

METEOROLOGINIO RADARO TEIKIAMŲ STEBĖJIMO DUOMENŲ PANAUDOJIMAS
TEIKIANT PASLAUGAS ORO NAVIGACIJOS TARNYBOMS

Tomas Zenevičius

VGTU AGAI Aviacijos technologijų katedra

El. p. tomas.zenevicius@gmail.com

Santrauka. Meteorologinis oro navigacijos aprūpinimas yra vienas pagrindinių aviacinės meteorologijos tikslų. Meteorologinis radiolokatorius elektromagnetinėmis bangomis nenutrūkstamai realiame laike gauna ir skaitmeninio signalų apdorojimo programa apdoroja informaciją apie meteorologinius reiškinius, susijusius su: viesulais, škvalais, kruša, perkūnijomis bei smarkiomis liūtimis. Tokia informacija ypač naudinga sudarant prognozes ir perspėjimus apie stichinius meteorologinius reiškinius. Teikiant oro navigacijos paslaugas, informacija gaunama iš meteorologinių radarų, gali padėti užtikrinti saugų ir efektyvų oro eismo valdymą.

Reikšminiai žodžiai: meteorologinis radaras, Doplerio efektas, meteorologinė informacija, krituliai, perkūnija.

1. Įvadas

Šiuo metu aviacija yra viena saugiausių ir pažangiausių transporto rūšių. Kiekvieną dieną tūkstančiai orlaivių kyla ir leidžiasi, perveždami keleivius, gabendami paštą ar krovinius. Oro transportui yra keliami patys griežčiausi saugos reikalavimai. Nors orlaivių sparčiai daugėja, skrydžių saugos lygis turi būti užtikrintas visiems. Tai padaryti padeda naujausios technologijos. Saugą užtikrinanti aparatūra turi padėti skrydžių valdymo centruose dirbantiems skrydžių vadovams ir orlaivių įguloms palaikyti saugią ir efektyvią oro transporto veiklą net ir prastomis meteorologinėmis sąlygomis.

Meteorologija yra labai svarbus aviacijai dalykas. Aviakompanijoms planuojant naujus skrydžius tam tikrose teritorijose, labai svarbu žinoti, koks klimatas ir meteorologiniai reiškiniai būdingi tokiai vietai, kurioje yra planuojami skrydžiai. Meteorologinės informacijos pateikimas yra labai svarbus norint kiek įmanoma efektyviau ir saugiau reguliuoti oro eismą. Šiuo metu meteorologinių tarnybų turimos technologijos padeda pakankamai tiksliai nustatyti ir prognozuoti įvairius meteorologinius reiškinius. Vienas tokių prietaisų yra meteorologinis radaras, kuris yra naudojamas kritulių stebėjimui, jų kiekio bei judėjimo greičio apskaičiavimui.

2. Pavojingų aviacijai meteorologinių reiškinių apžvalga

Perkūnija – tai atmosferos reiškinių kompleksas, kuriam būdingas intensyvus debesų susidarymas ir daugkartinės žaibo elektros iškvosos. Perkūnijų veika atmosferoje yra susijusi su perkūnijos debesų vystymusi. Jie susidaro dėl stipraus vertikalojo judėjimo, kurį sukelia atmosferos energijos nepastovumas, esant dideliame oro drėgnumui (Čepaitytė 2007: 40). Perkūnija gali trukti nuo kelių minučių iki keleto valandų. Perkūnijų veikla yra pavojinga aviacijai, kadangi perkūnijos debesis dažnai lydi tokie aviacijai pavojingi reiškiniai: žaibai, apledėjimas, kruša, škvalas, smarki turbulencija, vėjo poslinkis, mikrogūsiai

bei viesulas. Lietuvoje perkūnija dažniausiai būna birželio–rugpjūčio mėnesiais, tai yra apie 70% visų perkūnijų. Pavasarį jos yra dažnesnės rytinėje šalies dalyje, o rudenį – vakarinėje. Perkūnijos pagal susidarymo sąlygas yra klasifikuojamos į frontines ir vidurines. Vidurinės dar yra skirstomos į konvekcines, advekcines ir orografines. Perkūnijų poveikis skrydžiams yra akivaizdus. Nežiūrint į aukšto lygio šiuolaikinę aviacijos techniką, navigacijos tarnybų lygį ir aerodromų kategorijas (tūpimo sistemas), perkūnija tebelieka pavojingas aviacijai reiškinys (Čepaitytė 2007: 44).

Kamuoliniai lietaus debesys yra priskiriami vertikalaus išsivystymo debesų grupei. Jie turi kupolo formos viršūnę ir ryškius apvalius kontūrus. Kamuoliniai lietaus debesys neša smarkius kritulius (liūtį, pūgą), užėjus šiems debesims, gali kilti audra, škvalas ir iškristi kruša. Debesies susidarymui būtini aukštyneigiai šilto ir drėgno oro srautai, judantys 10–15 m/s arba didesniu greičiu. Tokia vertikalių srautų priežastis gali būti nevienodas žemės paviršiaus išilimas. Cb debesies vystymasis trunka nuo 3 iki 5 valandų. Yra išskiriamos 3 debesies vystymosi stadijos: debesies išsivystymas, maksimalaus debesies išsivystymas, debesies suirimas. Kamuoliniai lietaus debesys horizontaliai gali užimti nuo 3 km iki 50 km skersmens plotą. Jo apatinė riba yra 1,0–1,5 km aukštyje, o viršutinė gali būti 8–14 km vidutinėse platumose, 16–18 ar net 20–21 km – tropikuose. Kamuoliniai lietaus debesys yra pavojingas aviacijai reiškinys. Skrendant arti Cb debesies galimi žaibo smūgiai į orlaivį, o tai gali išhermetizuoti kabiną, apakinti įgulą, sugadinti orlaivio konstrukciją ar prietaisus, sukelti gaisrą. Skrydžiai Cb debesyse yra labai pavojingi, todėl yra draudžiami. Debesies viduje stiprūs turbulentiniai sūkurių ir vertikalūs srautai sukelia stiprią turbulenciją, dėl kurios orlaivio konstrukcija gali būti pažeista. Taip pat gali būti sužeisti keleiviai, sugadintas bagažas. Labai pavojingas reiškinys, kurį orlaivis gali patirti skrisdamas kamuoliniuose lietaus debesyse yra intensyvus apledėjimas.

Kruša – tai sferinės arba netaisyklingos formos kietieji krituliai, ledo gabalai (ledokšniai). Iškrenta kartu su

liūtiniu lietumi iš kamuolinių lietaus debesų. Kruša susidaro, kai yra didelis debesies vandeningumas ir dominuoja intensyvūs aukštyneigiai srautai. Kritulių skersmuo būna įvairus – nuo kelių milimetrų iki kelių centimetrų. Krušos gabalėlis galinguose vertikaliosios oro srautuose kelis kartus patenka į santykinai šaltus ir šiltus debesies sluoksnius, kuriuose prie jo prisijungia peršaldyti vandens lašai arba ledo kristalai. Todėl krušos gabalėlis gali labai išaugti. Minėtą procesą patvirtina ir krušos gabalėlio vidinė sandara: jis sudarytas iš permatomų ir nepermatomų sluoksnių. Jie atitinkamai susidaro ledo gabalėliui patekus į peršaldytą vandens lašelių ir ledo kristalų sluoksnius kamuoliniuose lietaus debesyse. Be to, susidūrimų metu krušos gabalėliai gali prišalti vienas prie kito (Rimkus 2011:124). Lietuvoje kruša dažniausiai iškrenta šiltuoju metų laiku, tarp balandžio ir spalio mėnesių. Kruša yra pavojingas reiškinys, ypač aviacijoje. Kadangi orlaivių greičiai yra dideli, smūgis su krintančiais ledėkais yra labai stiprus. Gali būti stipriai apgadintas orlaivio fiuzeliažas ir varikliai, o tai gali turėti įtakos orlaivio valdymui. Taip pat gali būti suskaldytas orlaivio priekinis stiklas, todėl pilotų matomumas yra gerokai apribojamas.



1 pav. Krušos apgadintas orlaivis
Fig. 1. Aircraft after the hail

Škvalas – meteorologinis reiškinys, pasižymintis staigiu ir nuožmiu vėjo sustiprėjimu, paprastai lydimas labai smarkaus lietaus ir žaibavimo. Vėjo greitis škvalo metu gali siekti, o kartais net ir viršyti 20–30 m/s. Tokių staigų vėjo greičio padidėjimą dažnai lydi ir staigus vėjo krypties pasikeitimas, kuris yra ypač pavojingas orlaiviams, esantiems artėjimo tūpti ir tūpimo fazėje. Škvalas trunka neilgai. Dažniausiai keletą minučių. Daugeliu atvejų priekinėje perkūnijos debesies dalyje maždaug 500 m aukštyje slenka tamsus besisukantis volas, kuris vadinamas škvalo volu. Tai didžiulis sukurs su horizontalia ašimi, paprastai lemiantis škvalo reiškinį (Čepaitytė 2007: 44). Palankiausios sąlygos škvalui susidaryti būna banguojančiuose atmosferos frontuose. Juose kamuoliniai lietaus debesys sudaro nuo 50 km iki 80 km pločio škvalų liniją. Škvalas formuojasi, kai šilta ir drėgna oro masė kyla virš sausumos ar jūros. Kildamas oras atvėsta, kondensuojasi ir susiformuoja debesis. Susidarant škvalui, priekinėje Cb debesies dalyje formuojasi stiprūs aukštyneigiai oro srautai, o centre ir užnugaryje – žemyneigis oro judėjimas. Todėl debesies apatinėje dalyje ir po juo susidaro sukurs su horizontalia ašimi. Prieš prasidedant škvalui yra stebimas staigus atmosferos slėgio kritimas.

Škvalui prasidėjus, slėgis pradeda labai didėti. Škvalai dažniausiai formuojasi popiečio valandomis.

Liūtis yra labai smarkus lietus, pasižymintis dideliu intensyvumu. Dažniausiai liūtis būna nepastovi: staigiai prasideda, staigiai baigiasi bei būdingi pertrūkiai. Ji dažniausiai yra lydimas perkūnijos, krušos, škvalo. Liūtys dažniausiai pastebimos šiltuoju metų laiku – vasarą, vykstant konvekcijai. Susidaro šaltojo fronto nepastovios stratifikacijos oro masėse bei stacionariojo fronto linijoje. Liūtis dažniausiai krinta iš kamuolinių lietaus debesų. Tai yra gana pavojingas meteorologinis reiškinys. Po smarkių liūčių užliejamos miestų gatvės, sutrinka aerodromų darbas.

3. Meteorologinių radarų veikimas

Doplerio efektas yra išspinduliuotos bangos dažnio pokytis, kai stebėtojas ir objektas, nuo kurio atsispindi bangos ar kuris pats spinduliuoja bangas, juda vienas kito atžvilgiu. Meteorologiniai radarai, kurie dar kitaip yra vadinami Dopleriniais orų radarais, minėto efekto pagalba gali suteikti informaciją apie audros ar kito meteorologinio reiškinio judėjimo kryptį.

Radaras siunčia koncentruotą elektromagnetinį spindulį, kuris sudarytas iš tam tikro skaičiaus pulsų, o imtuvas priima energiją, kuri grįžta („atsispindi“) nuo bet kokio spindulio kelyje „sutikto“ objekto. Į radarą grįžta tik labai nedidelė prieš tai išspinduliuotos elektromagnetinės energijos dalis. Atspindys dar vadinamas aidu. Pagrindiniai siunčiamo spindulio parametrai yra šie: pulso pasikartojimo dažnis, siuntimo laikas bei spindulio plotis.

Kai spindulys susiduria su objektu atmosferoje – tarkime lietaus lašeliu – įvyksta keletas dalykų. Lietaus lašas susilpnina spindulio energiją dviem būdais: išsklaido į visas puses ir sugeria (absorbuoja). Vadinasi, į radarą sugrįžta tik labai nedidelė energijos dalis, likusi nuo pradinės išsiųstos spindulio energijos. Šie du procesai (išsklaidymas ir sugėrimas) yra vadinami atenuacija – spindulio energijos susilpnėjimu. Atenuaciją padidina ir smulkūs aerosoliai bei atmosferos dujos, kruša ir sniegas, sniego kruopos ir vabzdžiai. Be to, atenuacija labai padidėja, jei spindulys keliauja ilgus atstumus ar per smarkaus lietaus zoną. Pavyzdžiui, skenuojant smarkios audros debesį, dėl atmosferos dujų grįžtanti į radarą energija gali sumažėti apie 5%, o dėl lietaus ir krušos – net 80%. Būna tokių atvejų, kai iš karto už audros debesies (žvelgiant iš radaro taško) radaro nuotraukoje nesimato jokio atspindžio, tačiau tai nebūtinai reiškia, kad ten nelyja – gali būti, kad atenuacija buvo per didelė, ir radaro spindulio energijos nebeužteko nuskenuoti atmosferos dalį už audros debesies.

Radarų veikimo dažnis priklauso nuo to, kokiems tikslams radaras yra naudojamas. W (dažnis 90 GHz) ir K (dažnis 30 GHz) tipo radarai veikia naudodami aukštą dažnį, trumpas bangas, todėl jų atenuacija yra labai didelė – spindulio energija greitai išsklaidoma ir absorbuojama net esant nedideliui lietaui ar dulksnai. Tokie radarai naudojami aptinkant debesis ir aerosolius. Kiti keturi tipai yra naudingi aptinkant kritulius. Kuo didesnis bangos ilgis, tuo atenuacija mažesnė, tačiau tokiu atveju radaras nemato smulkių dalelių atmosferoje. Kitais žodžiais tariant, L (dažnis 1,5 GHz) tipo radaras matys

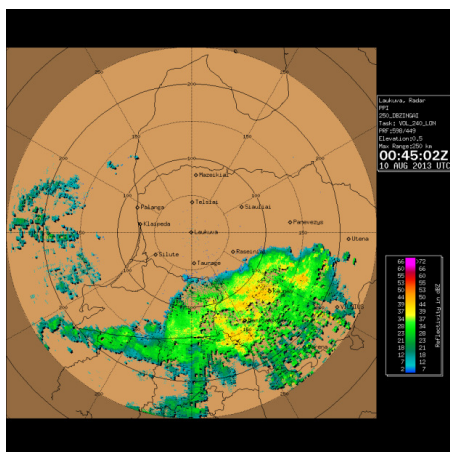
smarkų lietu, krušą, paukščius ir orlaivius, bet nepastebės debesų, sniego ar smulkių lietaus lašelių.

Nagrinėjant radaro nuotraukas reikia atkreipti dėmesį į tai, kad nuotraukoje kritulių pasiskirstymas nėra plokštuminis. Taip yra, nes radaro spindulys turi būti „pakeltas“ nuo žemės paviršiaus (žemiausias skenavimo kampas yra $0,5^\circ$), nes kitaip kliudytų ant žemės esančius objektus – kalvas, pastatus, medžius ir t.t. Nereikia pamiršti, kad žemės paviršius yra išgaubtas, todėl kuo toliau nuo radaro, tuo spindulys yra aukščiau žemės paviršiaus.

4. Pagrindiniai iš meteorologinio radaro gaunami duomenys

Pagrindiniai iš meteorologinio radaro gauti duomenys yra šie: atspindys, radialinis (spindulinis) greitis bei radialinio greičio spektras (spekto plotis).

Atspindys – tai energijos kiekis, grįžęs iš nuskenuotos atmosferos dalies (pulso tūrio). Šis produktas yra dažniausiai naudojamas. Kuo aukštesnė atspindžio reikšmė, tuo didesnis kritulių intensyvumas. Ypač aukštos atspindžio reikšmės rodo didelę tikimybę, kad toje vietoje yra krušos ledėkai. Atspindys – tai pagrindinis radaro produktas, rodantis, kiek energijos nuo bet kokio objekto sugrįžo į radarą (2 pav.). Šiame paveiksle matyti informacija, gaunama iš Lietuvoje esančio, Laukuvos Dopleio meteorologinio radaro (Weather2014).



2 pav. Radaro atspindys

Fig. 2. Radar reflectivity

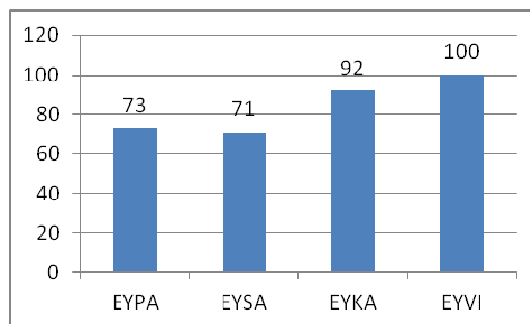
Radialinį greitį matuoja tik Doplerio radarai. Svarbiausia informaciją, kurią galima gauti iš radialinio greičio nuotraukos – tai sukurinis oro judėjimas (mezociklonas, viesulas, uraganas ir kt.). Tačiau radaras nemato viso sukuriu, tik atskirus vėjo komponentus – oro masė juda nuo radaro arba jo link. Raudoni atspalviai rodo judėjimą nuo radaro (įsivaizduokite nuo jūsų tolstančius automobilius), o žali ir mėlyni – judėjimą radaro link.

Radialinio greičio spektras (spekto plotis) – tai produktas, gautas, stebint radialinio greičio pokyčius laike. Iš esmės tai galima pavadinti turbulencija. Labai ryškus spekto plotis yra šalia gūsių frontų, škvalo linijų, viesulų, kylančio oro srovių ir t.t. Šis rodiklis nėra plačiai naudojamas.

5. Kamuolinių lietaus debesų intensyvumas ir pasiskirstymas šiltuoju metų laiku

Kaip jau buvo minėta, kamuoliniai lietaus debesys (Cb) neša smarkius kritulius (liūtį, pūgą), užėjus šiems debesims gali kilti audra, škvallas, iškristi kruša. Atliekant šį tyrimą apie kamuolinių lietaus debesų pasiskirstymą Lietuvos oro uostų rajonuose, 2013 m. balandžio – rugsėjo mėnesiais buvo remtasi visais Lietuvos oro uostų METAR pranešimais.

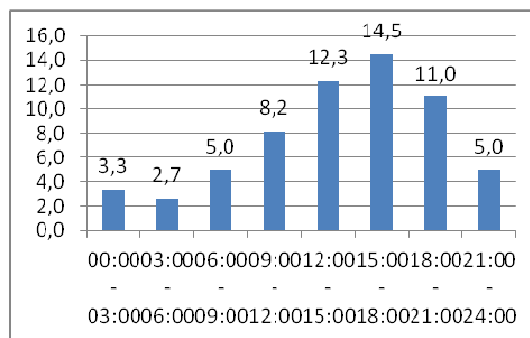
3 paveiksle matyti, kad centrinėje ir pietryčių Lietuvoje kamuolinių lietaus debesų intensyvumas yra didžiausias. Galima teigti, kad daugiausia dienų su kamuoliniais lietaus debesimis – vidutiniškai 17 dienų per mėnesį – buvo tarptautinio Vilniaus oro uosto rajone. Kauno tarptautinio oro uosto rajone vidutiniškai 15 dienų per mėnesį buvo su kamuoliniais lietaus debesimis, Šiaulių ir Palangos oro uostų rajone Cb debesų pasiskirstymas buvo panašus. Vidutiniškai po 12 dienų per mėnesį tiek Palangoje, tiek ir Šiauliuose buvo pastebimi kamuoliniai lietaus debesys.



3 pav. Dienų skaičius per balandžio – rugsėjo mėnesius, su pastebėjais Cb debesimis (2013 m.).

Fig. 3. Days with Cb clouds during the time from April to September (2013).

4 paveiksle matyti, kad didžiausias kamuolinių lietaus debesų intensyvumas tarptautinio Vilniaus oro uosto rajone būna popiečio ir vakaro valandomis, tai yra 12–21 valandomis (pagal UTC laiką). Nakties metu ir ryte Cb debesų intensyvumas yra mažiausias.



4 pav. Vidutinis Cb debesų pasiskirstymas pagal valandas (UTC) tarptautinio Vilniaus oro uosto rajone, per balandžio – rugsėjo mėnesius (2013 m.)

Fig. 4. Average Cb distribution by hours (UTC) in the vicinity of Vilnius international airport during the time from April to September (2013).

7. Išvados

Žinant tai, kad Vilniaus tarptautinis oro uostas yra pats didžiausias ir pats aktyviausias oro uostas Lietuvoje ir kad šalia jo yra du aktyvūs bendrosios aviacijos aerodromai (Kyviškės ir Paluknys), kurie šiltuoju metų laiku yra ypač aktyvūs, yra būtina gauti tikslią ir operatyvią meteorologinę informaciją. Tyrimo rezultatais tarptautinio Vilniaus oro uosto rajone kamuolinių lietaus debesų intensyvumas yra pakankamai didelis. Šis meteorologinis reiškiny yra labiausiai pastebimas popiečio valandomis.

Šiuo metu Lietuvoje veikiantis Laukuvos meteorologinis radiolokatorius yra nutolęs per dideliu atstumu nuo Vilniaus, kad galėtų suteikti tikslią informaciją ir prognozes apie konvekcinius reiškinius.

Literatūra:

Čepaitytė, R. 2007. *Meteorologija pilotams* [interaktyvus]. Vilnius Gedimino technikos universitetas [žiūrėta 2014 m. Vasario 7 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.vgtu.lt/media/files/109/metodika-op.doc>.

Rimkus, E. 2011. *Meteorologijos įvadas* [interaktyvus]. Vilniaus universitetas [žiūrėta 2014 m. Vasario 9 d.]. Prieiga per internetą: http://www.hkk.gf.vu.lt/wordpress/wp-content/uploads/2012/02/Meteorologijos-pagrindai_PDF.pdf.

Weather Radar Basics [interaktyvus], [žiūrėta 2014 m. Sausio 15 d.]. Prieiga per internetą: http://www.cocorahs.org/media/docs/radar_basics.pdf.

INVESTIGATION OF METEOROLOGICAL RADAR DATA FOR PROVIDING SERVICES TO AIR NAVIGATION OFFICES

T. Zenevičius

Summary

Meteorological provision is the main objective of the meteorology offices. Weather radar provides information of meteorological phenomena like squall, hail, thunderstorm and rain by using electromagnetic waves. This information is useful for making forecasts and alerts about dangerous meteorological phenomena. Information received from weather radars could ensure the safe and efficient air traffic controlling.

Keywords: weather radar, Doppler effect, meteorological information, precipitation, thunderstorm.