

# ☒ Sprejem in uporaba lokalnih letalskih meritev pri napovedovanju vremena

<sup>1</sup>Marko Hrastovec, <sup>2</sup>Benedikt Strajnar, <sup>3</sup>Franc Solina

<sup>1</sup>Kontrola zračnega prometa Slovenije, d. o. o.

<sup>2</sup>Agencija Republike Slovenije za okolje

<sup>3</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko

marko.hrastovec@sloveniacontrol.si; benedikt.strajnar@gov.si; franc.solina@fri.uni-lj.si

## Izvleček

Letala med letom neprestano merijo zračni tlak in temperaturo ter izračunavajo veter. Ti podatki so zelo uporabni za spremljanje in napovedovanje vremena. V sedemdesetih letih preteklega stoletja se je začelo organizirano zbiranje teh podatkov s pomočjo radijskih in satelitskih povezav pod okriljem Svetovne meteorološke organizacije, ki pa je žal omejeno na nekaj letalskih družb. S pojavom radarjev nove generacije Mode-S se je odprla možnost zajema meteoroloških podatkov prek radarjev. V Sloveniji smo prvi vzpostavili pot prenosa teh meritev z letal prek radarjev Mode-S do meteorološke službe. Primerjave kažejo, da so meritve v povprečju zelo kakovostne in imajo pozitiven vpliv na kratkoročno vremensko napoved. Opisani način pridobivanja in sprejema meteoroloških meritev prek radarjev Mode-S ter izmenjave podatkov je vzorčen, a za zdaj v svetu večinoma neizkoriščen primer možnosti učinkovitega sodelovanja upravljavcev letalskih radarjev in meteoroloških služb. Našo izkušnjo promoviramo v mednarodnih institucijah, saj menimo, da ima velik potencial za izboljšave napovedi vremena in varnosti letalskega prometa v svetovnem merilu.

**Ključne besede:** letala, radarji Mode-S, meritve ozračja, vremenska napoved.

## Abstract

### Transmission and Usage of Local Airborne Measurements for Weather Forecasting

Aircraft measure and monitor air pressure, temperature and calculate winds all the time. These data are very useful for weather forecasting. In 1970s the World Meteorological Organization initiated their collection via radio and satellite links, but unfortunately the activity was limited to a few airline companies. Today Mode-S radars provide better possibilities of gathering meteorological data. Slovenia was the first country to establish the path from aircraft via radar to air traffic control and further to the meteorological agency. Analysis shows that measurements are of very good quality and have a positive impact on short term forecasts. This example of acquiring and transmitting meteorological data via Mode-S radars shows an efficient cooperation between air navigation and meteorological services. Unfortunately it is not used elsewhere, which is the reason we seek to promote this solution internationally to exploit its potential for weather forecast improvements and air traffic safety on a global scale.

**Key words:** aircraft, Mode-S radars, atmosphere measurements, weather forecast.

## 1 UVOD

Ljudje običajno želimo čim večjo predvidljivost v svojem širšem okolju. Zato si tudi želimo čim bolj zanesljive vremenske napovedi, da bi lahko lažje načrtovali svoje dejavnosti. Računsko zasnovani modeli za napovedovanje vremena se sicer stalno izpopolnjujejo, toda za boljše napovedi potrebujejo več natančnih podatkov o trenutnem stanju v celotnem preseku atmosfere, ne le na zemeljski površini. Zato so bile v preteklosti še posebej dragocene vremenske postaje na izpostavljenih gorskih vrhovih, kot je na primer vremenska postaja na Kredarici. Toda to ni dovolj. Podatke o temperaturi, vetru, zračnem pritisku itd. potrebujemo še višje v ozračju in

čim bolj enakomerno razporejene po celotnem področju, za katerega napovedujemo vreme.

S pomočjo satelitov je mogoče na daljavo pridobiti vedno več informacij iz ozračja, vendar so te informacije manj natančne in manj zanesljive, kot če lahko spravimo tipala na samo mesto meritve. Tradicionalni način pridobivanja takih meritev je s pomočjo vremenskih balonov, ki tipala dvignejo skozi ves presek ozračja in s pomočjo radijske zveze sporočajo meritve. Druga možnost so letala, ki so opremljena z osnovnimi vremenskimi tipali že zaradi lažjega

opravljanja svoje glavne naloge. Da bi vremenoslovci lahko prišli do teh vremenskih meritev na letalih, je Svetovna meteorološka organizacija vzpostavila program AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay), ki omogoča, da lahko letala, ki so vključena v program, s pomočjo posebne opreme sporočajo meritve prek radijskih ali satelitskih zvez. V ta program je zaradi cene vključen zelo majhen delež letal. V program AMDAR je vključenih 39 letalskih družb; od tega jih je tretjina evropskih.

Nova tehnična možnost se je pokazala z novo generacijo radarjev Mode-S, ki omogočajo izmenjavo velikega števila podatkov med letali in kontrolnimi centri. Veliko število letal kontrolnemu centru med ostalimi podatki sporoča tudi vremenske meritve. Te vremenske informacije so se še pred nedavnim preprosto izgubile oziroma se niso uporabljale za napovedovanje vremena. V Sloveniji smo bili prvi, ki smo vzpostavili sistem, ki iz centra za kontrolo letalskega prometa tekoče pošilja vremenske podatke v center za napovedovanje vremena. Zato smo primerjali meritve, pridobljene iz programa AMDAR, z meritvami, pridobljenimi s pomočjo radarjev Mode-S (Strajnar, 2012b), in raziskovali, kako najbolje pripraviti vremenske podatke, pridobljene s pomočjo radarjev Mode-S, za nadaljnjo uporabo v kontroli zračnega prometa in za napovedovanje vremena (Hrastovec & Solina, 2013).

V članku poročamo najprej o zajemu meteoroloških podatkov z radarji Mode-S in nato o njihovi uporabi za napovedovanje vremena. Prvi rezultati rutinske uporabe teh podatkov kažejo, da meritve Mode-S izboljšajo kratkoročno napoved vremena. Članek sklenemo z razpravo o širših vidikih tega projekta.

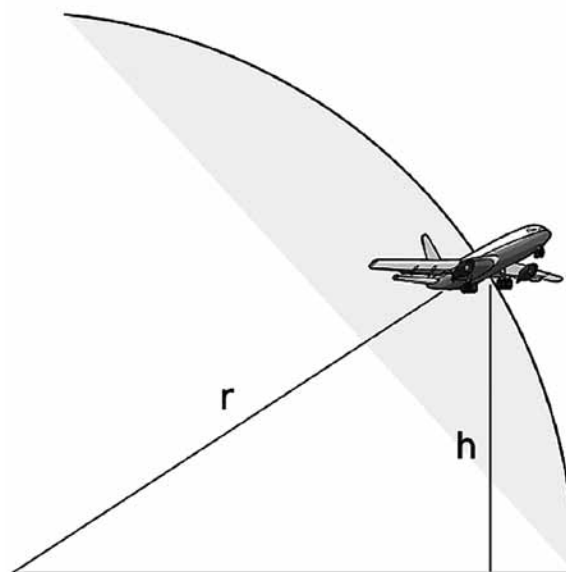
## 2 ZAJEM METEOROLOŠKIH PODATKOV Z RADARJI MODE-S

### 2.1 O radarjih

V grobem ločimo dve vrsti radarjev za letalske namene. Prva vrsta so primarni radarji, kot si jih predstavlja večina ljudi. Ti beležijo odboje radijskih signalov s površine letala. Žal s temi radarji ne moremo določiti natančnega položaja letala v zraku. Za natančno določitev potrebujemo še podatek o višini. Za ta namen uporabljamo tako imenovane sekundarne radarje. Sekundarni radar odda radijski signal, na katerega odgovori naprava v letalu, ki jo imenujemo transponder. Najpomembnejša podatka, ki ju

vračajo radarjem vsa letala v civilnem zračnem prometu, sta odgovora Mode-A in Mode-C. Mode-A je štirištevilčna osmiška koda, ki jo je nastavil pilot po navodilih kontrolorja zračnega prometa. Mode-C odgovor je podatek o višini letala.

Podatek Mode-A enolično določa letalo v zračnem prostoru in brez njega ne bi mogli razlikovati letal. Brez podatka Mode-C ne bi mogli točno določiti položaja letala. Radar lahko ugotovi smer, v katero je obrnjeno letalo, ko ga je zaznal, in njegovo oddaljenost. Brez vrednosti Mode-C ne more vedeti, na kateri višini se nahaja letalo. Na sliki 1 vidimo krožnico s polmerom  $r$ , na kateri bi se lahko nahajalo letalo, če ne bi imeli podatka o njegovi višini  $h$ . Ker podatek o višini prejmemo s sporočilom Mode-C, je položaj letala enolično določen.



Slika 1: Položaja letala ne moremo enolično določiti brez višine ( $h$ ).

Radarji Mode-S (Mode Select) so najnovejša generacija sekundarnih radarjev, ki lahko s 24-bitnim naslovom letala zahtevajo odgovor od posameznega letala in ne od vseh, ki »slišijo« zahtevo. Skupaj z ustrežno opremo na letalu (transponder Mode-S) so sposobni od letala pridobiti veliko več podatkov kot le višino in identifikacijo.

Radar Mode-S lahko od letala pridobi vsebino 56-bitnih registrov, ki vsebujejo različne informacije. Celotni seznam zajema več kot petdeset registrov in je naveden v dokumentu ICAO Aeronautical Communications Annex 10 Volume III (ICAO, 1995). Dva

od registrov podatkovne shrambe (BDS – binary data store) sta namenjena vremenskim podatkom, ki jih senzori na letalu zaznavajo in merijo. Radar Mode-S na letališču Jožeta Pučnika iz množice možnih registrov trenutno zajema:

- BDS 4,0 – izbrani vertikalni namen (selected vertical intention),
- BDS 4,4 – meteorološko rutinsko zračno poročilo (meteorological routine air report),
- BDS 4,5 – meteorološko poročilo o nevarnostih (meteorological hazard report),
- BDS 5,0 – poročilo o poti in zavoju (track and turn report),
- BDS 6,0 – poročilo o smeri in hitrosti (heading and speed report).

Register, ki vsebuje najpomembnejše podatke o atmosferi, je BDS 4,4 – meteorološko rutinsko zračno poročilo. Ta register vsebuje:

- hitrost vetra (wind speed),
- smer vetra (wind direction),
- temperaturo zraka (static air temperature),
- turbulenco (turbulence),
- relativno vlažnost (humidity).

Trenutno približno šest odstotkov letal vrača podatke o vetru in temperaturi. Kljub razmeroma majhnemu odstotku je količina teh podatkov velika v primerjavi z drugimi meritvami. Žal letala ne poročajo o turbulenci in relativni vlažnosti.

## 2.2 Letalske meritve

Letala so opremljena s tipali, ki posadki omogočajo varno letenje. Prvo od tipal, pomembnih za nas, je tipalo za merjenje pritiska, iz katerega letala iz-

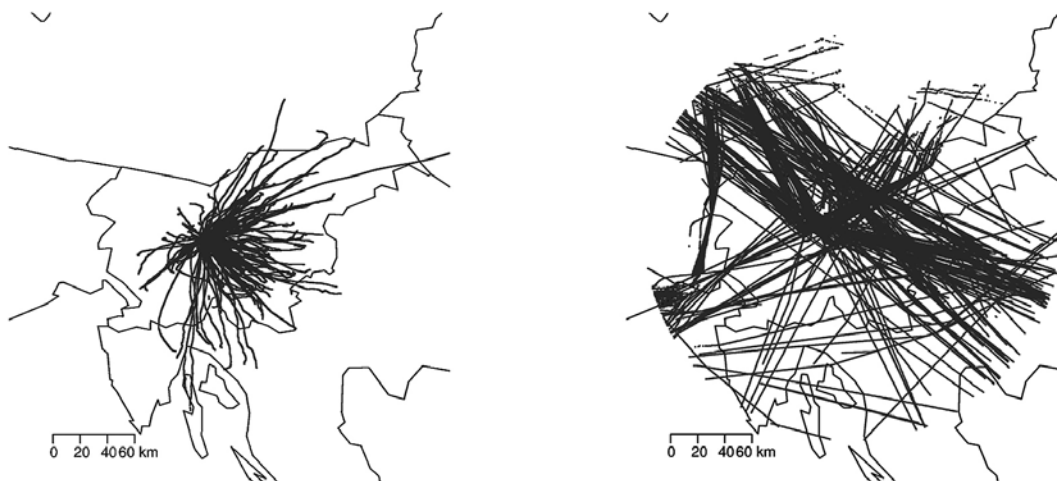
računajo svojo višino. Natančno izmerjena višina je bistvenega pomena za varno letenje, saj zagotavlja, da letala letijo na različnih višinah, kjer se ne morejo srečati. S pomočjo višine letala lahko izračunamo njegov položaj. To nam daje natančno informacijo o mestu zajetja meritev.

Kombinacija tipal za merjenje zračne hitrosti (airspeed), talne hitrosti (groundspeed) in kompasa omogoča letalu, da izračuna podatke o vetru. Zračno hitrost letalo izmeri s Pitojevo cevjo. S pomočjo inercialnih tipal za merjenje pospeškov ali globalnega pozicijskega sistema (GPS) meri talno hitrost. S pomočjo kompasa ter primerjave zračne in talne hitrosti letalo lahko izračuna smer in hitrost vetra tako, da vektorsko odšteje zračno hitrost od talne hitrosti. Vsa letala so opremljena tudi s tipali za zunanjo temperaturo. Z njihovo pomočjo popravljajo meritve zračne hitrosti in dajejo posadki pomembne informacije.

Obstaja še mnogo drugih meritev, a naj omenimo samo še nagib letala. Če je letalo med manevrom (npr. zavojem) preveč nagnjeno, meritvam vetra ne moremo zaupati. Takrat jih zavržemo in obdržimo le temperaturo.

## 2.3 Zajem, hranjenje in posredovanje podatkov

Prvi radar Mode-S je v uporabi v Sloveniji od leta 2008. Obračalni čas tega radarja na Letališču Jožeta Pučnika je štiri sekunde. To pomeni, da vsake štiri sekunde dobimo nov položaj letala in vse meritve, ki jih javlja transponder. Poudariti želimo, da smo z minimalnimi vložki strežnika realizirali zajem, hranjenje, posredovanje in uporabo teh meritev. Na Kontrolni zračnega prometa Slovenije te podatke redno



Slika 2: Primerjava geografske razpršenosti sondažnih in letalskih meritev

posredujemo Agenciji Republike Slovenije za okolje in smo prvi v svetu vzpostavili tako pot zajema in uporabe letalskih meritev v meteorološke namene.

V bližnji prihodnosti pričakujemo nadgradnje še nekaterih radarjev na sistem Mode-S, prek katerih bomo prav tako lahko dobivali vremenske meritve. Tudi te bomo obdelovali enako – tako rekoč brez dodatnih stroškov.

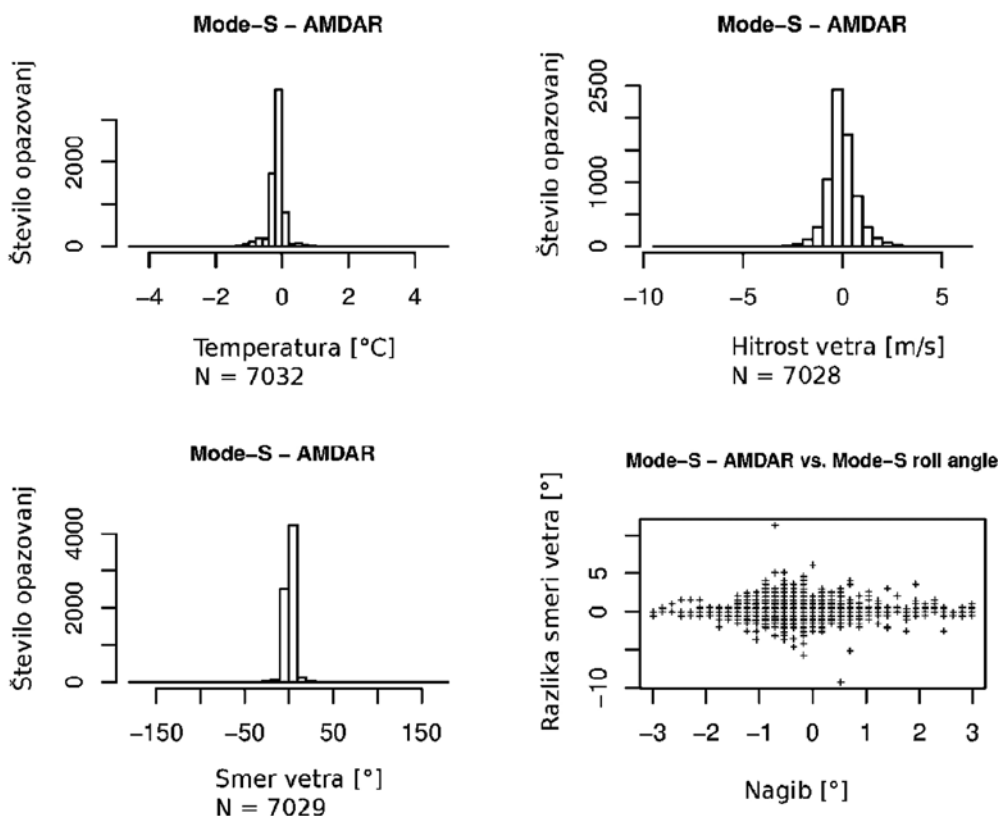
### 3 UPORABNOST PODATKOV MODE-S V METEOROLOGIJI

#### 3.1 Meteorološke meritve v ozračju

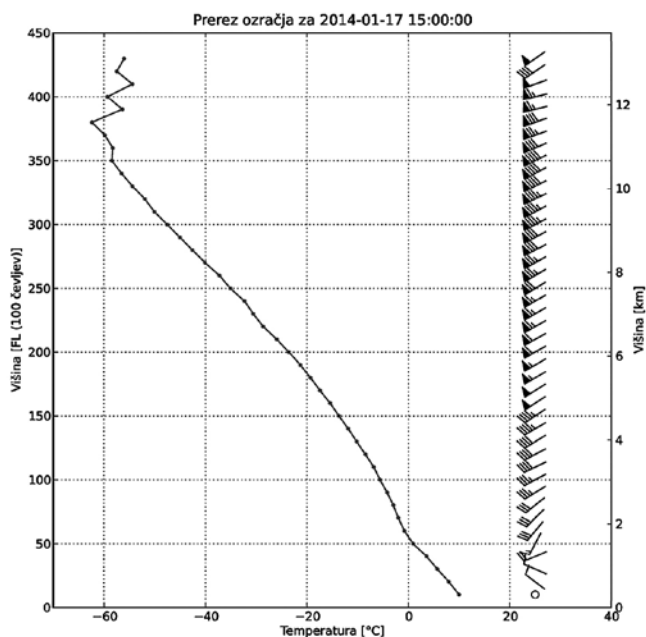
Za merjenje meteoroloških količin v ozračju se tradicionalno uporabljajo vertikalne sondaže. To so meritve vetra, temperature in vlažnosti s pomočjo sonde na posebnih dvigajočih se balonih, napolnjenih s helijem. Te meritve so natančne, vendar so zaradi cene tudi razmeroma redke (v Ljubljani jih npr. izvajamo le enkrat dnevno). Letalske meritve so manj natančne, vendar so bolj časovno in geografsko razpršene. Sonda javlja meritve v času dviganja, ki traja približno

uro in pol. Letala vračajo meritve ves čas in ne le uro ali dve na dan. Slika 2 prikazuje geografsko primerjavo sondažnih in letalskih meritev. Sondažne meritve se začnejo vedno tam, kjer sondo spuščamo v zrak. Potem je odvisno od vetra, kam jo bo zanesel. Letalske meritve so bolj enakomerno razporejene v območju dosega radarja. Tudi ta razpršenost ni idealna, saj lahko dobro vidimo glavne zračne poti.

Naslednja skupina so letalske meritve. Poleg že opisanega sistema prenosa podatkov prek sistema Mode-S v meteorologiji že dolgo uporabljamo sistem AMDAR (Aircraft Meteorological Data Relay) (WMO, 2003). Prek posebne opreme na določenih letalih (njihov delež je majhen) zbiramo meteorološke podatke in jih prek radijskih ali satelitskih povezav pošiljamo v zbirne centre ter naprej v mednarodno meteorološko izmenjavo. Pri nas je nekaj teh podatkov običajno na voljo v višjih slojih ozračja, kjer potekajo preleti prek Slovenije. V spodnjih slojih ozračja ni teh meritev, saj na ljubljanskem letališču redno ne pristaja nobeno letalo z vgrajenim sistemom AMDAR.



Slika 3: Primerjava podatkov Mode-S in AMDAR: prikazane so razporeditve razlik za temperaturo, smer in hitrost vetra, poleg tega pa še odvisnost razlik v smeri vetra od nagiba letala, ki bi bil lahko vir napake v podatkih



Slika 4: **Primer vertikalnega profila ozračja 17. 1. 2014 ob 15:00 po UTC, zajetega z letal**

Zadnja in zelo pomembna skupina so satelitske meritve. Veliko meritev z različnih satelitov je na voljo ves čas. V primerjavi s prej omenjenima skupinama opazovanj so te meritve nekoliko manj natančne, saj vsebujejo akumulirano informacijo o stanju ozračja. Njihovo uporabo otežujeta tudi pokritost neba z oblaki in padavine.

### 3.2 Kakovost meritev Mode-S

Da bi preverili kakovost novih meritev prek sistema Mode-S, sta bili najprej opravljeni primerjavi z meritvami AMDAR (v zgornjih slojih ozračja) in z radiosondažnimi meritvami. Pomembna je zlasti primerjava s podatki AMDAR, saj meritve izvirajo iz istih instrumentov kot Mode-S, vendar jih zbiramo in obdelujemo drugače, imajo pa tudi zagotovljeno kontrolo kakovosti. Primerjava meritev iz sistema Mode-S z opisanimi meritvami je bila izvedena za obdobje devetih mesecev (Strajnar, 2012b). Pri iskanju parov opazovanj je med opazovanji AMDAR in Mode-S, ki so bila pred tem rahlo časovno zglajena, dovoljena horizontalna razdalja 5 km in vertikalna separacija 100 m. Ugotovljeni standardni odklon razlik je bil 0,35 °C pri temperaturi, 0,8 m/s pri hitrosti vetra in manj kot 10° za smer vetra. Rzsip odstopanj prikazuje slika 3. Rezultati kažejo, da so meritve Mode-S v povprečju kakovostne in da ne vsebujejo pomembnih sis-

tematskih napak glede na AMDAR. Pri primerjavi s sondažnimi meritvami je bila dovoljena horizontalna razdalja med paroma opazovanj povečana na 25 km, s čimer se da pridobiti dovolj parov istoležnih opazovanj. Tu so bile razlike večje. Standardni odklon je bil 1,7 °C pri temperaturi, 3 m/s pri hitrosti vetra in 25° pri smeri vetra, vendar še vedno v skladu z rezultati podobnih študij (Schwartz & Benjamin, 1995). Spet so bile sistematske razlike zanemarljive. K večjim standardnim odklonom napak tu seveda znatno prispeva tudi vremenska variabilnost znotraj dovoljene razdalje. Obe primerjavi dokazujeta uporabnost podatkov Mode-S v meteorološke namene.

### 3.3 Uporaba za spremljanje vremena

Podatke Mode-S je pri rutinskem spremljanju in napovedovanju vremena mogoče uporabiti kot alternativno vertikalno sondažo. V eni oz. nekaj urah je podatkov običajno dovolj, da lahko izdelamo vertikalni profil meteoroloških količin v okolici ljubljanskega letališča. Slika 4 prikazuje primer povprečnega profila temperature in vetra v treh urah. Profile je mogoče še izboljšati z uporabo poenostavljenega Kalmanovega filtra (Hrastovec & Solina, 2013), pri čemer nove meritve kombiniramo s predhodno izdelanim profilom.

Profili ozračja so pri praktičnem napovedovanju vremena najbolj pomembni za določanje višine inverznih plasti in s tem oblačnih slojev ter v poletnem času za določanje stabilnosti ozračja, ki igra ključno vlogo pri nastanku neviht.

### 3.4 Uporaba v numeričnem meteorološkem modelu ALADIN

V Sloveniji kratko- in srednjeročno napoved (za do tri dni vnaprej) pripravljamo z meteorološkim modelom ALADIN. Najnovejša verzija tega modela vsake tri ure analizira stanje vremena na modelskem območju, ki zajema večji del osrednje Evrope. Pri tem s postopkom asimilacije v model vključuje vsa dostopna opazovanja (poleg že naštetih atmosferskih še talne meritve), s čimer tridimenzionalno stanje meteoroloških spremenljivk konsistentno prilagaja novim opazovanjem (Strajnar, 2012a). Takšna analiza nato služi kot začetni pogoj za izvedbo časovne integracije meteoroloških enačb – napovedi. Podatki Mode-S vstopajo v model podobno kot drugi letalski podatki.

**Predpriprava meritev.** V prejšnjih razdelkih smo navedli, da so meritve Mode-S v povprečju zelo kakovostne. Kljub temu pa nad pojavljanjem različnih

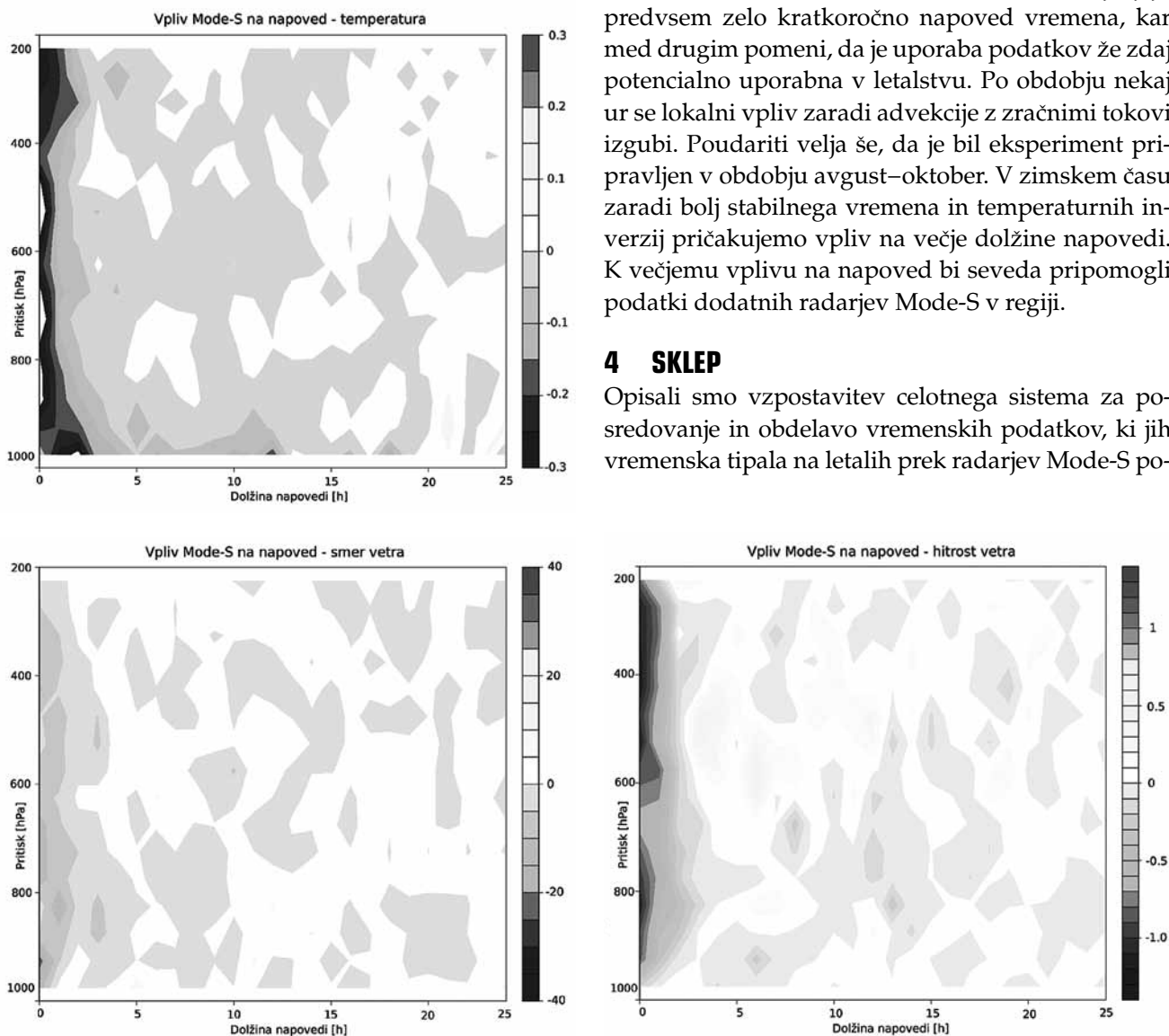
letal v zračnem prostoru okoli Slovenije in nad stanjem njihovih senzorjev nimamo kontrole. Lahko bi se zgodilo, da bi letalo z neoptimalno kalibriranimi ali nedelujočimi senzorji z napačnimi meritvami vneslo napake v začetne pogoje za simulacijo vremena. Zato smo množico podatkov Mode-S v obdobju dveh let primerjali z analizami modela ALADIN nad Slovenijo ter tako na podlagi povprečnih odstopanj določili seznam letal, ki jih lahko upoštevamo pri analizi vremena. Podatke tudi časovno gladimo v obdobju 12 sekund (štiri meritve) med vzletom in pristankom ter ene minute med letom na konstantni višini.

**Vpliv na napoved.** Vpliv opazovanj Mode-S na napoved vremena je bil ocenjen na podlagi trimesečnega asimilacijskega cikla zaporednih analiz triurnih napovedi. Daljše napovedi, namenjene verifikaciji, so bile izdelane vsakih šest ur. Te napovedi smo primerjali z napovedmi enakega referenčnega eksperimenta brez sistema Mode-S. Na podlagi verifikacije s kasnejšimi meritvami Mode-S smo ugotovili, da je vpliv opazovanj na območje z radijem 270 km okoli letališča pozitiven (slika 5). Napovedi temperature in vetra so bile izboljšane do časovne dolžine tri ure, pri čemer je pozitiven vpliv na temperaturo v najnižjih delih ozračja do 12 ur.

Lahko sklenemo, da meritve Mode-S izboljšujejo predvsem zelo kratkoročno napoved vremena, kar med drugim pomeni, da je uporaba podatkov že zdaj potencialno uporabna v letalstvu. Po obdobju nekaj ur se lokalni vpliv zaradi advekcije z zračnimi tokovi izgubi. Poudariti velja še, da je bil eksperiment pripravljen v obdobju avgust–oktober. V zimskem času zaradi bolj stabilnega vremena in temperaturnih inverzij pričakujemo vpliv na večje dolžine napovedi. K večjemu vplivu na napoved bi seveda pripomogli podatki dodatnih radarjev Mode-S v regiji.

#### 4 SKLEP

Opisali smo vzpostavitev celotnega sistema za posredovanje in obdelavo vremenskih podatkov, ki jih vremenska tipala na letalih prek radarjev Mode-S po-



Slika 5: Vpliv uporabe opazovanj Mode-S na napako kratkoročnih napovedi za različne meteorološke spremenljivke (koren srednjega kvadratnega odklona, angl. RMSE). Negativne vrednosti pomenijo zmanjšanje, pozitivne pa povečanje napake. Vertikalna koordinata je zračni pritisk.

sredujejo v Kontrolo zračnega prometa Slovenije, ta pa naprej v Agencijo Republike Slovenije za okolje, kjer so nato vključeni v numerični meteorološki model ALADIN za napovedovanje vremena. Da bi upravičili to povezavo, smo morali najprej pokazati, da so tako pridobljene vremenske meritve zanesljive in primerljive z drugimi viri vremenskih podatkov (Strajnar, 2012b; Hrastovec & Solina, 2013). Tako kot smo pričakovali, je večje število bolj prostorsko razpršenih vremenskih meritev izboljšalo vremenske napovedi.

Sistem po tehnološki plati ni zelo zahteven. Potrebna so bila minimalna vlaganja za samo tehnološko ravno posredovanja podatkov. Računalniški sistem, na katerem teče model ALADIN, je bilo treba prilagoditi dodatnim vhodnim podatkom. Več ovir pri uporabi teh vremenskih podatkov je lahko pri vzpostavljanju potrebnega medinstitucionalnega sodelovanja, pri čemer je bila relativna majhnost slovenskega prostora tokrat za nas prednost. Agencija Republike Slovenije za okolje je neposredne podatke Mode-S registra BDS 4,4 kot prva izmed meteoroloških institucij začela tudi rutinsko uporabljati za napoved vremena. Po zadnjih informacijah so z zbiranjem tovrstnih neposrednih opazovanj Mode-S testno začeli tudi na letališčih v Pragi in v Kopenhagenu (de Haan, 2014). Prepričani smo, da se bo tudi po slovenskem zgledu uporaba vremenskih podatkov, ki izvirajo iz radarjev

Mode-S, še naprej širila v mednarodnem prostoru.

V letošnjem letu pričakujemo nadgradnjo še enega radarja na sistem Mode-S v Sloveniji. Obstaja tudi možnost, da bomo dobivali letalske meritve z avstrijskega radarja Koralpe, ki naj bi bil posodobljen v začetku leta 2015. To bi vsaj potrojilo količino meritev in omogočilo primerjavo ter dodatno kontrolo kakovosti.

## 5 LITERATURA IN VIRI

- [1] de Haan, S. (januar 2014). *Availability and quality of Mode-S MRAR (BDS4.4) in the MUAC area: a first study*. Pridobljeno iz Mode-S EHS: <http://mode-s.knmi.nl/documents/IR-2014-01.pdf>.
- [2] Hrastovec, M., & Solina, F. (2013). Obtaining Meteorological Data from Aircraft with Mode-S Radars. *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, 12–24, Volume 28, Issue 12*.
- [3] ICAO. (julij 1995). *Aeronautical Telecommunications Annex 10, III, 1*. International Civil Aviation Organization.
- [4] Schwartz, B., & Benjamin, S. G. (1995). A Comparison of Temperature and Wind Measurements from ACARS-equipped Aircraft and Rawinsondes. *Weather and Forecasting, 528–544, Volume 10*.
- [5] Strajnar, B. (2012a). Analiza vremena z lokalno asimilacijo opazovanj. *Vetrnica, glasilo Slovenskega meteorološkega društva*, 80–89.
- [6] Strajnar, B. (2012b). Validation of Mode-S Meteorological Routine Air Report Aircraft Observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Volume 117, Issue D23*.
- [7] WMO. (2003). *Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR) Reference Manual*. Pridobljeno iz World Meteorological Organization: [https://www.wmo.int/pages/prog/www/GOS/ABO/AMDAR/publications/AMDAR\\_Reference\\_Manual\\_2003.pdf](https://www.wmo.int/pages/prog/www/GOS/ABO/AMDAR/publications/AMDAR_Reference_Manual_2003.pdf).

Marko Hrastovec je doktorski študent na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, kjer je tudi diplomiral in magistriral. Zaposlen je v Kontroli zračnega prometa Slovenije, kjer se ukvarja z načrtovanjem, razvojem in vzdrževanjem programske opreme za potrebe vodenja zračnega prometa. Sodeluje v mednarodnih projektnih skupinah (Functional Airspace Blocks Central Europe), ki načrtujejo zahteve in funkcionalnosti za prihodnost srednjeevropskega zračnega prostora. Njegovo raziskovalno področje je strojno učenje, povezano z zajemom radarskih in drugih letalskih podatkov ter napovedovanjem letalskih zmogljivosti.

Benedikt Strajnar je diplomiral iz meteorologije na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani. Zaposlen je na Agenciji Republike Slovenije za okolje. Ukvarja se z modeliranjem vremena ter z asimilacijo meteoroloških meritev, pa tudi z operativnim napovedovanjem vremena. Sodeluje v mednarodnem razvoju meteorološkega modela ALADIN.

Franc Solina je redni profesor računalništva in informatike na Univerzi v Ljubljani. Diplomiral (1979) in magistriral (1982) je iz elektrotehnike na Univerzi v Ljubljani, doktoriral pa iz računalništva in informatike na University of Pennsylvania v ZDA leta 1987. Od leta 1988 poučuje na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Leta 1991 je ustanovil Laboratorij za računalniški vid, ki ga še vedno vodi. V letih 2006 do 2010 je bil dekan fakultete.