216-0