

METEOROLOGICAL RADIOLOCATOR AS A TOOL TO IMPROVE METEOROLOGICAL INFORMATION FOR AVIATION

METEOROLOGICKÝ RÁDIOLOKÁTOR AKO NÁSTROJ NA ZLEPŠENIE METEOROLOGICKÝCH INFORMÁCIÍ PRE LETECTVO

Radoslava Hanuliaková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
radkahanuliakova@gmail.com

Miriam Jarošová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
miriam.jarosova@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper deals with meteorological radar as a tool to improve meteorological information for aviation. The first theoretical part is devoted to the history of weather forecasting and its gradual improvement. The part describes the current state of the problem in the Slovak Republic and in the world. The next part characterizes the meteorological radar, what it is used for and what is its essence. The following is the division of radars, characteristics of the radar network in Europe and the radar network in Slovakia. In the last theoretical part, attention was paid to the merged maps, their individual products - Maximum, CAPPI 2 km, EchoTop and 1h total precipitation. The last part consists in a practical representation and description of individual maps of the cold, warm and occlusive front over the territory of the Slovak Republic. These maps show how the radar captured the weather, SYNOP reports were also used, which provide a more detailed weather forecast, maps of dangerous phenomena for aviation and maps from the OPERA network.

Keywords

Meteorological radiolocator, Slovak Hydrometeorological Institute, Maximum, EchoTop, CAPPI 2 km, 1h total precipitation.

1. Úvod

Okrem meteorologických informácií z pozemných meraní sú veľmi dôležité aj informácie z meteorologických družíc a radarov. V tejto práci sa budeme venovať najmä meteorologickým rádiolokátorom, krátkou históriou, súčasným stavom na území Slovenskej republiky a vo svete, rozdeleniu rádiolokátorov, opisu ich práce, základným produktom - Maximum, CAPPI 2 km, EchoTop, 1h úhrn zrážok a prečo sú pre letectvo dôležité. Meteorologickú službu na našom území poskytuje Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ), ktorá je poskytovaná v súlade s predpisom L3 - Letecká meteorologická služba. V súčasnej dobe je bez meteorologického rádiolokátora činnosť meteorologickej služby nepredstaviteľná. Slovenská rádiolokačná sieť pozostáva zo 4 rádiolokátorov Meteor 735 CDP10 od výrobcu Selex-Gematronik, ktoré boli inštalované v roku 2015. Za celosvetové poskytovanie meteorologických služieb zodpovedá Svetová meteorologická služba (WMO). V závere práce sa čitateľ môže oboznámiť s výsledkami nášho skúmania, ktorého cieľom bolo detegovať jednotlivé meteorologické javy nad naším územím a určiť, či sú tieto javy pre letectvo nebezpečné alebo nie. Tieto meteorologické javy sú znázornené na snímkach, ktoré nám meteorologický rádiolokátor ukázal počas toho, ako naším územím prechádzal oklúzny front. Priložená je mapa prízemného tlakového poľa, mapa nebezpečného počasia pre letectvo a snímka zo siete OPERA, ktorá znázorňuje počasie nad územím Európy. Na záver tejto časti sme použili správy SYNOP, ktoré nám pomohli pri podrobnejšom určovaní počasia.

2. História

Už mnoho rokov dozadu ľudia začali pozorovať prírodu, zmeny počasia a prírodné javy, aby vedeli predpovedať aké počasie bude. Prvé merania teploty a tlaku vykonal Ján Adam Reimann v rokoch 1717 - 1720 v Prešove. V roku 1871 Mikuláš Konkoly založil pozorovacie observatórium v Hurbanove. Rok 1939 sa vyznačuje ako významný, pretože na území Slovenskej republiky bol založený Štátny meteorologický a hydrologický ústav, na ktorom si niesol zásluhu Mikuláš konček, ktorý taktiež predstavil klimatickú klasifikáciu na základe indexu zavlžovania, ktorá sa používal najmä na našom území. Ďalším dôležitým krokom bol opis rozpadu vodných kvapiek, ktorý sa používa aj v súčasnej dobe. V priebehu druhej svetovej vojny sa pre letectvo stal veľmi dôležitý meteorologický radar, ktorý včas hlásil riziká spojené s počasím. Samozrejme aj ostatné prístroje hrali veľkú rolu. Rádiosondy sa využívali na výškové meteorologické merania, anemometre na meranie smeru a rýchlosti vetra v oblasti letiska, ktoré poskytovali veľmi potrebné informácie pri vzlete a pristátí a ceilometre na meranie výšky základne oblakov nad letiskom. Prelomovým zistením bol objav dýzového prúdenia, čo ovplyvnilo povojnové operácie civilného letectva. Spotreba paliva bola ovplyvňovaná silnými vetrami charakteru dýzového prúdenia [1].

50. roky súviseli s prudkým nárastom civilného letectva, ktorý zahŕňal rozvoj transoceánskych letov a leteckej meteorológie. Letecká meteorológia musela spĺňať požiadavky letu vo vysokej nadmorskej výške a bolo potrebné vykonať množstvo vylepšení.

V 60. rokoch sa zdokonaľovali aj schémy numerických predpovedí počasia od jednoduchých atmosférických modelov po zložitejšie. V tomto období sa zdokonaľovali systémy automatického získavania, zhromažďovania a spracovania primárnych a sekundárnych informácií a tento trend pretrváva dodnes. Toto obdobie bolo dôležité z dôvodu charakteristík prijímania informácií z umelých družíc Zeme (4. októbra 1957 vypustenie prvej umelej družice Sputnik). Meteorologické družice poskytovali informácie o počasi potrebné pre letectvo, aby umožňovali pozorovanie umiestnenia a štruktúru frontálnych systémov a pásiem zrážok, pohyb a vývoj búrkových oblačných systémov a tvorbu nebezpečných tropických cyklón [4].

Ďalším prelomovým krokom bol vznik Svetovej meteorologickej organizácie (WMO), ktorá spolupracuje v oblasti meteorologických, klimatologických, hydrologických a geofyzikálnych pozorovacích sietí, ale aj vzájomne vymieňa a spracováva namerané údaje medzi krajinami, ktoré tieto organizácia združuje. Rovnako dôležité sú aj organizácie Národného úradu pre letectvo a vesmír (NASA) - USA a Európskej vesmírnej agentúry (ESA) - Európa, ktoré okrem iného svojimi družicami a radarmi spresňujú predpoveď počasia.

Významným obdobím bol rok 1979, kedy vznikol na Slovensku SHMÚ. Táto organizácia poskytuje meteorologické a hydrologické služby na národnej aj medzinárodnej úrovni. SHMÚ monitoruje kvantitatívne parametre stavu ovzdušia a vôd na území Slovenskej republiky, zhromažďuje, overuje, hodnotí, archivuje a interpretuje údaje a informácie o stave a režime ovzdušia a vôd, popisuje deje v atmosfére a hydrosfére, tvorí a vydáva meteorologické a hydrologické predpovede, výstrahy a informácie.

3. Súčasný stav riešenej problematiky

Na území Slovenskej republiky v súčasnej dobe meteorologickú službu pre civilné letectvo poskytuje SHMÚ. Letecká meteorologická služba pre civilné letectvo je poskytovaná v súlade s predpisom L3 - Letecká meteorologická služba. Meteorologické informácie sú poskytované všetkým leteckým prevádzkovateľom, pracoviskám riadenia letovej prevádzky, prevádzkovateľom letísk, posádkam lietadiel, pátracím a záchranným službám a iným zložkám, ktoré ich potrebujú na zabezpečenie svojej činnosti.

Rozdeľujeme ich na primárnu a sekundárnu informáciu. Primárna informácia sa získava z meteorologických pozorovaní a je to informácia o aktuálnom počasi. Sekundárna je informácia o pozorovanom počasi vo forme kódovaných informácií, prízemných poveternostných máp, aerologických diagramoch a vertikálnych rezoch atmosférou. Na získanie týchto informácií slúži sieť pozemných meteorologických staníc, radarov a družíc a pozorovania z lietadiel [1] [3] [6].

4. Meteorologické pozorovania a merania vo svete

Vo svete je za organizáciu a odborné riadenie výskumu atmosféry a globálne poskytovanie meteorologických služieb zodpovedné WMO. Je to medzivládna organizácia, ktorá má 193 členských štátov. Podporuje spoluprácu v oblasti meteorologických, klimatologických, hydrologických a geofyzikálnych pozorovacích sietí a taktiež vzájomnú výmenu a spracovanie nameraných údajov. Venuje pozornosť vzájomnej

spolupráci medzi národnými meteorologickými ústavmi členských štátov a o ďalšiu aplikáciu meteorológie pre potreby verejnosti, poľnohospodárstva, letectva, dopravy, životného prostredia, vodného hospodárstva a na zmiernenie dopadov prírodných katastrof. WWW, ktorá existuje od apríla 1968 slúži ako celosvetový meteorologický systém na poskytovanie dostupných meteorologických informácií pre prevádzkové alebo výskumné účely [4].

Komisia pre leteckú meteorológiu vyvíja služby v spolupráci s medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo (ICAO) a je taktiež hlavným koordinátorom odborného rozvoja leteckých meteorologických služieb členských štátov WMO. ICAO je organizácia zameriavajúca sa na vypracovanie, rozvoj a štandardizáciu postupov pre meteorologické zabezpečenie leteckej dopravy. Meteorologický odbor ICAO má v právomoci celosvetovú unifikáciu pravidiel a postupov používaných pri zabezpečení leteckej prevádzky [4].

5. Meteorologické pozorovania a merania na Slovensku

Meteorologické merania a pozorovania na Slovensku zabezpečuje SHMÚ, odborná organizácia, ktorá pôsobí na celom území Slovenska a poskytuje klimatické a meteorologické informácie, informácie o kvalite ovzdušia, stave a režime vôd diagnostického aj predpovedného charakteru pre operatívne aj neoperatívne využitie. Činnosť SHMÚ sa riadi zákonom 201/2009 Z. z. o štátnej hydrologickej službe a štátnej meteorologickej službe.

Ústredné pracovisko SHMÚ sa nachádza v Bratislave na Kolibe, regionálne pobočky v Banskej Bystrici, v Košiciach a v Žiline. Ďalšie špecializované pracoviská sú v Bratislave - letisko, ktoré slúži na predpovedanie počasia pre letectvo, v Poprade - Gánovciach (aerologické a radiačné centrum), na Malom Javorníku, Kojšovskej holi, Špaňom laze a na Kubínskej holi (pracoviská rádiolokačných meraní), v Jaslovských Bohuniciach (meteorologické zabezpečenie jadrových elektrární) a 21 profesionálnych observatórií a meteorologických staníc [4] [5].

Letecká meteorologická služba zabezpečuje činnosti, ktoré slúžia pre potreby civilného letectva, zostavovanie predpovedí počasia pre potreby civilného letectva, vydávanie jednotlivých druhov výstrah na nebezpečné poveternostné javy pre leteckú prevádzku, príprava letovej dokumentácie a poskytovanie informácií, konzultácií a brífingu posádkam lietadiel, tvorba klimatologických tabuliek a prehľadov vybraných meteorologických prvkov pre slovenské letiská, prevádzka profesionálnych staníc na letiskách.

Meteorologické údaje získané sledovaním a meraním na prízemných meteorologických staniciach alebo pomocou meteorologických radarov a umelých družíc sú základom pre prípravu predpovedí počasia, ako aj rozsiahleho množstva klimatologických a hydrologických informácií. Získané informácie sú v krátkom čase zaslané do národného meteorologického centra SHMÚ, kde sa prijímajú predspracované dáta alebo hotové produkty z regionálnych meteorologických centier a vykonáva vlastné spracovanie dát a interpretáciu prognostických numerických produktov [4].

6. Meteorologický radar

Meteorologický radar je zariadenie, ktoré určuje priestorové rozloženie oblačnosti a zrážok. Bez neho je činnosť modernej meteorologickej služby v súčasnej dobe nepredstaviteľná. Je to zariadenie, ktoré pomocou elektromagnetických vln určuje priestorové rozloženie okamžitej intenzity atmosférických zrážok, horizontálneho a vertikálneho rozsahu oblačnosti a výskyt javov spojených s oblačnosťou. Vďaka plošnému pokrytiu a dobrému priestorovému a časovému rozlíšeniu dát dopĺňujú sieť pozemných staníc. Poskytujú okamžitý prehľad o pohybe a štruktúre zrážkových systémov a sú zdrojom informácií pre krátkodobú predpoveď a varovania pred nebezpečnými javmi súvisiacimi s konvektívnou oblačnosťou.

Podstatou radaru je vysielanie rádiovéj vlny patričného kmitočtu do celého priestoru. Vysielač generuje krátke impulzy s okamžitým vysokým výkonom. Elektromagnetická energia sa do atmosféry prenáša parabolickou anténou s priemerom niekoľko metrov v tvare úzkeho zväzku konkrétnym smerom a konkrétnym výškovým uhlom. V atmosfére sa časť energie odráža od:

- vodných kvapiek, krúp, sopečného prachu,
- terénnych tvarov, lietadiel.

Malá časť odrazenéj energie tohto impulzu sa vracia k radaru zo vzdialenosti niekoľko stoviek kilometrov. Tam je zachytená prijímacou anténou, zosilňovaná a detegovaná prijímačom radaru. Následne sa vyhodnotí časový rozdiel medzi vyslaním a prijatím impulzu. Polohou antény a doby medzi vyslaním a prijímaním signálu sa určuje poloha cieľa. Intenzitu cieľa predstavuje množstvo odrazenéj energie, ktoré je úmerné rádiolokačnej odrazivosti cieľa. Rádiolokačná odrazivosť je meraná v decibeloch. Hodnoty decibelov sa zvyšujú s rastúcou intenzitou signálu odrazeného od meteorologického cieľa smerom k radaru. Na stanovenie rôznych intenzít odrazivosti sa na radarovej snímke zvyčajne používajú rôzne farby.

Radary vykonávajú objemové merania každých 5 minút a softvér umožňuje na základe týchto meraní vytvárať rôzne produkty. Vlnová dĺžka používaná radarom sa zvyčajne pohybuje medzi 1 a 10 cm, niekedy 15 cm. Čím je vlnová dĺžka kratšia, tým je vyššie rozlíšenie radaru. Vlnová dĺžka 5 cm je najčastejšie používaná v miernych zemepisných šírkach. Výkon jedného impulzu, trvajúceho medzi 0,1 μ s až 5 μ s je 10 až 1000 kW. Šírka zväzkového kužeľa je asi 1°, pričom hranica tohto kužeľa je tam, kde výkon žiarenia oproti centrálnej časti poklesne na polovicu. Okrem hlavného laloka, vysielačia anténa tvorí slabšie bočné laloky. Účinný dosah meteorologických radarov pre určovanie intenzít zrážok je približne 100-250 km, pre detekciu búrkovej oblačnosti do 250-300 km. Schopnosť radaru detegovať javy klesá s rastúcou vzdialenosťou, čo je spôsobené geometriou šírenia lúča nad zakriveným povrchom Zeme a útlmom v atmosfére [4].

Tabuľka 1: Farby rádiolokačnej odrazivosti zodpovedajúce rôznej intenzite zrážok a prejavom počasia. Zdroj: <http://www.meteoradar.cz/o-radaru.php>

Intenzita	Farba, odrazivosť	Zrážky [mm.h ⁻¹]	Prejav
Slabá	Fialová, modrá 4-16 dBZ	< 0,5	Mrholenie
Stredne silná	Zelená 20-32 dBZ	okolo 4	Slabý alebo mierny dážď, žiadna alebo slabá turbulencia, možnosť zníženej dohľadnosti
Silná	Žltá, oranžová 36-44 dBZ	okolo 10	Silný dážď, mierna turbulencia, veľmi nízka dohľadnosť
Veľmi silná	Červená 48-56 dBZ	okolo 70	Prívalový dážď, búrka, silná turbulencia
Extrémna	Bielá 60 dBZ	> 100	Krúpy

Meteorologické radary sa podľa spôsobu funkcie rozdeľujú na:

- **monostatický** - používa sa na vysielanie signálu a prijímanie odrazeného signálu jednu anténu; väčšina používaných radarov je tohto typu,
- **bistatický** - má antény vysielača a prijímača umiestnené na rozdielnych miestach, vzdialenosť medzi nimi môže byť pomerne veľká, antény musia byť zamerané na rovnaký cieľ, signál z tohto cieľa je rozptýlený vo viacerých smeroch, prijímacia anténa musí odrazený signál zachytiť.

Meteorologické radary sa podľa umiestnenia a spôsobu funkcie rozdeľujú na:

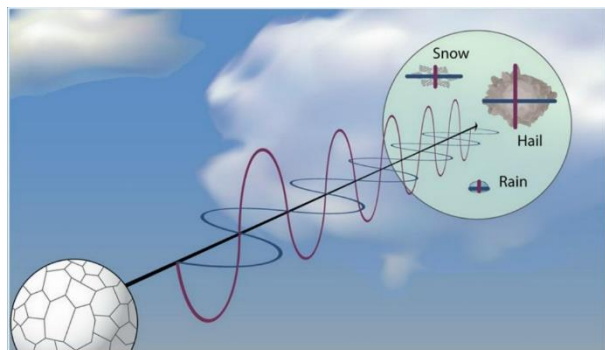
- **pozemné** - umiestnené na zemskom povrchu (dopplerov radar, dual-polarizačný radar),
- **palubné** - umiestnené na palube lietadiel [4].

6.1. Dopplerov radar

Špeciálny druh radaru, ktorý je schopný merať rýchlosť cieľa vďaka dopplerovmu efektu. Pracuje na princípe zmeny frekvencie vlny po jej odraze od pohybujúceho sa objektu (častice v atmosfére) vzhľadom k radaru, ktorý je v pokoji. Pri pohybe zdroja zvuku je posun vo frekvencii priamo úmerný rýchlosti zdroja, čo platí aj pre elektromagnetické žiarenie vysielané z radaru. Pri pohybe objektu k radaru je frekvencia vyššia a od radaru klesá. Radar porovnáva frekvenciu prijatého signálu s frekvenciou signálu vyslaného radarom. Potom sa meria posun frekvencie, ktorý je priamo úmerný rýchlosti [4].

6.2. Dual-polarizačný radar

Využíva najnovšiu technológiu. Vysiela impulzy smerované horizontálne aj vertikálne. Po odrazení vyslaného signálu od objektu sa signál vráti späť k radaru a je možné určiť tvar objektu. Tento spôsob detekcie pomáha pri identifikovaní mikrofyzikálnej štruktúry oblačnosti - druhu zrážok v oblačnosti (sneh, krúpy, dážď a oblasti prechodu medzi tuhými a kvapalnými zrážkami) [4].



Obrázok 1: Princíp funkcie dual-polarizačného radaru.
Zdroj: <https://www.weather.gov/news/130425-dualpol>

6.3. Palubný radar

Používa sa na zabránenie stretu s nebezpečnými javmi počasia, čím prispieva k zvýšeniu bezpečnosti letu. Hlavnou úlohou je varovať posádku lietadla pred výskytom mohutnej konvektívnej oblačnosti a prípadnej búrky z nej. Používa sa aj na mapovanie terénu. Nachádza sa v prednej časti lietadla a v súčasnej dobe je povinnou výbavou. Na farebnom displeji sa zobrazujú údaje získané meraním pomocou farebnej stupnice [4].

7. Radarová sieť v Európe

Na výmenu informácií z radaru sa v Európe využíva meteorologický program OPERA, do ktorého je zapojených 30 európskych krajín, kde sa nachádza aj Slovenská republika. Účelom je koordinácia a zlepšenie operačnej výmeny radarových údajov medzi jednotlivými národnými meteorologickými službami. V dnešnej dobe tvorí túto sieť 184 dopplerovských a dual-polarizačných radarov, tieto radary dosahujú do vzdialenosti 200 - 400 km. Najsevernejší radar Hasvikov je v Nórsku, kde sa nachádza aj najvýchodnejší radar v Berlevaagu. Najjužnejší radar je Artenara na Kanárskych ostrovoch. Najzápadnejší sa nachádza na Islande v Keflavíku [4].

8. Radarová sieť na Slovensku

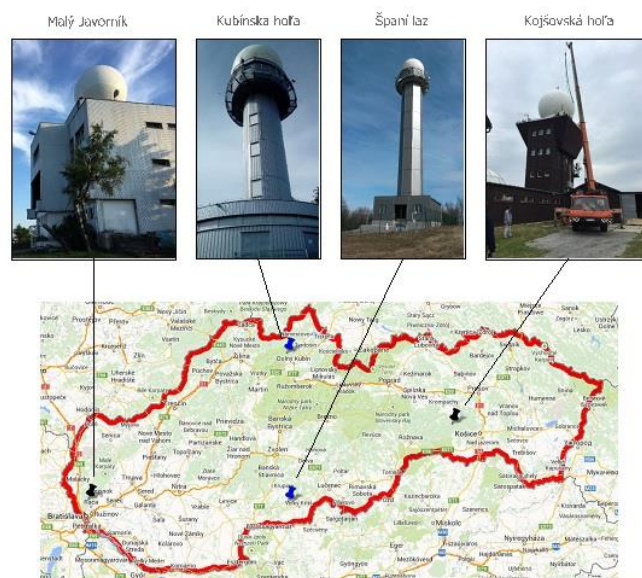
Táto rádiolokačná sieť je tvorená zo 4 meteorologických rádiolokátorov Meteor 735 CDP10 od výrobcu Selex - Gematronik pracujúcich na vlnovej dĺžke 5 cm, C pásmo. Inštalácia prebehla v roku 2015 v rámci projektu budovania protipovodňového a varovného systému POVAPSYS [4] [5].

Dva z nich nahradili pôvodné rádiolokátory na už existujúcich bodoch:

- na Malom Javorníku, v Malých Karpatoch 6 km od Bratislavy (584 m. n. m.),
- na Kojšovskej holi, vo Volovských vrchoch 38 km od Košíc (1 240 m. n. m.).

Ďalšie dva boli nainštalované na nových bodoch:

- na Kubínskej holi, v Oravskej Magure (1 405 m. n. m.),
- na Španíľom laze, pri Veľkom Krtíši (619 m. n. m.) [4] [5].



Obrázok 2: Umiestnenie meteorologických rádiolokátorov SHMÚ.
Čierne – pôvodné body, modré – nové body. Zdroj: <http://www.shmu.sk/Image/DMS/ODM/OBR1.jpg>

Namerané objemové údaje sa prenášajú z rádiolokátorov na centrálny server umiestnený na pracovisku SHMÚ Koliba a potom z nich špeciálny softvér vytvára rôzne produkty podľa požiadaviek užívateľov. Okrem toho objemové údaje vstupujú aj do medzinárodnej výmeny v sieti OPERA a do výmeny so susednými štátmi. OPERA vytvára tri rôzne produkty, ktoré sa aktualizujú každých 15 minút - Maximum, CAPPI 1 km a 1 h úhrn zrážok. Produkt maximálnej odrazivosti sa zobrazuje ako animácia na webovej stránke EUMETNET.

Z produktov všetkých štyroch rádiolokátorov sa každých 5 minút vytvára zlúčená rádiolokačná informácia na serveroch umiestnených na pracovisku SHMÚ Koliba. Pre potreby užívateľov sa vytvárajú základné produkty Maximum, CAPPI 2 km, EchoTop a 1 h úhrn. Softvér vytvára aj ďalšie produkty, ktoré sú uvedené v zozname produktov z radarov SHMÚ [2][5].

Maximum

Produkt maximálnej odrazivosti vo vertikálnom stĺpci. Slúži hlavne na sledovanie búrkovej oblačnosti. Pretože sú v ňom znázornené maximá odrazivosti z celého vertikálneho profilu troposféry, vo väčšine prípadov zobrazené odrazy nepredstavujú zrážky dopadajúce na zemský povrch [5].

CAPPI 2 km

Produkt rádiolokačnej odrazivosti v konštantnej nadmorskej výške 2 km. Zodpovedá zrážkam dopadajúcim na zemský povrch. Je nutné brať do úvahy, že hydrometeory v nadmorskej výške 2 km sa môžu pri svojom páde vypariť alebo byť unášané vetrom. Vo väčšej vzdialenosti od rádiolokátorov, kde lúč pri nižšej výške antény presahuje nadmorskú výšku 2 km, sú chýbajúce dáta doplnené odrazivosťami z väčších nadmorských výšok.

Bright band sú oblasti, ktoré sa môžu vyskytovať v okolí radarov v prípade trvalých zrážok z vrstevnatej oblačnosti so zvýšenou rádiolokačnou odrazivosťou. Majú tvar sústredných kružníc alebo ich časti. Vyššia odrazivosť sa nachádza vo vrstve topenia, ktorá sa musí nachádzať blízko pri nadmorskej výške 2 km, kde dochádza k oboľovaniu ľadových kryštálikov malou vrstvou vody, takže ľadové kryštáliky sa prejavujú ako veľké kvapky s vysokou odrazivosťou a majú zvýšenú pádovú rýchlosť hydrometeorov kvôli zmene ich tvaru. Pri topení - zaoblenia, čo sa prejavuje zníženou koncentráciou hydrometeorov a tým aj odrazivosťou pod vrstvou topenia. Keď nastane kombinácia týchto dvoch efektov vznikne výrazné zvýšenie odrazivosti vo vrstve topenia.

V letnom období možno na snímkach pozorovať odrazy v tvare úzkych lúčov, ktoré smerujú k rádiolokátoru tam, kde sa nevyskytujú zrážky ani oblačnosť. Ide o falošnú lokalizáciu vzdialených intenzívnych búrok, ktoré rádiolokátor nezachytí - second-trip alebo multi-trip echá. Za normálnych okolností je odrazený signál od zrážok mimo dosah rádiolokátora dostatočne zoslabený, preto nie je prijímačom rádiolokátora zaznamenaný. V prípade intenzívnych vzdialených búrok je odrazený signál v prijímači detegovaný. Tento signál je však nesprávne priradený k nasledujúcemu impulzu, ktorý bol medzičasom vyslaný z rádiolokátora. Rádiolokátor takýto odraz lokalizuje na nesprávnom mieste, bližšie k rádiolokátoru, ako je v skutočnosti [5].

EchoTop

Produkt výšky hornej hranice rádioecha. Zobrazuje najvyššiu nadmorskú výšku v každom bode, ktorú dosahujú detegované odrazy s určitou maximálnou rádiolokačnou odrazivosťou > 6 decibelov, menšiu nie je schopné zachytiť, kvôli citlivosti rádiolokátora. Výška hornej hranice rádioecha zvyčajne nezodpovedá výške hornej hranice oblačnosti, ktorá dosahuje vyššie hodnoty. Tento produkt slúži na určenie vertikálnej mohutnosti búrkových oblakov a je veľmi užitočný pri riadení letovej prevádzky [5].

1 h úhrn zrážok

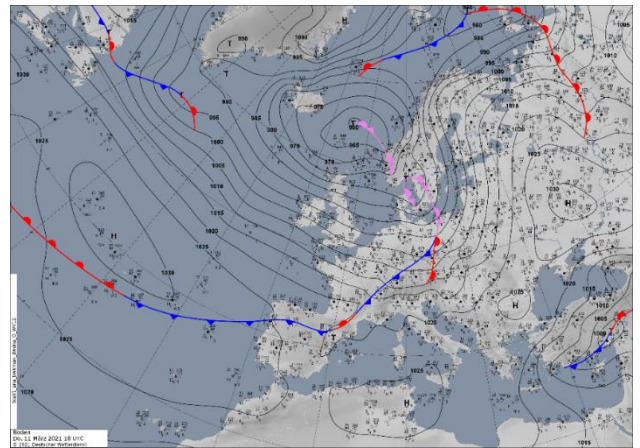
Produkt hodinový úhrn zrážok je určený pomocou polarimetrických meraní. Podáva informáciu o kumulovanom úhrne zrážok z rádiolokačnej odrazivosti. Je počítaný z intenzít zrážok, ktoré sú pre nižšie intenzity odvodené z meraní rádiolokačnej odrazivosti a pre vyššie intenzity spresnené pomocou polarimetrickej veličiny. Intenzity zrážok sú počítané z meraní na hladine 0,5 km nad zemským povrchom tam, kde nie sú dáta z tejto hladiny k dispozícii, z najbližšej dostupnej hladiny [5].

9. Detegovanie meteorologických javov

Pretože sa v leteckej doprave využíva veľké množstvo lietadiel, každá meteorologická informácia je dôležitá pre zabezpečenie bezpečného letu. Existujú však poveternostné situácie, z ktorých niektoré môžu predstavovať riziko. Venovali sme sa možnosti detegovania meteorologických javov nad naším územím. Prakticky sme tieto javy ukázali na poveternostných situáciách, kedy cez naše územie postupoval oklúzny front. Tieto javy sme si pozreli na snímkach meteorologického rádiolokátora, ako základné produkty toto počasie znázornili a aká bola odrazivosť. Použili sme aj mapu nebezpečných javov pre letectvo, mapu z európskej rádiolokačnej siete OPERA a správu SYNOP. Na

rozkódovanie sme použili správu z letiska Žilina/Hričov, aby sme potvrdili, že použité snímky ukazujú pravdivé informácie.

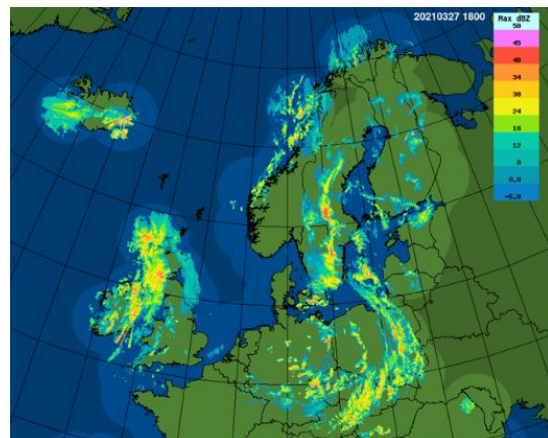
9.1. Oklúzny front



Obrázok 3: Mapa prízemného tlakového poľa 27. marca 2021. Zdroj: <http://www.skystef.be/forecast4m.html>

Na tejto mape zo dňa 11. marca 2021 18:00 UTC sme mohli vidieť, že studený front dobieha teplý front. Následne, keď sa tieto dva fronty spojili, na našom území sa nachádzal oklúzny front. Tento front bol sprevádzaný zvýšenou oblačnosťou a intenzívnymi zrážkami na veľkej ploche.

9.2. OPERA



Obrázok 4: Radarové údaje zo siete OPERA 27. marca 2021. Zdroj: <https://www.eumetnet.eu/activities/observations-programme/current-activities/opera-radar-animation/>

Na tejto mape, ktorú sme získali z európskej rádiolokačnej siete OPERA 11. marca 2021 20:00 UTC sa zobrazuje produkt maximálnej odrazivosti. Z tejto snímky sme určili, že v strednej časti Európy bola odrazivosť od 18 do 34 dBZ (zelená až oranžová), čo znamená, že odrazivosť bola stredne silná až silná a teda nad týmto územím mohla nastať slabá až mierna turbulencia. To prináša hrozbu pre leteckú dopravu.

9.3. Správa SYNOP zo stanice Žilina/Hričov 19:00 UTC

AAXX 11191 11841 41233 82803 10005 21002 39739 40122 72277 885 // 333 82705 84621 88636

11191

- 11 - dátum v mesiaci
- 19 - čas pozorovania, 19:00 UTC
- 1 - anemometer, m/s

11841

- 11 - stredná Európa
- 841 - Žilina/Hričov

41233

- 4 - stále poznávacie číslo skupiny
- 1233 - tlak vzduchu prepočítaný na hladinu mora 1023,3 hPa

82803

- 8 - kompletná informácia o oblakoch
- 2 - množstvo nízkej alebo strednej oblačnosti
- 8 - typ nízkej oblačnosti (stratus cumulus, cumulonimbus)
- 0 - typ strednej oblačnosti (altostratus, nimbostratus, altocumulus)
- 3 - typ vysokej oblačnosti (cirrus, cirrostratus, cirrocumulus)

10005

- 1 - stále poznávacie číslo skupiny
- 0 - znamienko teploty (kladné)
- 005 - teplota vzduchu 0,5 °C

21002

- 2 - stále poznávacie číslo skupiny
- 1 - znamienko teploty (záporné)
- 002 - teplota rosného bodu -0,2 °C

39739

- 3 - stále poznávacie číslo skupiny
- 9739 - tlak vzduchu v nadmorskej výške tlakomera na stanici 973,9 hPa

40122

- 4 - stále poznávacie číslo skupiny
- 0122 - tlak vzduchu prepočítaný na hladinu mora 1012,2 hPa

72277

- 7 - stále poznávacie číslo skupiny
- 22 - stav počasia - sneženie
- 77 - priebeh počasia za posledných 6 hodín - snehové zrná

885

- 8/8 - Stratocumulus, výška základne oblakov sa nedá určiť kvôli tme

333

- poznávacie číslo skupiny

82705

- 2/8 - Stratus, výška základne oblakov 150 m

84621

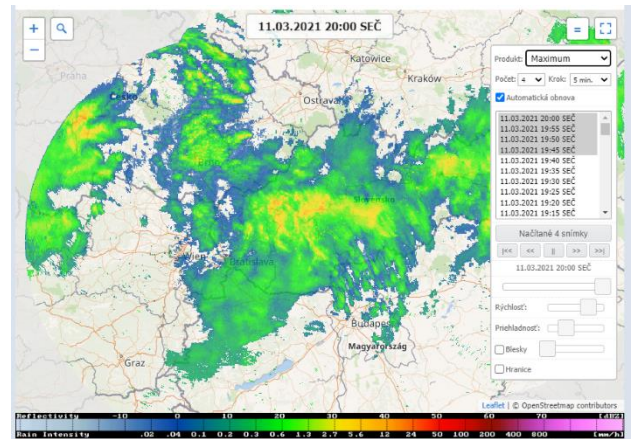
- 4/8 - Stratocumulus, výška základne oblakov 600 m

88636

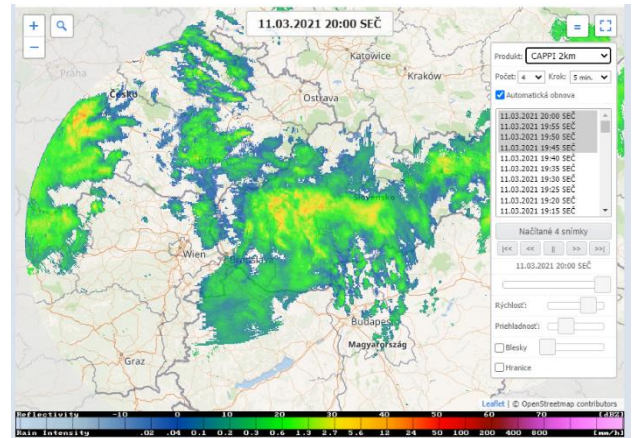
- 8/8 - Stratocumulus, výška základne oblakov 1000 m

9.4. Maximum

Obrázok 5: Zlúčená mapa - Maximum 11. marca. Zdroj: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2322>



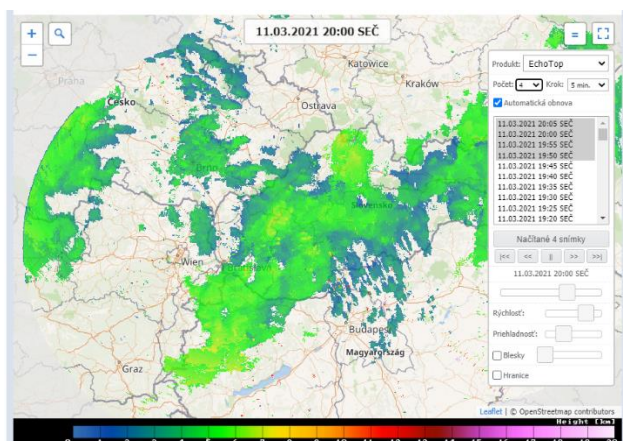
Na tejto mape, ktorú sme získali zo slovenskej radarovej siete 11. marca 2021 21:00 UTC sa zobrazuje produkt maximálnej odrazivosti. Takže z tejto snímky sme určili, že nad územím Slovenskej republiky bola odrazivosť vysoká od 15 do 35 dBZ (zelená až žltá), čo znamená, že odrazivosť je stredne silná až silná. Nad týmto územím sa nenachádzali žiadne búrky, ale mohla nastať slabá až mierna turbulencia. Podľa tejto snímky sme určili, že nad našim územím sa nachádzali veľké hrozby pre leteckú dopravu.

9.5. CAPPI 2 km

Obrázok 6: Zlúčená mapa - CAPPI 2 km 11. marca 2021. Zdroj: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2322>

Z tejto snímky zo dňa 11. marca 2021 21:00 UTC sa zobrazuje produkt CAPPI 2 km - odrazivosť vo výške 2 km. Vo výške 2 km nad územím Slovenskej republiky bola odrazivosť od 15 do 35 dBZ (zelená až žltá), čo znamená, že odrazivosť bola stredne silná až silná. Teda nad týmto územím sa vyskytol slabý až mierny dážď a mohla nastať slabá až mierna turbulencia. To znamená prínos väčšej hrozby, čo je pre plynulosť leteckej dopravy ohrozujúce.

9.6. EchoTop



Obrázok 7: Zlúčená mapa - EchoTop 11. marca 2021
Zdroj: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2322>

Na tejto mape, ktorú sme získali zo slovenskej radarovej siete 11. marca 2021 21:00 UTC sa zobrazuje produkt EchoTop - výška, v ktorej sa nám môže objaviť odrazivosť. Je to dôležitý produkt pre letectvo, pretože nám dokáže povedať v akej výške sa lietadlo môže stretnúť s vrcholom oblačnosti. Z tejto snímky sme určili, že odrazivosť sa nad územím Slovenskej republiky objavila v 4 až 6 km (modrá až zelená).

9.7. 1 h úhrn



Obrázok 8: Zlúčená mapa - 1 h úhrn zrážok 11. marca 2021.
Zdroj: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2322>

Posledným produktom, ktorý je znázornený na tejto snímke je hodinový úhrn zrážok - informácia o kumulovanom úhrne zrážok k radarovej odrazivosti. Podľa informácií, ktoré nám táto snímka poskytla, sme mohli vidieť, že nad naším územím sa v oblakoch nachádzalo 3 až 5 mm zrážok.

9.8. Počasie v letectve

Poslednou mapou je mapa nebezpečných javov v letectve zo dňa 11. marca 2021. Z nej vieme určiť, že nad územím Slovenskej republiky radar zachytil oblačnosť, ktorá predstavovala námrazu a turbulenciu.

10. Záver

V súlade s cieľom tejto práce, detegovať meteorologické javy nad našim územím sme sa snažili vystríchnúť najvhodnejšie situácie, kedy snímky z rádiolokátora ukazovali najväčšiu odrazivosť, aby sme vedeli ukázať, kedy je počasie pre letectvo nebezpečné.

Zvolený bol deň, kedy našim územím prechádzal oklúzny front, teda odrazivosť z rádiolokátora bola vysoká. To značilo, že nad našim územím sa nachádzalo veľa oblačnosti, intenzívne zrážky a taktiež sa mohla vyskytnúť slabá až mierna turbulencia. Mapa nebezpečného počasia pre letectvo ukázala, že sa nad územím Slovenskej republiky môže naozaj vyskytnúť turbulencia a dokonca aj námraza, čoho dôkazom je SYNOP správa, ktorá po rozkódovaní potvrdila, že nad letiskom Žilina/Hričov sa v čase pozorovania vyskytovalo sneženie. Teplota vzduchu dosiahla 0,5 °C a teplota rosného bodu -0,2 °C.

Z bežných informácií o počasí by sme vedeli ako postupuje daný front, ale nevedeli by sme určiť jeho polohu. Radar ponúka informácie o polohe frontu a reálnom čase informácií o posune, a teda nemusíme čakať na žiadnu inú meteorologickú informáciu. Takže správna interpretácia informácií z meteorologického radaru je veľmi dôležitá najmä pre leteckú dopravu.

Referencie

- [1] BALÁŽOVIČOVÁ, L. 2015. Základy meteorológie a klimatológie pre geografov. 1. vyd. Banská Bystrica: BELIANUM, 2015. 150 s. ISBN 978-80-557-0954-3.
- [2] MDPI: Opera the Radar Project [online]. Dostupné na internete: <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/6/320/htm> (citované dňa 2021-05-04)
- [3] NASA: About NASA [online]. Dostupné na internete: <https://www.nasa.gov/about/index.html> (citované dňa 2021-05-02)
- [4] KROLLOVÁ, S. 2015. Letecká meteorologická služba. 1. vyd. Bratislava: DOLIS, 2015. 182 s. ISBN 978-80-8181-015-2.
- [5] Slovenský hydrometeorologický ústav: Slovenská rádiolokačná sieť [online]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1566> (citované 2021-02-22)
- [6] Wikipédia: National_Aeronautics_and_Space_Administration [online]. Dostupné na internete: https://sk.wikipedia.org/wiki/National_Aeronautics_and_Space_Administration (citované dňa 2021-02-22)