



# Vetrnica

ISSN 1855-7457

*glasilo Slovenskega  
meteorološkega društva*

[WWW.METEO-DRUSTVO.SI](http://WWW.METEO-DRUSTVO.SI)

0916



# Veter

---

**NAGRAJENKA IN  
NAGRAJENEC SMD**

---

**Obogaten študentski kotiček**

## VSEBINA:

### 3 UVODNIK

#### POD DROBNOGLEDOM

- 4 VPLIV HIDRAVLICNEGA SKOKA NA DELOVANJE PARKA VETRNH TURBIN
- 9 ZELENi PROTIVETRNi PASOVI V VIPAVSKI DOLINI
- 15 ANALIZA MERITEV VETRA V VIPAVSKI DOLINI
- 20 POMEN VETRA V JADRALNEM LETENJU

#### ZANIMIVOSTI

- 28 15. LETNO SREČANJE EVROPSKE METEOROLOŠKE ZVEZE IN 12. EVROPSKA KONFERENCA O APLIKACIJAH V METEOROLOGIJI
- 32 16. LETNO SREČANJE EVROPSKE METEOROLOŠKE ZVEZE IN 11. EVROPSKA KONFERENCA O APLIKATIVNI KLIMATOLOGIJI
- 37 DR. OSKAR REYA PRIZNANI SLOVENSKI METEOROLOG IN ZNANSTVENIK

#### IZ ŽIVLJENJA DRUŠTVA

- 41 NAGRAJENEC SMD ZA LETO 2015
- 42 NAGRAJENKA SMD ZA LETO 2016

#### ŠTUDENSKI KOTIČEK

- 43 ŠTUDENSKA PRAKSA
- 48 POVZETKI DIPLOMSKIH NALOG
- 58 POVZETKI MAGISTRSKIH DEL
- 69 POVZETEK DOKTORSKE TEZE
- 71 METEOROLOŠKI SEMINAR

#### RAZPRAVE

- 79 PODNEBNI TIPI SLOVENIJE NA PODLAGI PODNEBNIH POVPREČIJ, TRENDOV IN SPREMENLJIVOSTI



**Izdaja:**  
© Slovensko meteorološko društvo  
Vojkova 1b,  
SI - 1000, Ljubljana  
<http://www.meteo-drustvo.si>

**Glavna urednica:** Mojca DOLINAR

**Uredniški odbor:** Jože RAKOVEC, Jožef ROŠKAR, Iztok SINJUR,  
Gregor VERTAČNIK

**Tehnično urejanje:** Mojca DOLINAR, Jožef ROŠKAR

**Oblikovna zasnova:** Sabina KOŠAK, Solos, d.o.o.

**Tisk:**

Ljubljana, JULIJ 2017

ISSN 1855-7457

**Fotografija na naslovnici in zadnji strani:** Jadrnica,

Vir: Shutterstock

**Tiskana naklada:** 250 izvodov

**Naslov uredništva:**  
Slovensko meteorološko društvo  
Vojkova 1b  
SI-1000, Ljubljana  
[vetrnica.smd@gmail.com](mailto:vetrnica.smd@gmail.com)



Slovensko  
meteorološko  
društvo  
Od 1954

 UVODNIK

Tokratna številka Vetrnice, ki je pred vami, nosi letnico 2016, čeprav smo že globoko v letu 2017. Večina prispevkov je namreč nastala v lanskem letu. Imeli pa smo nekaj težav z zbiranjem prispevkov na vodilno temo – veter. Čeprav prispevki na vodilno temo niso tako številni kot v preteklih številkah glasila, pa zbrani vsaj delno pokrivajo temo s sicer zelo širokim spektrom.

Po definiciji je veter premikanje zraka relativno na površje Zemlje. Veter je tista meteorološka spremenljivka, ki ima pomembnejšo vlogo pri oblikovanju lokalnega vremena in podnebja. Meteorologi vemo, da je dobro poznavanje vetra osnova za dobro napoved vremena. Veter nam prinaša spremembe, lahko pa deluje tudi razdiralno. Močan veter predstavlja eno hujših vremensko pogojenih naravnih nesreč. V Sloveniji smo sicer »varno skriti« v zavetrju Alp, vendar tudi Slovenci poznamo močan veter. Primorci burjo, Gorenjci karavanški fen, nikjer pa nismo imuni na viharni veter ob (predvsem poletnih) neurjih. Ravno ob neurjih se zavemo, kako veliko energije nosi veter. Ni pa nujno, da je energija samo rušilna. Lahko jo izkoristimo v naš prid. Vetrna energija predstavlja velik potencialni vir obnovljive energije. V bolj prevetrenih evropskih deželah jo že s pridom izkoriščajo. Prav prvi članek v okviru rubrike Pod drobnogledom, ki pokriva vodilno temo tokratne številke – veter- predstavlja kako lahko različne značilnosti vetrnega polja vplivajo na pridobivanje vetrne energije. Kar dva članka se ukvarjata z najbolj značilnim vetrom v Sloveniji – Burjo. Veter pa ne povzroča le škode, ali nam je v korist, ampak nam je lahko tudi v zabavo. Številni športniki ga izkoriščajo za adrenalinske užitke na kopnem, na vodi ali v zraku. Tak primer je jadralno letalstvo, ki je zanimivo opisano v prispevku na koncu rubrike.

Kljub malo manjši beri prispevkov na vodilno temo je pričujoča številka vseeno zelo bogata. Tokrat so se izkazali študenti. Poročila manjših projektnih nalog,

ki jih študenti naredijo v okviru študijske prakse, smo uvedli že v predhodni številki in z njimi nadaljujemo. Novost pa je meteorološki seminar, kjer skupina študentov pod vodstvom mentorja poglobljeno obdela izbrano temo in jo predstavi v obliki znanstvenega članka. To novo aktivnost na meteorološki katedri toplo pozdravljamo, saj je bila ob ustanovitvi glasila naša želja, da študentski kotiček študenti uporabijo za svoj učni proces in zraven ponudijo zanimivo in poučno branje tudi »zrelim meteorologom«. Vsi si želimo, da se bomo z bogatim študentskim kotičkom lahko pohvalili tudi v naslednjih številkah. Ob aktivnih študentih se nam ni bati za prihodnost slovenske meteorologije.

Opazili boste, da se struktura glasila počasi spreminja. Prvotna zasnova, kot smo si jo zamislili ob »rojstvu« glasila, počasi zori in se oblikuje v smeri, ki jo iščemo skupaj: uredništvo, avtorji prispevkov in bralci. Ambiciozna želja po 4 izvodih na leto se je zelo hitro spremenila v en sam izvod na leto. Temu se prilagaja tudi struktura člankov. Ti morda niso »vroče novice«, ampak zreli strokovni in znanstveni prispevki, ki so aktualni dlje časa. Zato so počasi zamirale rubrike kot sta napovednik in novosti v medijih, saj te vsebine običajno ob izidu niso več zanimive za naše bralce. Tudi prispevki v rubriki Iz življenja društva v novi številki prinašajo bolj trajne vsebine, poročila, ki so vezana na čas, smo tokrat opustili. Kar pa ne pomeni, da smo te rubrike povsem ukinili. V primeru aktualnih in zanimivih prispevkov, se bodo lahko vrnille v kateri od naslednjih številok.

Glede na to, da ima glasilo že lepo tradicijo in imamo reden pritok kakovostnih strokovnih in znanstvenih prispevkov, smo poskrbeli, da so in se bodo tudi v prihodnosti, prispevki redno vpisovali v COBISS bazo. Prispevki v rubriki Pod drobnogledom kot strokovni, prispevki iz rubrike Razprave pa kot znanstveni prispevki. Nekoliko se je prenovil tudi uredniški odbor, Letni občni zbor društva je marca letos potrdil nov Uredniški odbor.

Uredniški odbor

# Vplivi hidravličnega skoka na delovanje parka vetrnih turbin

Mark Žagar, Vestas Wind Systems A/S, Aarhus, Denmark (mazag@vestas.com)

## Povzetek

*Hidravlični skok je v analizah podnebnih razmer ob projektiranju vetrnih elektrarn pogosto prezrt fenomen, saj ni jasno viden v časovnih vrstah vetrnih podatkov z neke točke, hkrati pa predstavlja dokaj resno grožnjo učinkovitemu obratovanju vetrnih turbin. V članku je prikazan primer uporabe numerične simulacije z zelo visoko ločljivostjo skupaj z opazovanji hitrosti vetra neposredno z vetrnih turbin ter signalov kontrolnega in diagnostičnega sistema le-teh za razlago, razumevanje, napovedovanje in oceno posledic pojava hidravličnega skoka nad območjem velike vetrne elektrarne. Posebnost analize je v vzajemni obravnavi omenjenih podatkov in medsebojni razlagi modelskih simulacij in močno posrednih opazovanih signalov – alarmov zaradi nenadnih preventivnih zaustavitev posameznih vetrnih turbin. Sklenemo lahko, da sta točnost in natančnost pazljivo zasnovanih in izvedenih modelskih simulacij v meteorološki mikroskali ustrezni za realistično in zanesljivo uporabo v praksi na področju vetrne energije, energetske meteorologije, in raziskav ozračja nasploh.*

## Uvod

Energija vetra je sčasoma prevzela pomembno mesto v paleti obnovljivih virov energije, ki trenutno dopolnjujejo fosilna goriva za globalne energetske potrebe v obsegu okoli 20 %. Leta 2013 je veter predstavljal 2.6 % vse proizvedene energije (IEA 2013) ob letni rasti okoli 25 % (IEA 2014).

Načrtovanje velikih vetrnih elektrarn in njih umeščanje v prostor je zahteven proces, v katerem je potrebno doseči kompromis med željami investitorjev oziroma lastnikov po čim večjem dobičku na eni, ter okoljskimi in socialno-ekonomskimi omejitvami na drugi strani, vse to ob upoštevanju naravnih danosti – količine in kakovosti vetra v povezavi s kompleksnostjo terena. Omenjeno lahko, zaradi nepopolnega poznavanja značilnosti vetrovnega režima na nekem območju, privede do postavitve vetrnih elektrarn na lokacije, kjer se prava narava pokaže šele po večletnem obratovanju vetrnih turbin – konverterjev kinetične energije vetra v električno energijo. Dokaj tipični vremenski pojav, ki lahko povzroči težave pri doseganju optimalnih zmogljivosti vetrnih elektrarn, je močan pobočni veter na zavetrni strani gorskih pregrad v povezavi s t.i. hidravličnim skokom. Nenadni porast ali pojemek hitrosti, sunkovitost in turbulentnost ter nenadno spreminjanje smeri vetra, ki v večji ali manjši meri spremljajo omenjen pojav, lahko vetrne turbine poškodujejo, samodejna zaščita vetrnih turbin pa privede do izklopa proizvodnje električne energije ter posledično finančnih izgub.

Da bi lahko obstoječe vetrne elektrarne, nameščene na področjih, kjer se pojavljajo močni pobočni

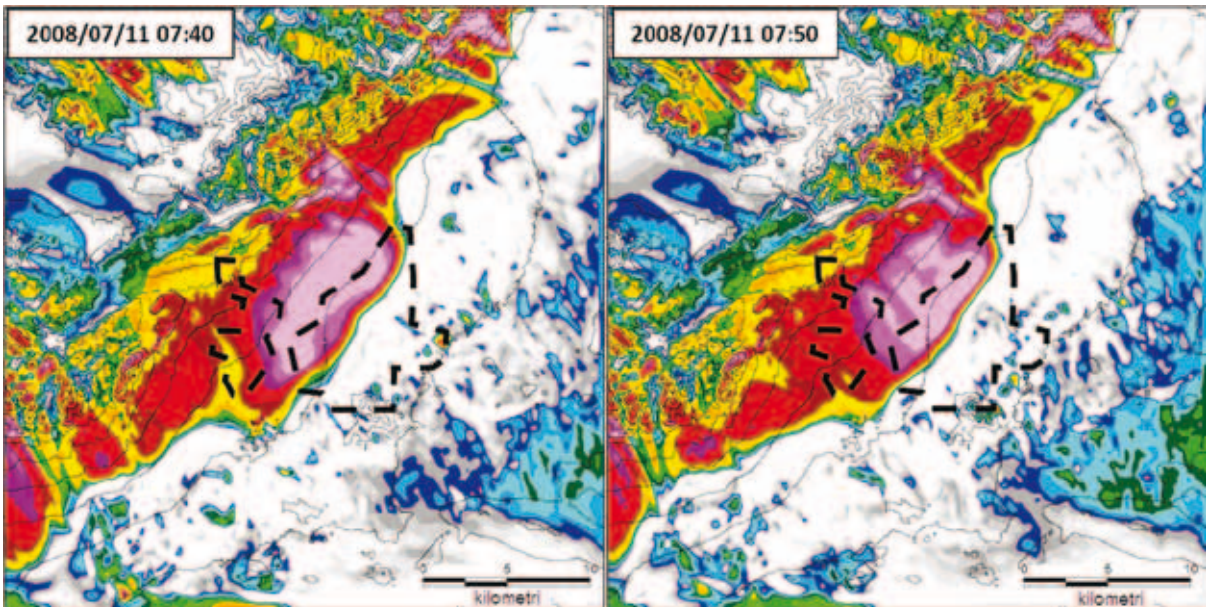
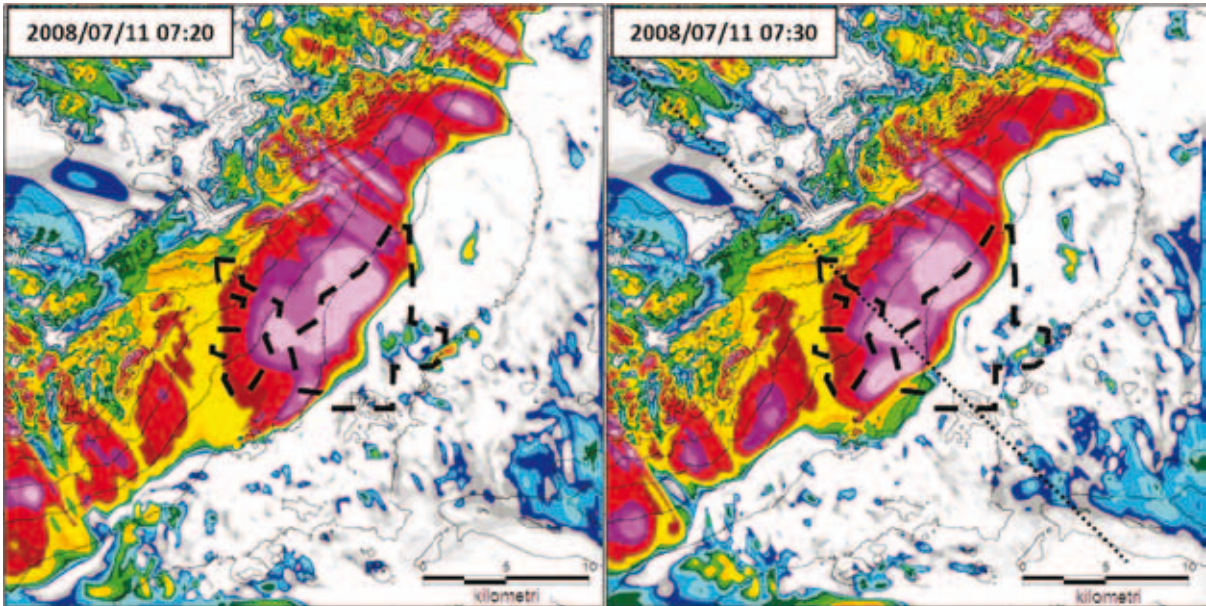
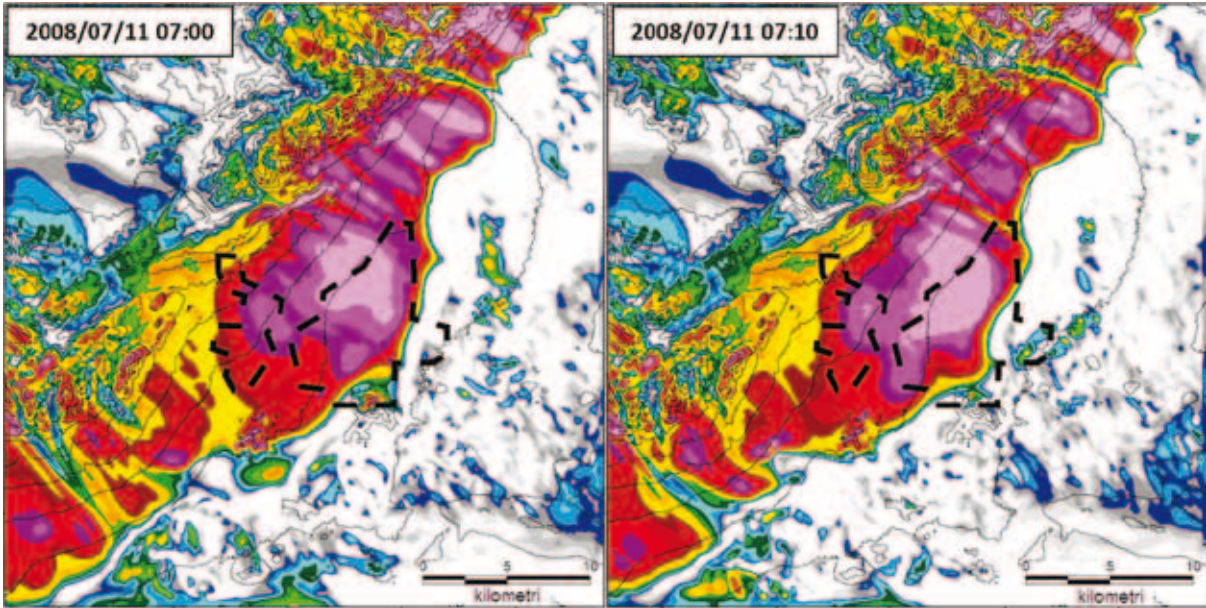
vetrovi, upravljali čim bolj optimalno ter na drugi strani izboljšali natančnost napovedi proizvodnje in servisnega načrta za prihodnje vetrovne projekte, moramo omenjene vremenske pojave prepoznati iz dostopnih podatkov. Le tako lahko tudi zagotovimo uporabnost raziskav in študij temelječih na rezultatih numeričnih modelov za potrebe finančnega načrtovanja gradnje vetrnih elektrarn. Pri takih študijah se seveda navezujemo tudi na obstoječe znanstvene izsledke (npr. Belušić et al., 2007).

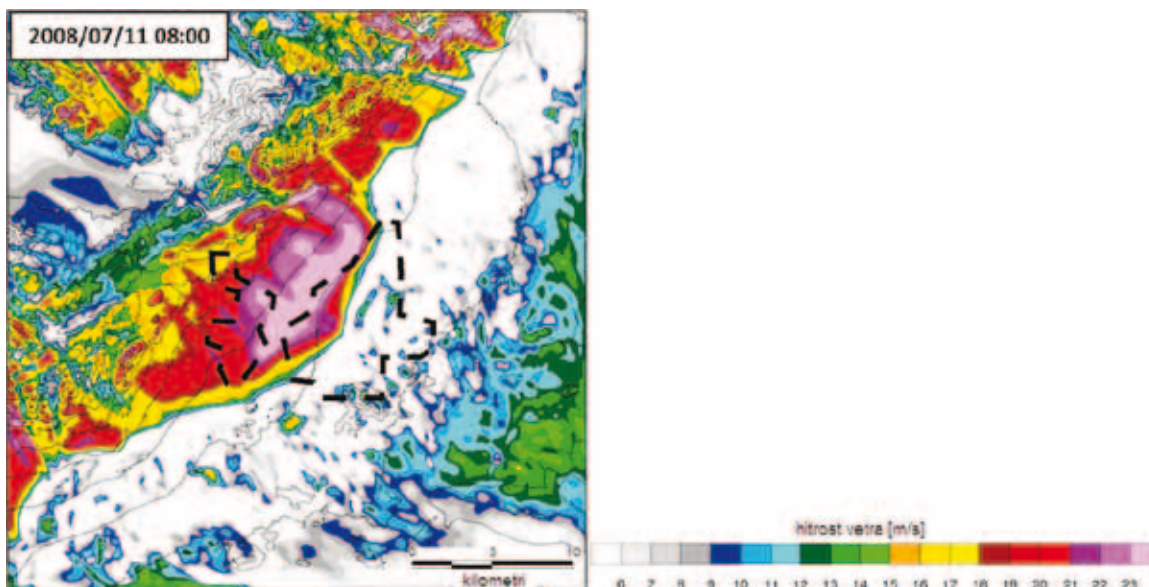
V nadaljevanju je prikazana študija primera pojava močnega pobočnega vetra na lokaciji z okoli 300 vetrnimi turbinami.

## Numerična simulacija

Numerični modeli so danes glavno orodje za fizikalno konsistentno analizo dogajanj v ozračju. Uporabljene enačbe v povezavi z meritvami z globalnega sistema opazovanj omogočajo natančno predstavitev časovnega razvoja tridimenzionalnih meteoroloških spremenljivk. Če je ločljivost modela dovolj visoka ter značilnosti reliefa in tal, se pravi spodnjega robnega pogoja, zadosti natančno podane, lahko numerični model ozračja uporabimo tudi pri analizi procesov v meteorološki mikroskali, tipičnih dimenzij okoli 1 km in manj.

V prikazani študiji je uporabljen model WRF, verzija 3.3.1, razvit v ameriškem Nacionalnem centru za raziskave ozračja (NCAR, Skamarock et al. 2008) in je eden najbolj razširjenih in uveljavljenih numeričnih modelov ozračja na svetu. Z metodo interaktivnega gnezdenja premostimo skale od sinoptične do

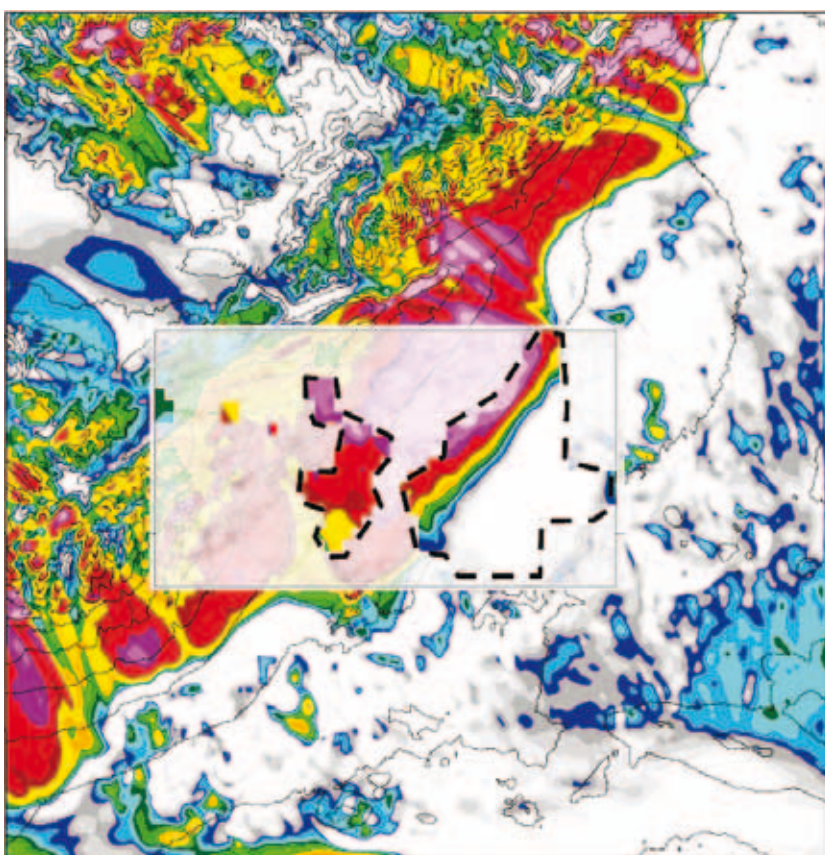




Slika 1. Zaporedje simulirane hitrosti vetra [m/s] 80m nad tlemi z intervalom 10 minut med 07:00 in 08:00, 11. julija 2008. Tanke črte predstavljajo višino reliefa z intervalom 100 m. Debela črtkana črta označuje območje goste posejane vetrnih turbin. Tanka pikčasta črta na sliki ob 07:30 prikazuje bazo vertikalnega preseka na sliki 3. Prostorska skala je prikazana v spodnjem desnem vogalu vsake slike, barvna legenda pa posebej ob zadnji sliki.

mikroskale. V prikazanem primeru je uporabljenih 6 stopenj gnezdenja, pri čemer je horizontalna ločljivost posameznih modelskih območij 27 km, 9 km, 3 km, 1 km, 333 m, in 111 m v notranjem gnezdu. Posamezna območja so tudi dovolj obširna, da se izognemo vplivu robov na rešitev v notranjosti območij.

V vertikalni smeri je v vseh območjih enako število tlem sledečih modelskih nivojev in sicer 61, od kolikor jih je 17 v spodnjem kilometru nad tlemi ter 5 pod višino 200 metrov nad tlemi. S tem dosežemo precej dober opis vertikalnih struktur, kar je še posebej pomembno v primeru stratificiranega toka. Model je



Slika 2. Simulirana hitrost vetra 80 m nad tlemi ob 07:35 na celotnem območju simulacije ločljivosti 111 m, čez njo pa je položeno interpolirano polje 10-minutne povprečne hitrosti vetra med 07:30 in 07:40, izmerjenega z anemometri na gondolah vetrnih turbin (znotraj označenega pravokotnika predstavlja zamegljena barva simulirano hitrost vetra, neprozorna barva znotraj črtkanih območij pa izmerjeno hitrost vetra; barvna skala je enaka kot na sliki 1).

hladno zagnan iz začetnih pogojev analize GFS 11. julija 2008 ob 00 UTC. Robni pogoji se osvežujejo vsakih 6 ur.

Slika 1 prikazuje zaporedje simulirane hitrosti vetra na višini 80 m nad tlemi na območju vetrne elektrarne z okoli 300 turbinami s po 3 MW moči, na prehodu iz Kalifornijske doline v puščavo Mojave. Dogodek 11. julija 2008 predstavlja dokaj tipičen pojav razvoja pobočnega vetra na tej lokaciji. Vidimo lahko, kako daleč po zavetrnem pobočju seže močan veter. Sprva je območje s hitrostjo nad 20 m/s obsežno in sega skoraj do jugovzhodnega konca vetrne elektrarne, ki jo označuje črtkana črta na sliki 1. Eno uro kasneje je meja močnega vetra pomaknjena približno 7 km po pobočju navzgor. Posledično je velik del vetrne elektrarne ostal brez razpoložljive energije. Zanesljivost oziroma pravilnost modelske simulacije preverimo s primerjavo z izmerjenimi trenutnimi hitrostmi vetra, ki jih zaznajo anemometri na vsaki vetrni turbini, prav tako na višini 80 m nad tlemi. Ker je vetrnih turbin kot rečeno okoli 300 ter so posejane v dokaj pravilnem vzorcu, meritve prostorsko interpoliramo ter dobljeno karto položimo preko simuliranega polja vetra. Primerjava je prikazana na sliki 2. Ujemanje med simuliranim in izmerjenim poljem vetra je zadovoljivo, saj izrazita meja območja močnega vetra v severozahodnem robu jugovzhodnega dela vetrne elektrarne praktično sovпада.

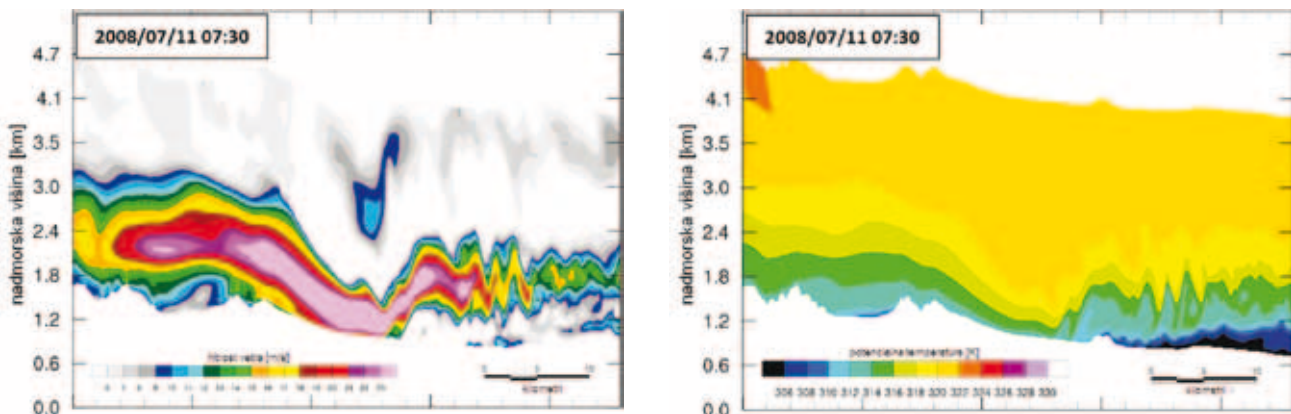
### Hidravlični skok in povezano dinamično dogajanje ter vpliv na vetrne turbine

Karakteristike stratificiranega toka preko pregrade so določene s tremi parametri: relativno višino pregrade, hitrostjo toka pred pregrado oz. na vrhu pregrade, ter stabilnostjo oz. vertikalno temperaturno razslojenostjo ozračja. Ob ugodnih pogojih, ko je tok na vrhu pregrade natanko kritičen (hitrost razširjanja notranjih težnostnih valov je enaka hitrosti toka), pride do pospeševanja toka na zavetrni strani pregrade.

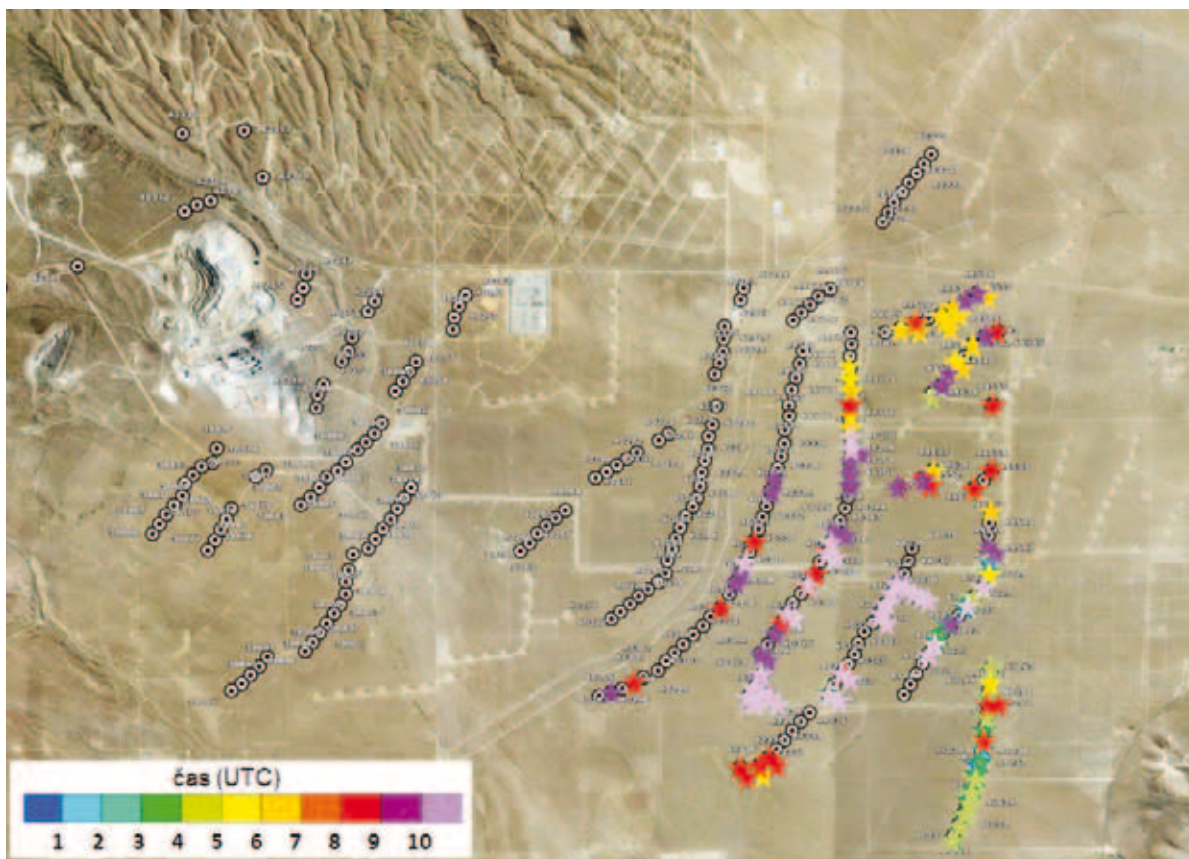
Hitrost se lahko poveča do orkanskih vrednosti (npr. burja), kar povzroči dinamično nestabilnost v tem sloju. Po določeni razdalji se horizontalna hitrost nenadoma zmanjša, pojavi se vertikalno dviganje toka in močna turbulenca (t.i. hidravlični skok) ter tudi nenadne spremembe smeri vetra. Na sliki 1 najdemo območja ob hidravličnem skoku tam, kjer je horizontalni gradient hitrosti vetra največji, se pravi na jugovzhodnem robu območja močnega vetra. Slika 3 prikazuje vertikalna preseka horizontalne hitrosti vetra in potencialne temperature. Vidimo, da je sloj hladnega zraka na severozahodnem robu območja debel približno kilometer in pol, hitrost vetra pa ne presega 15 m/s. Na sredini preseka, kjer je veter najmočnejši, je ta plast debela le še okoli 500 m, hitrosti pa presegajo 30 m/s. Vidimo tudi, kako se ob vznožju hidravličnega skoka tok odlepi od tal ter nadaljuje kot močno nepravilno in turbulentno gibanje na višini okoli 1 km nad tlemi.

Rotorji vetrnih turbin v obravnavani vetrni elektrarni imajo premer 90 m in tehtajo okoli 20 ton. Gondola s strojno opremo in generatorjem električne energije je prav tako precej masivna. Skupaj z rotorjem je na vrhu 80 m visokega jeklenega stolpa torej za do 100 ton mase, ki se s pomočjo električnih motorjev in hidravlike vrti okoli vertikalne osi, da tako vselej usmeri rotor v smer, od koder prihaja veter. Vrtenje je zaradi ogromne mase in vztrajnostnega momenta rotorja počasno, zato ob nenadnih spremembah smeri vetra lahko pride do zamaknjenosti smeri ravnine rotorja in vektorja hitrosti vetra. Ko je zamaknjenost večja od mejne vrednosti, se vetrna turbina preventivno zaustavi, da se preprečijo poškodbe. Vsaka taka zaustavitev se registrira v nadzornem sistemu vetrne elektrarne, tako pridobljeni podatki pa predstavljajo zelo zanimiv vir podatkov za analizo in razumevanje značilnosti vetrovnega režima na območju vetrne elektrarne.

Na sliki 4 je prikazano časovno zaporedje pojavov omenjenih alarmov v obravnavani vetrni elektrarni, toda za drug primer močnega vetra v zavetrju, kot pri



Slika 3. Vertikalni preseki hitrosti vetra (levo) in potencialne temperature (desno) nad pikčasto črto s slike 1, v smeri s severozahoda proti jugovzhodu. Območje z vetrnimi turbinami je približno na sredini slike.



Slika 4. Prikaz časovnega zaporedja pojava alarmov zaradi nenadnih sprememb smeri vetra na posamezni vetrni turbini. Barva zvezdic ustreza uri pojava alarma na tisti lokaciji. Prikazani so alarmi med 01 in 10 UTC, 30. aprila 2013. Kjer je bilo na isti vetrni turbini v tem intervalu dva ali več alarmov, se vidi le najkasnejši.

modelske simulacije v prejšnjem poglavju. Ker je pojav zavetrnega močnega vetra tukaj pogost in podobnih značilnosti, lahko ta opazovanja vseeno uporabimo vsaj za kvalitativno primerjavo z modelsko simulacijo za primer iz leta 2008, ki je bila opravljena v fazi načrtovanja te vetrne elektrarne.

Zaporedje pojavov zvezdic na sliki 4 se v dobršni meri sklada s pomikanjem območja hidravličnega skoka po pobočju navzgor, saj se sprva alarmi pojavljajo v zadnji vrsti vetrnih turbin, na jugovzhodnem robu elektrarne, sčasoma pa se dogajajo tudi v naslednjih vrstah turbin. Razdalje med vrstami so nekaj nad 1 km, med sosednjima vetrnima turbinama v eni vrsti pa okoli 300 m. Slednja razdalja je razmeroma majhna, vendar v prikazani elektrarni primerna, saj veter praktično vselej piha iz iste smeri.

## Sklepi

V aplikativni meteorologiji za zagotavljanje točnosti analiz in razumevanje preučevanih pojavov pogosto združujemo podatke iz različnih virov. Preden podatke uporabimo, pa moramo razumeti, kaj podatki dejansko predstavljajo, saj v nasprotnem tvegamo hude zablode. V prikazani analizi smo uporabili

modelske simulacije močnih pobočnih vetrov v mikroskali za oceno verjetnosti pojava hidravličnega skoka na območju velike vetrne elektrarne na zahodnem robu puščave Mojave v ZDA. Tako smo lahko potrdili, da so samodejne zaustavitve in z njimi povezani alarmi res posledica omenjenega pojava. S tem smo v vsakodnevem delu precej pripomogli k oceni možnosti za omilitev posledic prekomernih obremenitev vetrnih turbin in napovedovanje izpada proizvodnje električne energije, ki ni bil načrtovan v času zasnove in gradnje te vetrne elektrarne. Na drugi strani smo zelo posredne podatke z vetrnih turbin uspešno uporabili za preverjanje točnosti in natančnosti numeričnega modela, kar bo v prihodnje pomagalo pri podobnih študijah in analizah drugod in pri zaupanju v meteorološko modeliranje v mikroskali nasploh.

## Viri

IEA 2013: *Technology roadmap, Wind energy*. OECD/IEA, Paris, 63 str.

IEA 2014: *Tracking clean energy progress 2014*. OECD/IEA, Paris, 84 str.



# Zeleni protivetrni pasovi v Vipavski dolini

M. Tratnik, M. Jukić, L. Honzak, J. Papež, M. Pintar

## Uvod

Vipavska dolina s submediteranskim podnebjem in z rodovitnimi tlemi nudi izjemno ugodne okoljske pogoje za razvoj kmetijstva. Zgodnejši začetek rastle dobe kot v preostalem delu Slovenije daje temu območju pomembno prednost, ki bi jo lahko še bolje izkoristili. Kljub temu pa tudi na tem območju obstajajo omejitve, s katerimi se mora kmetijstvo spopadati. Poleg suše in poplav je ena glavnih težav močna burja.

## Prilagoditve na burjo v kmetijstvu

Pri težavah z vetrom v kmetijstvu imamo na voljo dva načina zmanjševanja negativnih učinkov vetra, in sicer (Tatarko 1998; Funk in Riksen 2007):

### Ukrepi za povečanje odpornosti površine tal na škodljive učinke vetra

Najbolj učinkovit način za zaščito pred vetrno erozijo je vzdrževanje trajne vegetacije na kmetijskih zemljiščih – trajni travnik/pašnik, kar pa s stališča ekonomike pridelave na enoto kmetijskega zemljišča ni najbolj optimalno. Obstajajo tudi ukrepi dobre kmetijske prakse, s katerimi povečamo odpornost tal na vetrno erozijo, kot so puščanje žetvenih ostankov na njivi, obdelovanje pasov in ne celotne površine, obdelava polj pravokotno na smer prevladujočih vetrov. Tako se lahko delno prilagodimo na močne vetrove, vendar so to zgolj dopolnilni ukrepi – primarni ukrep je zmanjšanje hitrosti vetra na območju kmetijske pridelave.

### Ukrepi za zmanjšanje hitrosti vetra

Za zmanjšanje hitrosti vetra se uporablja različne ovire, postavljene pravokotno na prevladujočo smer vetra. To so lahko trajne zelne rastline visoke do nekaj metrov (npr. trstikovec, sirek), umetne ovire iz lesa ali umetnih materialov, zanimivo rešitev pa predstavljajo zeleni (vegetacijski) protivetrni pasovi, sestavljeni iz dreves in podrasti, ki poleg vetrozaščitne funkcije prinašajo še mnogo drugih pozitivnih učinkov. Z izvedbenega vidika so njihove glavne prednosti nizka cena vzpostavitve, trajnost in nizki stroški vzdrževanja po doseženi polni funkcionalnosti. Hkrati predstavljajo tudi protihrupno zaščito, zaščito za živino, nudijo zatočišče prostoživečim živalim, med katerimi najdemo naravne zatiralce škodljivcev in žuželke, ki pomagajo pri opravljanju. Prispevajo k čistejši podtalnici in zmanjšujejo potrebo po namakanju ter ohranjajo naravno podobo krajine.

## Projekt ViVaCCAdapt

Protivetrni pasovi so bili v Vipavski dolini v preteklosti že načrtovani in delno izvedeni, a se iz različnih razlogov v pretežni meri niso ohranili. Ideja o njihovi obnovi, ki je v zadnjem času ponovno zaživela, je vključena v LIFE projektu Adapting to the Impacts of Climate Change in the Vipava Valley (ViVaCCAdapt 2016-2021; [www.life-vivaccadapt.si](http://www.life-vivaccadapt.si)), katerega cilj je prilagoditev kmetijstva v Vipavski dolini spreminjajočim se podnebnim razmeram. Vipavsko kmetijstvo namreč vse pogosteje prizadevajo hude suše, poplave in močan veter, v prihodnosti pa se bosta intenzivnost in pogostost teh pojavov zaradi podnebnih sprememb najverjetneje še povečali. Zato je nujno pravočasno pripraviti ustrezno strategijo prilagajanja ter tako zmanjšati škodo zaradi negativnih učinkov podnebnih sprememb in izkoristiti njihove morebitne pozitivne učinke.

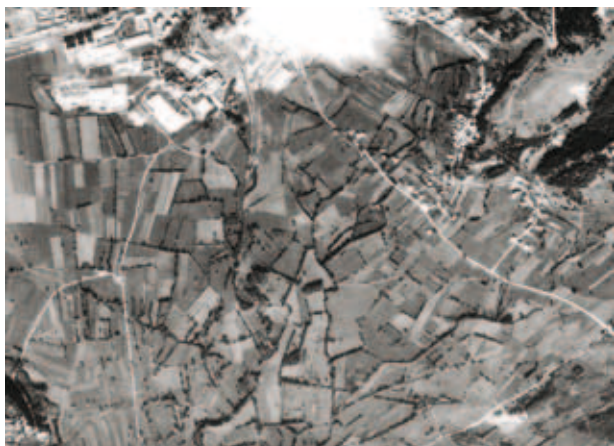
Projekt ViVaCCAdapt sestavljajo trije glavni vsebinski sklopi. Prvi je oblikovanje splošne strategije prilagajanja podnebnim spremembam. Na podlagi analize trenutnega stanja in različnih scenarijev razvoja podnebja v prihodnosti bo določen nabor najprimernejših strateških ukrepov za kmetijstvo, upoštevajoč lokalne posebnosti in obstoječe primere dobre prakse. V izogib negativnim učinkom predlaganih ukrepov na druga področja bodo k sodelovanju povabljeni strokovnjaki iz različnih sektorjev kot so gozdarstvo, hidrologija, transport, turizem itd.

V drugem sklopu bo vzpostavljen pilotni sistem podpore odločanju o namakanju, ki bo uporabniku preko enostavnega vmesnika posredoval predlog optimalnega namakanja za posamezno kulturo glede na njeno trenutno fenološko fazo. Časovna in količinska opredelitev namakanja bo temeljila na predhodni analizi tal, rednih meritvah količine vode v tleh in vremenske napovedi. Tretji sklop obravnava zelene (vegetacijske) protivetrne pasove in je podrobneje predstavljen v nadaljevanju prispevka.

## Zeleni protivetrni pasovi v Vipavski dolini

### Nekoč

Kmetijska pridelava v Vipavski dolini je bila pred izvedbo melioracij in komasacij prilagojena razmeram, popolnoma drugačnim od današnjih. Za območje je bila značilna velika parcelna razdrobljenost, v krajini je bilo prisotnih več zaplat gozda, omejkev in mejic, ki so kmetijska zemljišča varovali pred močnimi



Slika 1. Ajdovsko polje 1976 (povzeto po Turk 2012).

vetrovi (slika 1). Vendar pa tako velikost kot oblika kmetijskih zemljišč nista omogočala obdelave s sodobno kmetijsko mehanizacijo. Poleg tega je bilo mnogo območij v pomladanskih in jesenskih mesecih poplavljenih, poleti pa se je pojavljala suša.

### Ureditvena dela

V 70. in 80. letih prejšnjega stoletja so bili v okviru t.i. Zelenega plana pripravljene obsežni načrti vodnogospodarskih in kmetijsko ureditvenih del za celotno Vipavsko dolino, ki naj bi postala vrt Slovenije (Mohorič in sod. 1985; Gabrijelčič in sod. 1996). Z namenom izboljšanja pridelovalnih razmer so bile med leti 1982 in 1986 izvedene agromelioracije in hidromelioracije, nato še komasacije (slika 2).

Proces optimizacije pridelovalnih razmer ni bil dokončan, tako na področju namakanja kmetijskih zemljišč, kot tudi na področju zasaditve protivetrnih zaščit. Posek večine obstoječih drevesnih in grmovnih pasov je odprl pot burji, ki zlasti pozimi povzroča odnašanje zemlje (sliki 3 in 4), v rastni dobi pa poškodbe listov, lom stebel in odpadanje plodov. Nadomestna zaščita ni bila ustrezno in v celoti



Slika 3. Zapolnjeni osuševalni jarki med orkansko burjo leta 2012.



Slika 2. Ajdovsko polje 2008 (povzeto po Turk 2012).

izvedena. Z bolj premišljenim načrtovanjem bi del drevesnih pasov lahko pustili rasti kot vetrozaščitne pasove, del pa bi morali (kot načrtovano) zasaditi čim prej po izvedenih melioracijah in komasacijah (Premr in Turk 2012; Gabrijelčič in sod. 1996).

### Trenutno stanje

V letu 2012, po ekstremni burji, ki je v kmetijstvu povzročila veliko škode, je bila opravljena analiza obstoječih protivetrnih pasov (Črv in Turk, 2012). Preglednica 1 prikazuje v času melioracij načrtovan in izveden obseg protivetrnih pasov ter njihovo trenutno stanje. Protivetrni pasovi so bili v celoti zasajeni le na treh kompleksih, drugod pa le delno ali sploh ne. Od izvedenega se je ohranil le majhen delež, deloma zaradi neprimerne ali pomanjkljivega vzdrževanja, deloma pa tudi zaradi namernega krčenja.

Odseki protivetrnih pasov so v Vipavski dolini prisotni na več lokacijah, vendar jih je večina v precej slabem stanju in zato nimajo ustreznega učinka na zmanjšanje hitrosti vetra. Njihove glavne pomanjkljivosti so:



Slika 4. Čiščenje osuševalnih jarkov po orkanski burji leta 2012.

Preglednica 1. Osuševalni kompleksi in njihovi načrtovani protivetrni pasovi v primerjavi z njihovim stanjem danes (prirejeno po Črv in Turk, 2012).

kompleks	leto izvedbe	posajeno ob osuševanju	dolžina protivetrnih pasov (m)	površina protivetrnih pasov (ha)	protivetrni pasovi danes
Ajdovsko polje	1981 – 1982	vse posajeno	6500	3,25	95 % izkrčeno
Lokavec	1983 – 1984	vse posajeno	8850	4,43	70 % izkrčeno
Manče - Podnanos	1983 – 1984	vse posajeno	8361	4,18	50 % izkrčeno
Brje - Žablje	1983 – 1984	ni predvideno	zaščitni gozd	/	
Log - Zemono	1984 – 1985	malo posajeno	14506	7,3	90 % izkrčeno
Vipavski križ	1984 – 1985	delno posajeno	10370	5,2	90 % izkrčeno
Slap - Lože	1985 – 1986	ni posajeno	5135	2,1	
Dolenje	1985 – 1986	ni predvideno	ob Vipavi	/	
Lozice	1985 – 1986	delno posajeno	2500	1,25	50 % izkrčeno
ob hitri cesti		v šopih	7000	5,6	okrasno drevje
skupaj			63222	33,31	

### Neizpolnjen vertikalni profil

V primeru neizpolnjenega vertikalnega profila (pomanjkanja podrasti) se zračni tok, ki naleti na oviro, ne preusmeri samo preko nje, temveč tudi pod krošnjo. Tako se v bližini ovire hitrost vetra pri tleh celo poveča (slika 5).

### Večje ali manjše vrzeli v protivetrni zaščiti

Vrzeli v protivetrnih pasovih običajno nastopajo na mestu križanja z daljnovodom (slika 6) ali cesto, lahko pa so tudi posledica krčenja iz drugega razloga (slika 7). Podobno kot v prejšnjem primeru se zračni tok v vrzeli celo pospeši.

### Neprimerne vrste dreves

Glede primernosti drevesnih vrst enostavnega odgovora ni, saj ima vsaka dobre in slabe lastnosti. Iglavci npr. z gosto in zimzeleno krošnjo nudijo boljšo protivetrno zaščito, vendar so se v preteklosti izkazali



Slika 5. Neizpolnjen vertikalni profil v protivetrnem pasu iz borovcev.

kot preobčutljivi za ekstremne hitrosti vetra, ki lahko nastopijo ob močni burji (slika 8).

### Prekratki odseki protivetrnih pasov

Za učinkovito zaščito pred vetrom je poleg ustrezne višine in sestave zelenega pasu pomembna tudi njegova dolžina. V primeru prekratkega odseka se namreč zračni tok preusmeri ob, namesto čez oviro (slika 9).

Najbolje ohranjene protivetrne pasove najdemo na kompleksu Lokavec, zahodno od letališča v Ajdovščini. Tam so poleg visokih dreves (topoli) prisotna tudi manjša drevesa in grmovje, ki zapolnjujejo vertikalni profil protivetrnega pasu (slika 10).

Funkcijo protivetrne zaščite ponekod opravljajo pasovi zarasti, ki niso bili zasajeni s tem namenom, temveč so se formirali ob vodotokih, osuševalnih jarkih ali cestah (slika 11). Predpogoj za to je seveda pravilna usmerjenost, torej pravokotno na smer vetra.



Slika 6. Koridor daljnovoda skozi protivetrni pas.



Slika 7. Vrzel v protivetrnem pasu iz borovcev.



Slika 8. Propadajoči iglavci na Ajdovskem polju.



Slika 9. Šop dreves na polju pod Gradiščem pri Vipavi.



Slika 10. Protivetrni pas na Lokavškem polju.



Slika 11. Pas zarasti ob magistralni cesti Podnanos–Vipava.

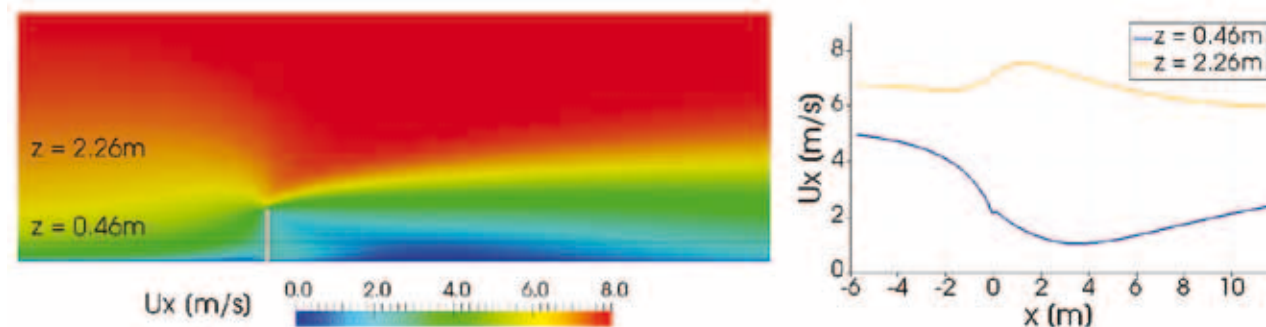
### **Pristop k obnovi protivetrnih pasov v Vipavski dolini**

Za pravilno zasnovu in umestitev vegetacijskih protivetrnih pasov v prostor je potrebno dobro poznavanje vetrovnih razmer na obravnavanem območju, pozornost pa je treba posvetiti tudi posebnostim posameznih mikrolokacij. V okviru

projekta LIFE ViVaCCAdapt je bila na podlagi meritev, pridobljenih iz različnih virov, opravljena analiza vetrovnih razmer v Vipavski dolini. Podrobnosti o analizi in njeni rezultati so predstavljeni v ločenem prispevku.

Naredili smo tudi analizo projekcij podnebnih modelov. Projekcije smo pripravili z uporabo podatkov iz simulacij podnebnih modelov CORDEX (Giorgi in Gutowski, 2015; CORDEX 2016). V analizi projekcij smo uporabili rezultate šestih simulacij, ki so glede na arhivske podatke najboljše simulirali podnebne razmere na območju Slovenije (ARSO 2016). Uporabili smo t.i. zmerno optimistični scenarij RCP4.5 (van Vuuren in sod. 2011). Na podlagi analize povprečne dnevne hitrosti in 95. percentila maksimalne dnevne hitrosti ter primerjave z obdobjem 1981-2005 smo ugotovili, da se v 21. stoletju večjih sprememb ne pričakuje.

Pri načrtovanju učinkovitih protivetrnih pasov je v veliko pomoč računalniško modeliranje, ki omogoča simulacijo njihovega obnašanja v odvisnosti od različnih parametrov, kot so višina in širina pasu, prepustnost krošnje, prisotnost podrasti itd. Določitev optimalnih vrednosti teh parametrov pomaga pri



Slika 12. Primer rezultatov numeričnega modela: polje horizontalne komponente hitrosti v okolici delno prepustne ovire (levo), spreminjanje hitrosti v vzdolžni smeri na dveh višinah ( $z=0,46\text{m}$  in  $2,26\text{m}$ ) (desno).

izbiri najprimernejše vrste dreves in vzorca zasaditve. Pri modeliranju je treba upoštevati ustrezno hitrost in smer vetra za obravnavano lokacijo, velikost zemljišča, ki ga želimo zaščititi, in morebitne omejitve glede možnosti zasaditve. Numerični model je trenutno v fazi razvoja in testiranja, zasnovan pa je v odprtokodnem programu OpenFOAM (Medmrežje), ki omogoča prilagajanje vgrajenih modulov lastnim potrebam. Primer rezultatov modela je predstavljen na sliki 12: na levi je prikazano polje horizontalne komponente hitrosti ( $U_x$ ) v okolici delno prepustne ovire. Opazimo lahko izrazito zatišno območje za oviro. Slika na desni prikazuje spreminjanje hitrosti  $U_x$  v vzdolžni smeri na dveh višinah, označenih na sliki levo. Lokacija ovire je pri koordinati  $x=0$ . Lepo je viden občuten padec hitrosti za oviro in pospešitev toka nad njo.

V okviru projekta ViVaCCAdapt izvajamo meritve hitrosti in smeri vetra na dveh obstoječih protivetrnih pasovih različnih tipov na Lokavškem in Vipavskem polju (slika 13 in slika 14). Na vsaki lokaciji merimo hitrost na štirih merilnih mestih v liniji, pravokotni

na pas dreves, na dveh mestih pred oviro in dveh za njo (slika 15). Na vsakem merilnem mestu merimo hitrost in smer vetra na dveh višinah – 2 m in 4 m. Zbrani podatki bodo služili tako za oceno učinkovitosti obstoječih pasov in njihovih morebitnih pomanjkljivosti, kot tudi za validacijo računalniškega modela.

Znanje, pridobljeno pri naštetih aktivnostih, bo uporabljeno pri vzpostavitvi demonstracijskega zelenega protivetrnega pasu na območju občine Ajdovščina, kjer bo zasajenih več tipov pasov z različnimi drevesnimi vrstami in vzorci zasaditve v skupni dolžini 200 m. Za oceno njihove učinkovitosti se bodo tudi tu izvajale meritve vetra, vendar končnih ugotovitev do izteka projekta ne bo moč podati, saj protivetrni pasovi še ne bodo dosegli polne funkcionalnosti. Skrb za vzdrževanje demonstracijskega protivetrnega pasu po koncu projekta bo prevzela Občina Ajdovščina. Poleg eksperimentalne bo projekt imel tudi izobraževalno vlogo, saj bo preko javnih delavnic omogočal širjenje znanja in ozaveščenosti o pomenu vegetacijskih protivetrnih pasov.



Slika 13. Meritve vetra na protivetrnem pasu listavcev na Lokavškem polju (topoli višine 20 m, podrast).



Slika 14. Zaporedno postavljeni merilni mesti na protivetrnem pasu iglavcev na Vipavskem polju (ciprese višine do 8 m).



Slika 15. Postavitev merilnikov na Lokavškem polju.

## Sklepi

Močna burja v Vipavski dolini predstavlja resno težavo v kmetijstvu, zanimiva rešitev pa se ponuja v obliki zelenih protiveternih pasov, ki poleg vetrozaščitne funkcije prinašajo še mnogo drugih pozitivnih učinkov. V preteklosti so bili že načrtovani in delno izvedeni, a se zaradi neprimerne vzdrževanja, namernega krčenja in pomanjkljive ozaveščenosti o njihovem pomenu večinoma niso ohranili. Ob nedavnih primerih hude burje, ki je povročila veliko škode v kmetijstvu, se je zopet izrazil interes za njihovo obnovo. Gre za dolgoročen in kompleksen ukrep, ki zahteva temeljit in sistematičen pristop, prvi korak pa je širjenje znanja in zavedanja o njihovi pomembnosti, saj je ukrep brez javne podpore težko izvedljiv.

## Zahvala

V prispevku so predstavljene vsebine, obravnavane v projektu LIFE15 CCA/SI/000070 – LIFE ViVaCCAdapt. Projekt sofinancirata Evropska komisija ter Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije.

## Viri

ARSO 2016: Spremembe podnebja v Sloveniji do sredine 21. stoletja. Agencija RS za okolje. Ljubljana. Medmrežje: [http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/PSS/scenariji/letak\\_RCP45\\_2070.pdf](http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/PSS/scenariji/letak_RCP45_2070.pdf) (5. 12. 2016)

CORDEX 2016: The Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX). International Project Office for CORDEX, Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Norrköping, Sweden. Medmrežje: <http://www.cordex.org/> (5. 12. 2016)

Črv, R. 2012: Melioracija in pomen vetrozaščitnih pasov v Vipavski dolini. *Erozija v kmetijstvu. Ajdovščina*, 22. 5. 2012.

Medmrežje: [http://giam2.zrc-sazu.si/sites/default/files/crv\\_turk\\_melioracije\\_vipavska\\_dolina.pdf](http://giam2.zrc-sazu.si/sites/default/files/crv_turk_melioracije_vipavska_dolina.pdf) (22. 2. 2017)

Fučka, D., 2000: Pomen omejkov in gozdnih ostankov na melioriranih površinah v Zgornji Vipavski dolini. *Erozija v kmetijstvu. Ajdovščina*, 22. 5. 2012

Funk R., Riksen M. 2007: Measures to reduce wind erosion and related dust emissions. Conference paper – January 2007. Medmrežje: [http://www.researchgate.net/publication/234058012\\_Measures\\_to\\_reduce\\_wind\\_erosion\\_and\\_related\\_dust\\_emissions](http://www.researchgate.net/publication/234058012_Measures_to_reduce_wind_erosion_and_related_dust_emissions) (15. 2. 2017)

Gabrijelčič, Z., Ušaj, H., Kodrič, I., Požnel, A., Gorkič, M., Osmuk, N., 1996: Vipavska dolina včeraj, danes, jutri. V: Mišičev vodarski dan 1996. Maribor, Vodnogospodarski biro Maribor: 85–98.

Giorgi, F., Gutowski, W.J. 2015: Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative. *Annual Review of Environment and Resources* 40. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021217>

Medmrežje: <http://www.openfoam.org> (20.2.2017)

Mohorič, D., Prešeren, M., Zorn, R. 1985: Ureditve Vipavske doline za intenzivno kmetijsko proizvodnjo. Nova Gorica, VIPA – Inženiring za izvedbo programa »Vipavska dolina«: 16 str.

Premrl, T., Turk, M. 2012: Drevesno-poljedelski podsistem na primeru protiveternih pasov v Vipavski dolini. *Gozdarski vestnik*, 71/2013, št. 5–6. str. 313 – 321.

Tatarko, J. 1998: Wind Erosion: Problem, Processes, and Control. USDA-ARS Engineering & Wind Erosion Research Unit. Medmrežje: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_019407.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_019407.pdf) (15. 1. 2017)

Turk M., 2012: Vetrozaščitni pasovi v Vipavski dolini. Medmrežje: [http://giam2.zrc-sazu.si/sites/default/files/turk\\_vetrozascitni\\_pasovi\\_vipavska\\_dolina.pdf](http://giam2.zrc-sazu.si/sites/default/files/turk_vetrozascitni_pasovi_vipavska_dolina.pdf) (22. 2. 2017)

van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K. 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109-1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

# Analiza meritev vetra v Vipavski dolini

L. Honzak, M. Jukić, M. Pintar

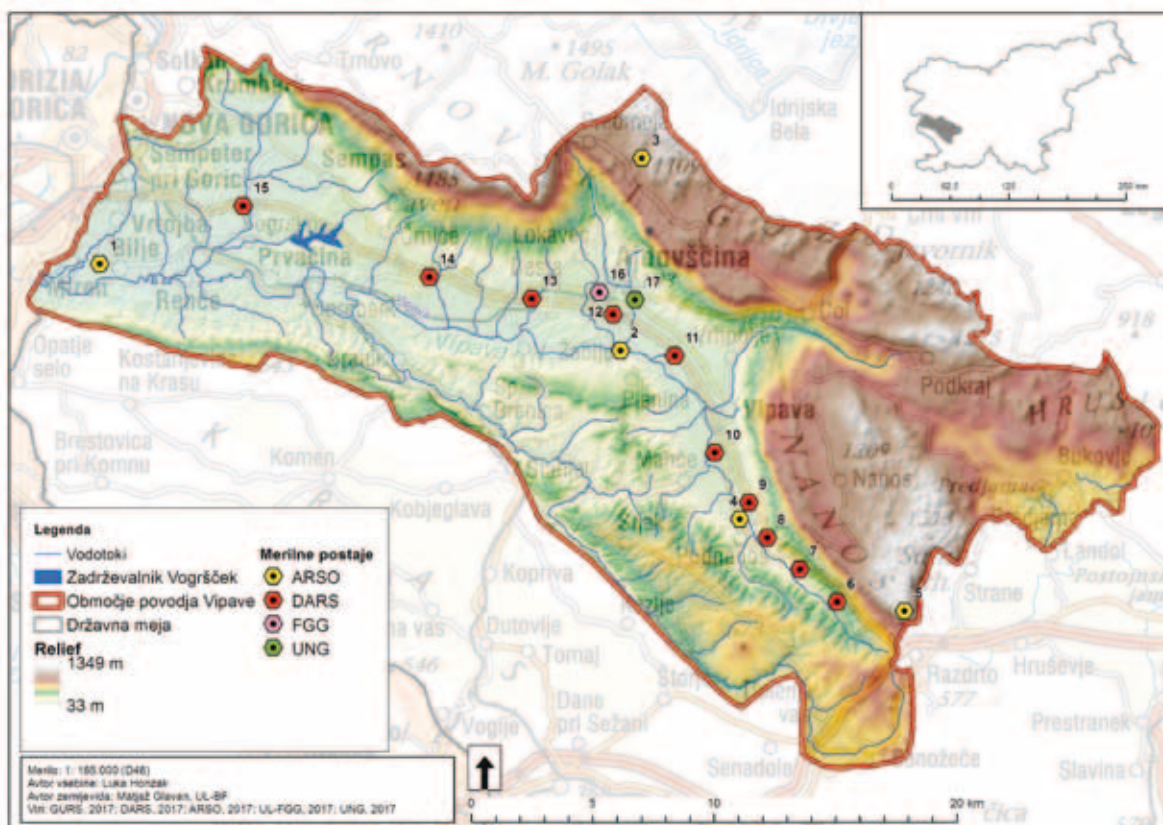
## Uvod

Vipavska dolina leži v zahodnem delu Slovenije. Na zahodu se odpira proti Furlanski nižini, na vzhodu in severu jo omejujejo planote Nanos, Hrušica in Trnovski gozd, na jugu Kras in Vipavski griči. Topografija območja je raznolika, saj se nadmorska višina spreminja od 33 metrov do preko 1400 metrov. Za območje je značilen močan veter, imenovan burja.

Burja je hladen, sunkovit veter severovzhodne smeri, prisoten v JZ Sloveniji in vzdolž hrvaške obale. Je najmočnejši veter v Sloveniji, znan predvsem po svoji sunkovitosti; lokalno lahko sunki presegajo 180 km/h. Pri nas do pojava burje pride, ko se hladen zrak iznad osrednje Slovenije po dvigu prek dinarskih gorskih planot pospešujoče spušča proti Jadranu. V Vipavski dolini v povprečju piha zmerna do močna burja 42 dni na leto. Najpogosteje se pojavlja pozimi, ko je tudi najmočnejša. Lokalno se lahko hitrost burje močno poveča zaradi stekanja vetrov nad reliefnimi oblikami, drugje pa nastanejo zatišne lege, kjer so večinoma postavljena naselja (Rakovec in sod. 2009). Vetrovi, podobni burji, so znani tudi drugod po svetu (Severna Amerika, Japonska itd.).

## Meritve vetra v Vipavski dolini

V Vipavski dolini se nahaja več kot 15 merilnih postaj različnih inštitucij, kjer se izvajajo stalne meritve vetra (slika 1, preglednica 1). Največjo merilno mrežo ima Družba za avtoceste v RS (DARS): ob hitri cesti imajo od leta 2011 postavljenih 10 merilnih postaj, s katerimi si pomagajo pri vodenju prometa. Dve od njih merita hitrost na dveh različnih višinah, ostale le na eni. Merilna mreža s časovno najdaljšim nizom podatkov je v lasti Agencije RS za okolje (ARSO). Na meteoroloških postajah Bilje pri Novi Gorici in Dolenje pri Ajdovščini meritve izvajajo že od začetka 90. let prejšnjega stoletja. V okviru projekta BOBER (Medmrežje 1) sta bili v zadnjih letih dodani merilni mesti Podnanos in Nanos. Fakulteta za znanosti o okolju Univerze v Novi Gorici (UNG) je leta 2015 postavila merilnik na streho Univerzitetnega središča v Ajdovščini (Medmrežje 2), Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG) pa v okviru projekta WindRisk (Medmrežje 3) od leta 2013 izvaja meritve vetra na ajdovskem stadionu.



Slika 1. Karta merilnih postaj vetra v Vipavski dolini.

Preglednica 1. Osnovni podatki o merilnih postajah vetra v Vipavski dolini.

št.	upravljalec	ime postaje	višina meritev nad terenom	merilna naprava	tip merilne naprave	začetek meritev
1	Agencija RS za okolje (ARSO)	Bilje	10 m	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	1991
2		Dolenje	10 m	Vaisala WAA 151, WAV 151	optoelektronski Robinsonov	1993
3		Otlica	10 m	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	2006
4		Podnanos	10 m	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	2015
5		Nanos	10 m	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	2016
6	Družba za avtoceste v RS (DARS)	viadukt Šumljak	3 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
			8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
			3,5 m	Vaisala WXT520	2D ultrazvočni	2011
7	Viadukt Lozice	8 m	Davis Vantage Pro 2	Robinsonov	2011	
8	Viadukt Tabor	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011	
9	Družba za avtoceste v RS (DARS)	strčišče Mlake	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
10		izpostava Vipava	10 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
11		Zemono	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
12		nadvoz Ajdovščina	12 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
13		viadukt Ribnik	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011
14	viadukt Selo	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011	
15	viadukt Lijak	8 m	Vaisala WS425	2D ultrazvočni	2011	
16	Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (UL FGG)	Ajdovščina (stadion)	2 m nad streho	Gill Instruments WindMaster Pro	3D ultrazvočni	2013
17	Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju (UNG)	Ajdovščina (Univerzitetno središče)	na strehi	Vaisala WMT702	2D ultrazvočni	2015

## Analiza meritev vetra

Analiza meritev vetra je bila izvedena v sklopu projekta LIFE ViVaCCAdapt (Medmrežje 4), ki se ukvarja z zaščito kmetijskih zemljišč v Vipavski dolini pred podnebnimi vplivi, med drugim tudi pred posledicami močne burje. Ker je za kmetijstvo pomemben predvsem ravninski del Vipavske doline, smo se omejili na izbrane postaje DARS in ARSO (Preglednica

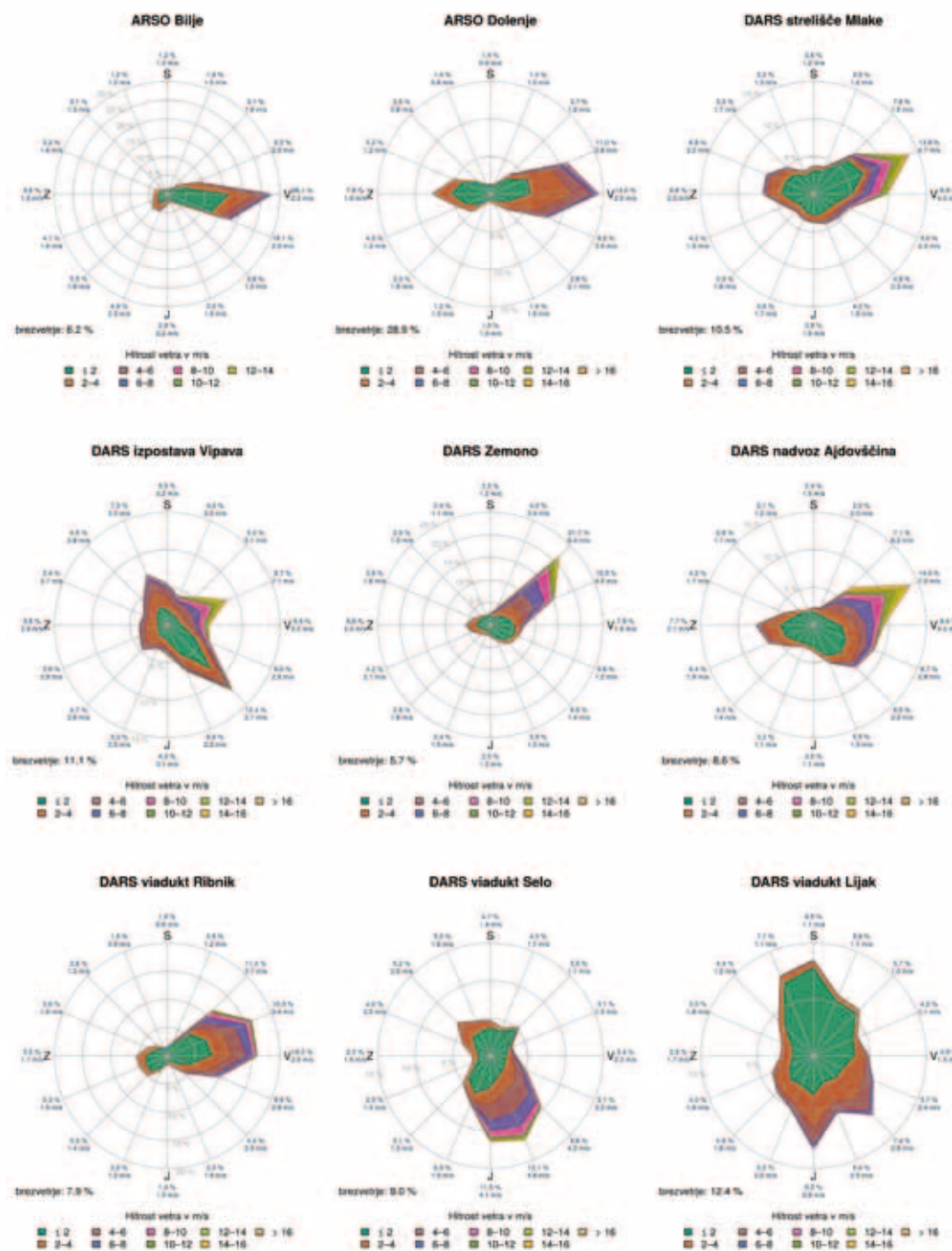
2) in analizirali meritve iz obdobja 2011-2016, ki je skupno vsem merilnim mestom. Meritve UL FGG in UNG so manj zanimive, saj so pridobljene na urbanem območju in le za krajše časovno obdobje.

DARS-ove postaje zbirajo podatke v triminutnih intervalih. Za vsak interval sta na voljo povprečna hitrost s pripadajočo smerjo ter največji sunek, ki smo mu pripisali isto smer kot povprečni hitrosti.

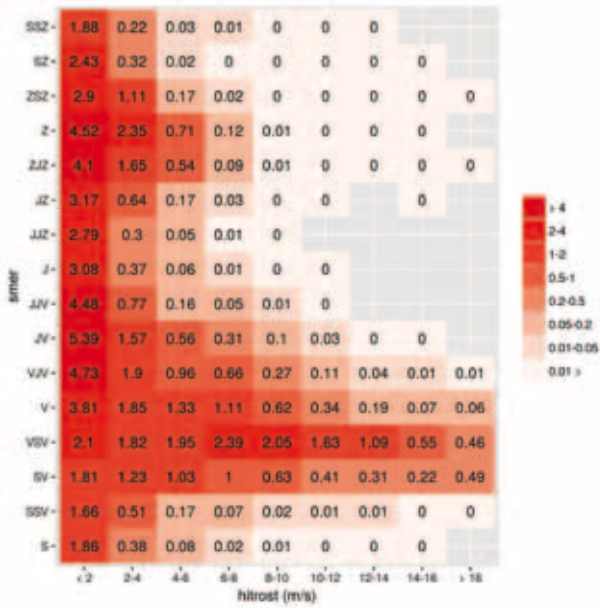


Preglednica 2. Osnovna statistika za analizirane postaje za veter v Vipavski dolini.

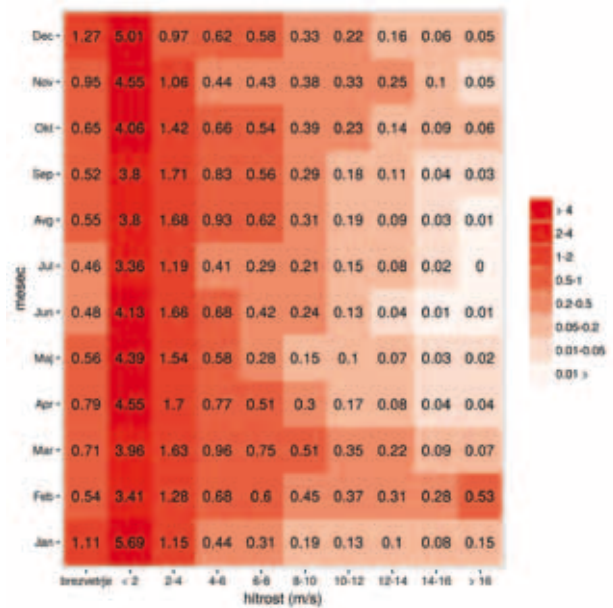
št.	upravljalec	ime postaje	povprečna hitrost (m/s)	najvišja hitrost (m/s)	najmočnejši sunek (m/s)
1	ARSO	Bilje	1,87	12,2	31,4
2		Dolenje	1,52	20,9	35,9
9		strelišče Mlake	2,22	24,6	41,2
10	DARS	izpostava Vipava	3,05	26,9	56,0
11		Zemono	3,04	22,6	36,7
12		nadvoz Ajdovščina	2,93	28,6	42,8
13		viadukt Ribnik	2,34	25,0	39,1
14		viadukt Selo	2,46	35,7	51,9
15		viadukt Lijak	1,59	28,1	48,6



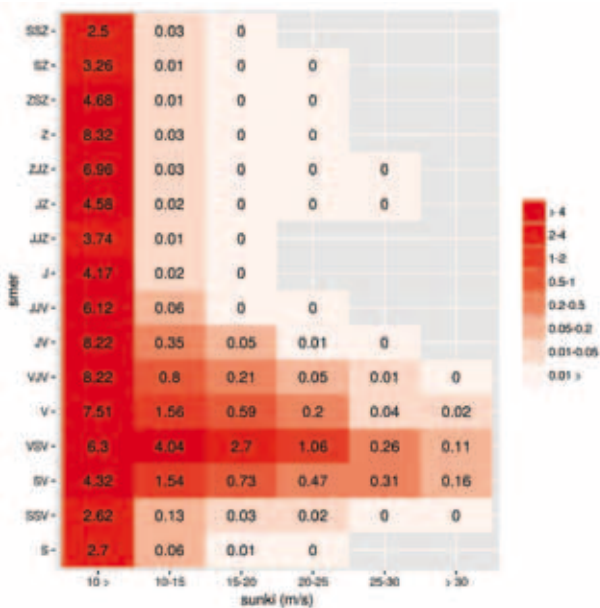
Slika 2. Vetrovne rože za izbrane postaje v Vipavski dolini. Številke po obodu kroga označujejo relativno frekvenco vetrov iz posameznih smeri in njihovo povprečno hitrost. Barve označujejo kumulativno relativno frekvenco vetrov v posameznem hitrostnem razredu.



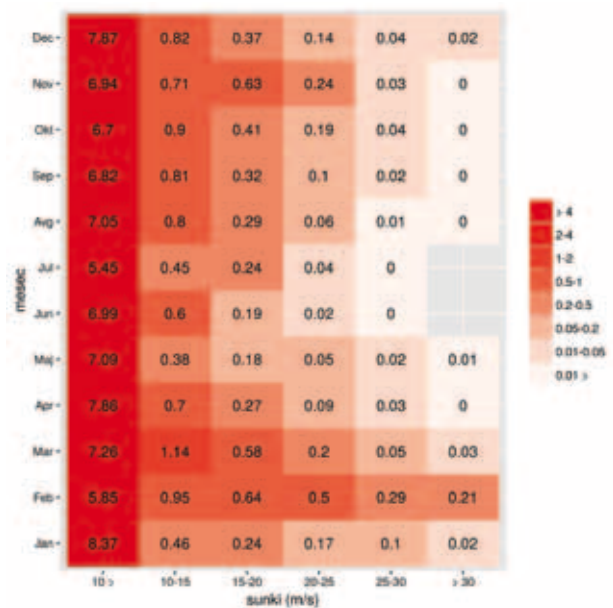
Preglednica 3. Relativna pogostost vetra (v %) po hitrostnih razredih in smereh za DARS postajo v Ajdovščini.



Preglednica 4. Relativna pogostost vetra (v %) po hitrostnih razredih in mesecih za DARS postajo v Ajdovščini.



Preglednica 5. Relativna pogostost sunkov vetra (v %) po hitrostnih razredih in smereh za DARS postajo v Ajdovščini.



Preglednica 6. Relativna pogostost sunkov vetra (v %) po hitrostnih razredih in mesecih za DARS postajo v Ajdovščini.

Podatki ARSO postaj se beležijo vsake pol ure, za vsak interval pa smo uporabili t.i. terminsko hitrost vetra (povprečna hitrost vetra zadnjih 10 minut časovnega intervala), njeno smer ter najmočnejši sunek v polurnem intervalu s pripadajočo smerjo.

Primerjava v preglednici 2 pokaže velike razlike med postajami. Povprečna hitrost se giblje od 1,5 m/s (Dolenje, viadukt Lijak) do več kot 3 m/s (izpostava Vipava, Zemono), največja od 12 m/s (Bilje) do več kot 35 m/s (viadukt Selo). Največji izmerjeni sunek na postajah presega 30 m/s, najvišja vrednost (56 m/s) pa je bila dosežena na DARS postaji izpostava Vipava.

V podrobnejši analizi smo za vsako postajo narisali vetrovno rožo za hitrost in smer vetra (slika 2) ter izračunali relativno pogostost (v %) po hitrostnih razredih in smereh neba (preglednica 3) oz. mesecih v letu (preglednica 4). Enako smo naredili tudi za sunke vetra (preglednici 5 in 6). Veter s hitrostjo manjšo ali enako 0,3 m/s je obravnavan kot brezvetrje.

Na merilni postaji Bilje sta prevladujoči smeri vetra V in JVJ, ki pokrijeta približno polovico vseh meritev (V 28 %, JVJ 18 %). Pričakovano so povprečne hitrosti nad 10 m/s najpogosteje dosežene ravno pri teh smereh. Spremljajoči sunki lahko presegajo

hitrost 25 m/s, vendar so taki dogodki redki. Veter je najmočnejši pozimi, zlasti februarja.

Dolenje pri Ajdovščini odstopa od ostalih postaj po visokem deležu brezvetrja – skoraj 30 %, medtem ko ga je drugje 5-10 %. To je lahko posledica tudi drugačnega tipa merilnika. Sicer večino časa piha z vzhoda (VSV 11 %, V 15 % in VJV 8 %), najmočnejše od novembra do marca, najvišje hitrosti (preko 14 m/s) pa so bile izmerjene februarja iz smeri VSV. Dokaj pogosto piha tudi z zahoda (8 %), vendar so hitrosti bistveno nižje. Sunki vetra so najpogostejši z jugovzhoda in zahoda, a so zelo šibki. Močni sunki (nad 20 m/s) prihajajo iz smeri med JV in SSV v istem obdobju kot visoke povprečne hitrosti.

Zahodni veter večkrat nastopi tudi na strelišču Mlake (Z in ZSZ 14 %), a je tudi tu bistveno močnejši in pogostejši veter iz smeri med V in SV (skupaj 31 %). Hitrosti nad 14 m/s s spremljajočimi sunki nad 25 m/s se pojavljajo skozi vse leto, najpogosteje od oktobra do aprila in najizraziteje iz VSV.

Na DARS-ovi postaji v Vipavi so zastopane vse smeri vetrov. Najpogosteje piha z jugovzhoda, a so hitrosti večinoma nizke. Močan veter s hitrostmi nad 14 m/s je značilen za zimske mesece, zlasti januar, prihaja pa predvsem iz smeri VSV (povprečna hitrost skozi celotno obdobje 7,1 m/s), nekaj manj iz V in SV. Iz istih smeri in v istem obdobju se pojavljajo tudi najmočnejši sunki (nad 25 m/s), opazni pa so tudi iz smeri JJV.

V Zemonu prevladuje severovzhodni veter (SV 22 %, VSV 15 %), ki je tudi najmočnejši. Najvišje hitrosti (nad 14 m/s) dosega od oktobra do marca, najizraziteje februarja, ko so najmočnejši tudi sunki (25 m/s in več). Močno prevladujoča smer najvišjih hitrosti in sunkov je SV, omenimo lahko še VSV in SSV.

Na merilni postaji v Ajdovščini skoraj polovico časa piha iz smeri med JV in SV, pri čemer so hitrosti s severa bistveno višje od tistih z juga. Izmed vseh analiziranih merilnih mest tu najpogosteje nastopajo povprečne hitrosti nad 16 m/s. Pojavljajo se skozi vse leto, a so bistveno pogostejše februarja, poleti pa nastopijo le redko. Značilne so za smeri SV in VSV, spremljajo pa jih sunki, ki presegajo 30 m/s.

Na viaduktu Ribnik več kot polovico meritev odpade na vzhodne smeri vetra (SV 11 %, VSV 16 %, V 16 %, VJV 10 %). Povprečne hitrosti nad 14 m/s ter spremljajoči sunki nad 25 m/s so vezani na smeri med V in SV, najpogostejši so februarja, v ostalem delu leta pa so bolj izjema.

Viadukt Selo je edina od obravnavanih merilnih postaj, kjer prevladuje veter južnih smeri (J 12 %, JJV 12 %, JV 10 %). Najvišje povprečne hitrosti so običajno

zabeležene februarja iz smeri J in JJV. V istem času se pojavljajo tudi najmočnejši sunki, ki so dokaj enakomerno razporejeni na smeri med J in V, lahko tudi do SV.

Na viaduktu Lijak je težko izbrati prevladujočo smer vetra, saj so precej enakomerno zastopane, najvišji deleži pa odpadejo tako na severne (S 9 %, SSZ 8 %), kot tudi južne smeri (J 8 %, JV 7 %). Veter je v splošnem nekoliko močnejši, kadar piha z juga, a tudi takrat hitrosti niso izjemno velike. Hitrosti preko 10 m/s lahko nastopijo kadarkoli v letu in iz katerekoli smeri, vendar se to zgodi zelo redko. Podobno velja za močne sunke.

## Sklepi

Za večino obravnavanih postaj je prevladujoča smer vetra od SV do V, iz teh smeri je veter tudi najmočnejši. Pri nekaterih merilnih postajah, kot npr. Dolenje, Mlake, Ajdovščina, se pojavlja tudi zahodnik, vendar je šibkejši. Za merilni postaji Selo in Lijak, ki ležita v spodnji Vipavski dolini, je veter močnejši z juga, v Selo tudi bolj pogost kot s severa. Vetrovi so najmočnejši v zimskih mesecih, zlasti v februarju, razen v Vipavi, kjer so najmočnejši v januarju in na postaji Lijak, kjer so enakomerni skozi vse leto. Visoke hitrosti so najpogostejše v zgornji Vipavski dolini (merilne postaje v Vipavi, Zemonu in Ajdovščini), v spodnji Vipavski dolini (merilne postaje Bilje, Lijak, Selo) pa so hitrosti nižje.

## Zahvala

Agenciji RS za okolje (ARSO) in Družbi za avtoceste RS (DARS) se zahvaljujemo za podatke. Renatu Bertalaniču iz ARSO se zahvaljujemo za programsko kodo za izris vetrovnih rož. V prispevku so predstavljene vsebine, obravnavane v projektu LIFE15 CCA/SI/000070 – LIFE ViVaCCAdapt. Projekt sofinancirata Evropska komisija ter Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije.

## Viri

Medmrežje 1: <http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/EU%20sofinancira/BOBER/> (15.2.2017)

Medmrežje 2: <http://www.ung.si/sl/novice/1506/mocna-burja-v-vipavski-dolini/> (21.12.2016)

Medmrežje 3: <http://www.windrisk.eu/> (10.1.2017)

Medmrežje 4: <http://www.life-vivaccadapt.si/> (10.3.2017)

RAKOVEC, Jože, ŽAGAR, Mark, BERTALANIČ, Renato, CEDILNIK, Jure, GREGORIČ, Gregor, SKOK, Gregor, ŽAGAR, Nedjeljka. Vetrovnost v Sloveniji. Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU, 2009. 177 str.

# Pomen vetra v jadralnem letenju

U. Bergant, B. Žorž

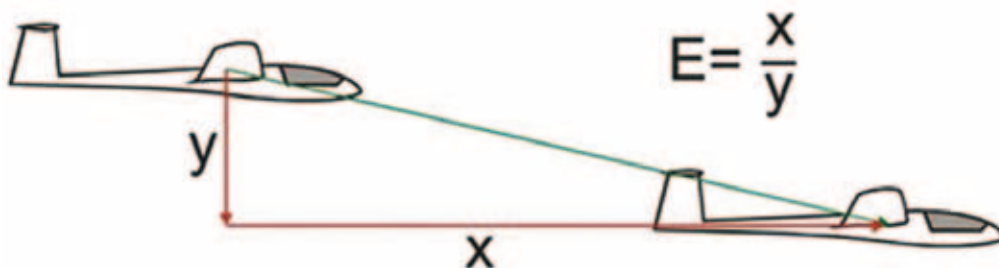
## Uvod

Jadralno letenje je zelo odvisno od vremenskih razmer, še posebej od smeri in hitrosti gibanja zraka oz. vetra. Odvija se v t.i. vizualnih pogojih letenja, ko je baza oblakov dovolj visoko in vidnost dovolj dobra pri odsotnosti vseh vrst padavin. Vetrovne razmere v pogojih vizualnega letenja niso predpisane, kljub temu pa igrajo pri jadralnem letenju ključno vlogo, tako v smislu varnosti letenja kot razmer za jadranje.

Z vidika varnosti je pomembno, da hitrost vetra ne presega najvišje hitrosti jadralne naprave skozi zrak. Le tako je jadralna naprava v vsakem trenutku vodljiva v smer, ki jo določa pilot. V praksi se letenje zaradi varnosti opušča že pri precej nižjih hitrostih vetra. Močnejši veter v določenih pogojih povzroča tudi turbulenco - kaotično gibanje zraka, ki v

jadralnem letenju večinoma ni zaželena, saj povzroča nemirno letenje, težje vodenje, v določenih primerih pa lahko vodi tudi do poškodb jadralne naprave in v izjemnih primerih tudi do nesreč.

Z vidika pogojev za jadranje je v določenih primerih veter zaželen, v določenih primerih pa moteč. Kadar ni termičnih dviganj, je veter za jadranje nujno potreben. Ko veter piha proti gorski pregradi, se zrak dvigne čez njo. Jadralni piloti to dviganje izkoriščajo za pridobivanje višine. Zrak se za gorsko pregrado spušča ter v določenih pogojih kasneje spet dvigne. Nastanejo zavetrni valovi, ki prav tako omogočajo jadranje. Nekatere jadralne naprave lahko izkoriščajo tudi dviganje zraka v vrtincih oz. rotorjih večjih dimenzij, ki nastanejo v zavetrju gorskih pregrad, vendar je tako letenje zaradi turbulence zelo naporno in v določenih pogojih tudi nevarno.



Slika 1. Finesa jadralnega letala.

## Princip delovanja jadralnih naprav

Jadralna naprava nima lastnega pogona. Za gibanje izkorišča silo teže. Sila teže deluje navpično navzdol, jadralna naprava pa tok zraka preusmeri nazaj, kar jo pospeši naprej. Po določenem času se sila teže in aerodinamična sila na jadralno napravo izenačita, jadralna naprava leti v t.i. drsnem letu. V drsnem letu se jadralna naprava giblje s stalno hitrostjo skozi zrak in pod določenim drsnim kotom proti tlom. Razmerje med preleteno razdaljo in izgubljeno višino imenujemo drsno razmerje ali finesa jadralne naprave (slika 1).

## Tipi jadralnih naprav

Poznamo več tipov jadralnih naprav, ki se močno razlikujejo po velikosti, teži in aerodinamičnih lastnostih, posledično pa tudi po svojih sposobnostih in vplivu vetra nanje.

Najlažja jadralna naprava je jadralno padalo, ki tehta okoli 5 kg, površina krila pa je okoli 25 m<sup>2</sup> (slika 2). Drsno razmerje jadralnih padal je okoli 10, torej lahko v mirnem zraku z višine enega kilometra preletijo okoli 10 km daleč. Značilne horizontalne hitrosti jadralnih padal so med 30 in 60 km/h.



Slika 2. Jadralno padalo.

Jadralni zmaji tehtajo okoli 30 kg, površina krila je okoli 15 m<sup>2</sup>, drsno razmerje pa okoli 15 (slika 3). Značilne hitrosti jadralnih zmajev so med 40 in 120 km/h.



Slika 3. Jadralni zmaj.

Jadralna letala tehtajo okoli 250 kg, površina kril je okoli 10 m<sup>2</sup>, drsno razmerje pa okoli 50 (slika 4). Značilne hitrosti jadralnih letal so med 60 in 280 km/h.



Slika 4. Jadralno letalo.

### Vpliv vetra na sposobnosti jadralne naprave

Horizontalno gibanje zraka na hitrost padanja naprave nima vpliva. Prav tako ne vpliva na hitrost gibanja jadralne naprave skozi zrak. Zaradi horizontalnega gibanja zraka pa se spremeni horizontalna hitrost gibanja jadralne naprave glede na tla ter s tem tudi drsno razmerje. Tako se npr. pri čelnem vetru s hitrostjo 20 km/h jadralnemu padalu drsno razmerje razpolovi. Obratno se pri hrbtnem vetru hitrost letenja glede na tla poveča, prav tako se izboljša tudi drsno razmerje.

Za vzdrževanje ali povečevanje višine jadralne naprave je torej nujno potrebno vertikalno gibanje zraka. Če se zrak dviguje s hitrostjo 1 m/s, jadralna naprava lahko vzdržuje višino in teoretično preleti neomejeno razdaljo. V resnici so območja dvigajočega zraka

omejena. Jadralni piloti v takih področjih običajno s kroženjem naberejo višino ter v drsnem letu letijo proti naslednjemu področju dvigajočega zraka.

### Vpliv vetra na varnost jadralnega letenja

Če horizontalna hitrost vetra preseže hitrost letenja jadralne naprave skozi zrak, jadralna naprava, ki je obrnjena točno v veter, glede na tla leti vzvratno. Tako letenje je zelo nevarno, saj pilot jadralne naprave ne more usmerjati tja, kamor bi želel, npr. na primeren pristajalni prostor. Hitrost jadralne naprave skozi zrak je torej absolutna zgornja meja hitrosti vetra, nad katero letenje postane zelo nevarno. Za jadralna padala je to okoli 40 km/h, jadralne zmaje okoli 60 km/h, jadralna letala pa okoli 120 km/h. V praksi se običajno izogibamo letenju pri vetru, ki presega polovico te hitrosti.

S hitrostjo vetra se povečuje tudi t.i. mehanična turbulenca, ki nastane v zavetrju ovir, zaradi hrapavosti tal ter v plasteh s striženjem vetra. Turbulenca pomeni kaotično gibanje zraka, ki lahko močno oteži vodenje jadralne naprave, v določenih primerih pa lahko povzroči celo poškodbe na jadralni napravi. Pri jadralnem padalstvu lahko turbulenca povzroči zapiranje kupole, kar je v bližini tal lahko zelo nevarno, saj pilot nima možnosti, da bi kupolo spet pravočasno odprl. Na sliki 5 je jadralno padalo, kjer je zaradi turbulence prišlo do delnega zapiranja kupole. Pilot je moral s pravilno reakcijo zagotoviti ponovno odpiranje kupole ali pa uporabiti rezervno reševalno padalo.

Jadralni zmaj se lahko v močni turbulenci prevrne naprej (angleško thumbing), pilot pa pade na krilo. Jadralna letala so na močno turbulenco najbolj odporna, kljub temu pa lahko pride v izjemnih primerih do mehanskih poškodb kril ali repnih površin. Take situacije navadno zahtevajo izmet rezervnega padala, ki pa je zadnja možnost s precej nepredvidljivimi posledicami. Letenje v močnejši turbulenci je psihično



Slika 5. Jadralno padalo z delno zaprto kupolo.

in fizično naporno, tako da se mu večina pilotov izogiba. Turbulenci se lahko izognemo pri letenju v šibkem vetru, letenju na privetni strani gorskih ovir ter proč od tal in izven plasti s striženjem vetra.

## Vpliv vetra na pogoje za jadranje

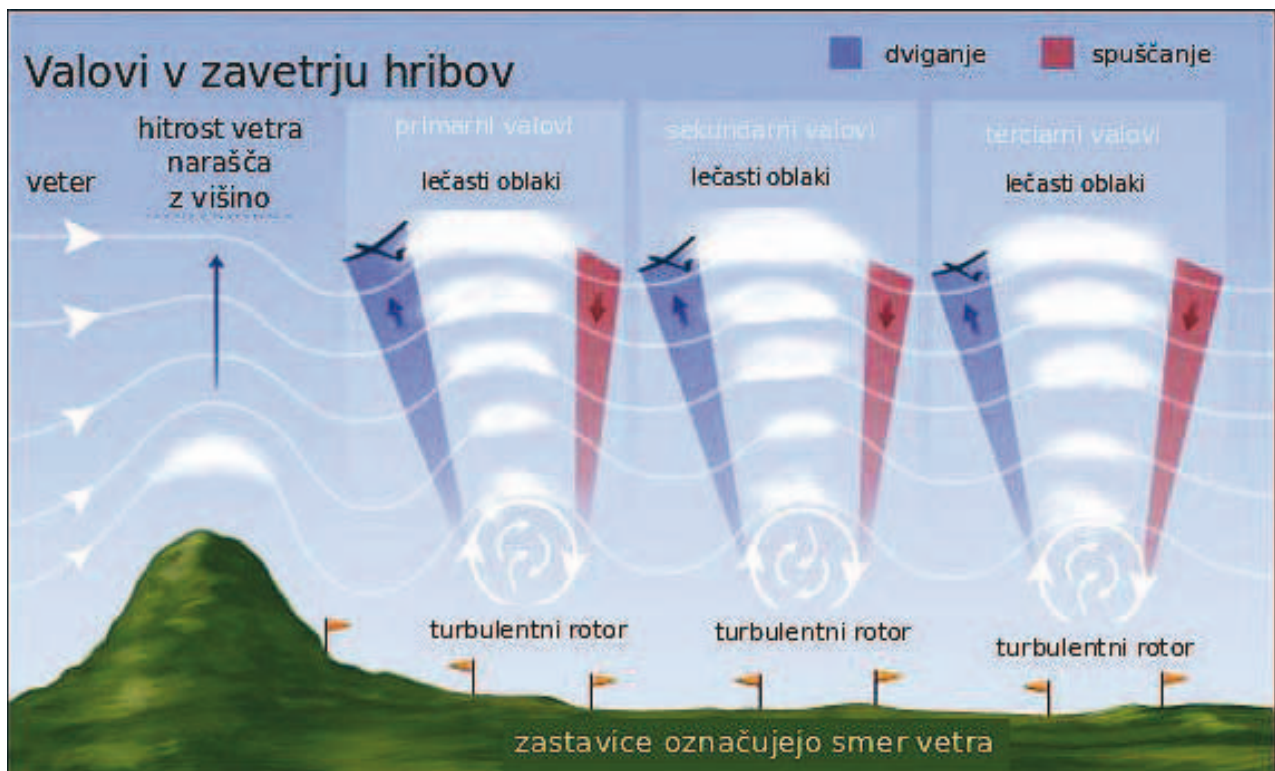
V sodobnem jadralnem letenju izkoriščajo večinoma termične vzgornike, pri čemer se od tal segret zrak dviguje v obliki zračnih balonov ali stebrov, kar jadralnim napravam omogoča dviganje. Veter za nastanek termičnih vzgornikov ni potreben. Šibak veter do 20 km/h je sicer ugoden za proženje termičnih dviganj, večje hitrosti pa onemogočajo lokalno pregrevanje zraka in s tem nastanek močnih termičnih stebrov. Močnejši veter termične stebre zanaša in jih zaradi turbulence raztrga. Za termično jadranje je torej močnejši veter večinoma moteč.

Nasprotno je za pobočno jadranje veter nujno potreben. Pri pobočnem jadranju se ob vetru zrak dvigne preko gorske pregrade in jadralnim napravam omogoča dviganje. Pobočno jadranje se izkorišča večinoma ob dnevih, ko termično jadranje ni mogoče, npr. ob oblačnem ali zelo stabilnem vremenu, ki ne omogoča nastanka termičnih vzgornikov. Veter mora biti zadosti močan ter pihati čim bolj pravokotno na gorsko pregrado. Gorske pregrade morajo biti

praviloma daljši grebeni, da jih zrak ne more obiliti. Osamljeni hribi so večinoma neprimerni ali pa je pas dvigajočega zraka zelo ozek. Za vzdrževanje višine jadralne naprave morajo biti hitrosti vetra nad 10 km/h. Višje hitrosti vetra omogočajo pridobivanje višine, vendar so lahko za določene naprave že prevelike. Za jadralna padala so hitrosti nad 30 km/h lahko že nevarne, za jadralna letala pa ravno pravšnje.

Na zavetrni strani hriba se ob močnejšem vetru pojavita še dve obliki vzgornika, ki pa se redkeje izkoriščata in sta navadno dostopna le pilotom jadralnih letal, saj je hitrost vetra za jadralna padala in jadralne zmaje že prevelika. Pri hitrostih nad 50 km/h in stabilnem ozračju se zrak v zavetrju gorske pregrade najprej spusti, potem pa spet dvigne. Ta vzorec se lahko večkrat ponovi, nastane zavetrno valovanje (slika 6). Če hitrost vetra z višino narašča, lahko zavetrni valovi večkrat presežejo višino ovire ter omogočajo jadranje celo do stratosfere. Na sliki 7 je prikazano letenje na zavetrnih valovih.

Pod zavetrnimi valovi se običajno pojavijo veliki vrtinci zraka (rotorji) značilnih dimenzij velikosti gorske pregrade in osjo vrtenja, ki je vzporedna z gorsko pregrado. Letenje v njih omogoča hitro dviganje in priključek na zavetrne valove, vendar zaradi spremljajoče turbulence predstavlja izziv tudi pilotom jadralnih letal.



Slika 6. Zavetrni valovi.



Slika 7. Jadranje na zavetrnih valovih.

## Idealen veter za prelete z jadralnimi napravami

Ob pojavu jadralnih naprav in začetkih jadralnega letenja so bile sposobnosti jadralnih naprav zelo slabe. Takrat je bil prvi cilj jadralnega letenja čim dlje ostati v zraku. S povečevanjem sposobnosti jadralnih naprav in povečevanjem razumevanja in boljšega napovedovanja vremena pa so piloti želeli leteti tudi čim dlje in čim hitreje. V jadralnem letenju

takemu načinu letenja pravimo prelet. Običajno je čas letenja omejen z dolžino dneva, v katerem pilot skuša preleteti čim večjo razdaljo. V tekmovalnem letenju pa se vnaprej določijo obratne točke, ki jih je potrebno čim hitreje obleteti.

Pri točkovanju preletov so največ vredni preleti v obliki t.i. trikotnika FAI (Federation Aeronautique Internationale, mednarodna letalska zveza), ki ne sme biti preveč ploščat, najkrajša stranica ne sme biti



Slika 8. Svetovni rekord v preletu z jadralnim padalom v Braziliji.

krajša od 28 % dolžine celotnega trikotnika. Letenje po takem trikotniku zahteva letenje ves čas po novem terenu, prav tako pa se vsaj del letenja odvija proti vetru, kar je najbolj zahtevno. Za te vrste preletov je ugodno, da je vetra čim manj. Z jadralnim padalom so bile v trikotniku dosežene razdalje prek 300 km, z jadralnim letalom pa prek 1750 km.

Preleti vrste cilj-povratak so po vrednosti na drugem mestu. Običajno jih izvajajo vzdolž daljših gorskih verig, ki so praviloma obrnjene v smeri vzhod-zahod, kar je ugodno za nastanek termičnih vzgornikov na sončni strani grebena. Tak prelet pa so možni tudi brez termičnih vzgornikov ob dovolj močnem vetru, ki piha pravokotno na gorsko verigo. Veter mora biti ravno prav močan za nastanek dovolj močnega pobočnega vzgornika, ne pa premočan za določeno jadralno napravo. Prav tako se ob močnejšem bočnem vetru zmanjša hitrost napredovanja vzdolž grebena. V letu med tremi točkami je svetovni rekord pri jadralnih letalih čez 3000 km. Odleten je bil v Argentini na zavetrnih valovih na višinah med 4000 in 9000 m. Čas preleta je omejen s sončnim vzhodom in zahodom.

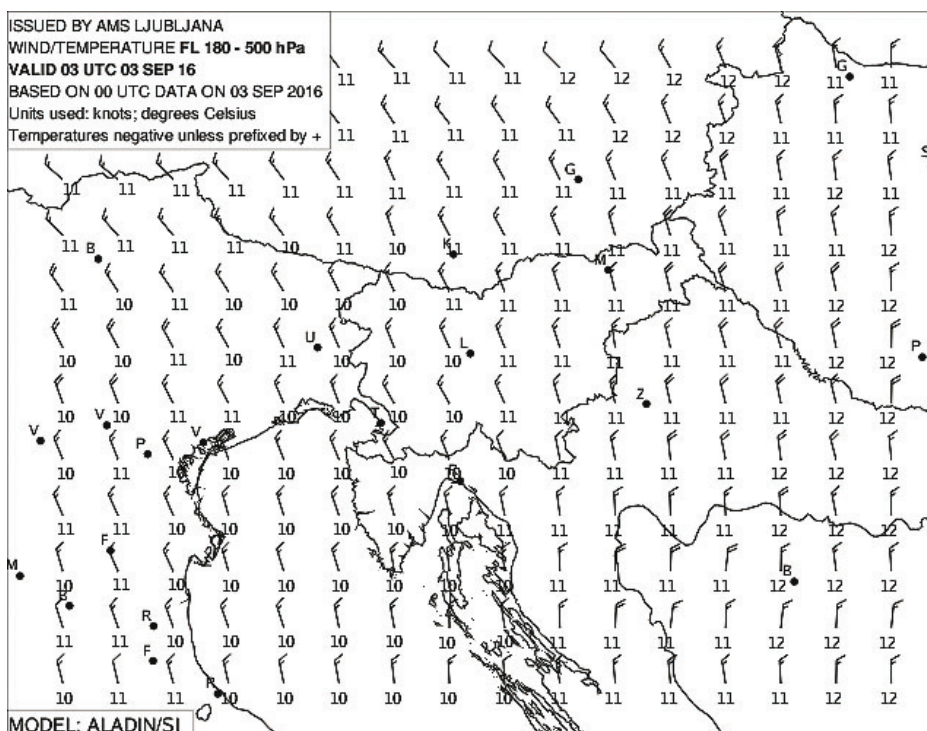
Najmanj so vredni (ne pa tudi cenjeni) preleti v ravni črti. Pri tem se smer letenja praviloma izbere v smeri vetra, saj hrbtni veter povečuje hitrost letenja in izboljšuje drsno razmerje. Tako letenje se večinoma odvija v termičnih vzgornikih na ravninskih terenih, kjer je manj mehanične turbulence, kar omogoča razmeroma varno letenje pri višjih hitrostih vetra. Z jadralnim padalom so bile na ta način dosežene razdalje preko 550 km, z jadralnim zmajem pa preko 750 km.

Na sliki 8 je zapis GPS za svetovni rekord v preletu z jadralnim padalom na severovzhodu Brazilije 13. oktobra 2016. Pilot je v 12 urah preletel razdaljo 564 km. Pri tem je izkoriščal termična dviganja za pridobivanje višine, v ravnem letu pa so mu pomagali vzhodni pasatni vetrovi, ki v teh zemljepisnih širinah pihajo zelo zanesljivo. Brez vetra bi bila preletena razdalja približno pol manjša.

## Napovedovanje vetra

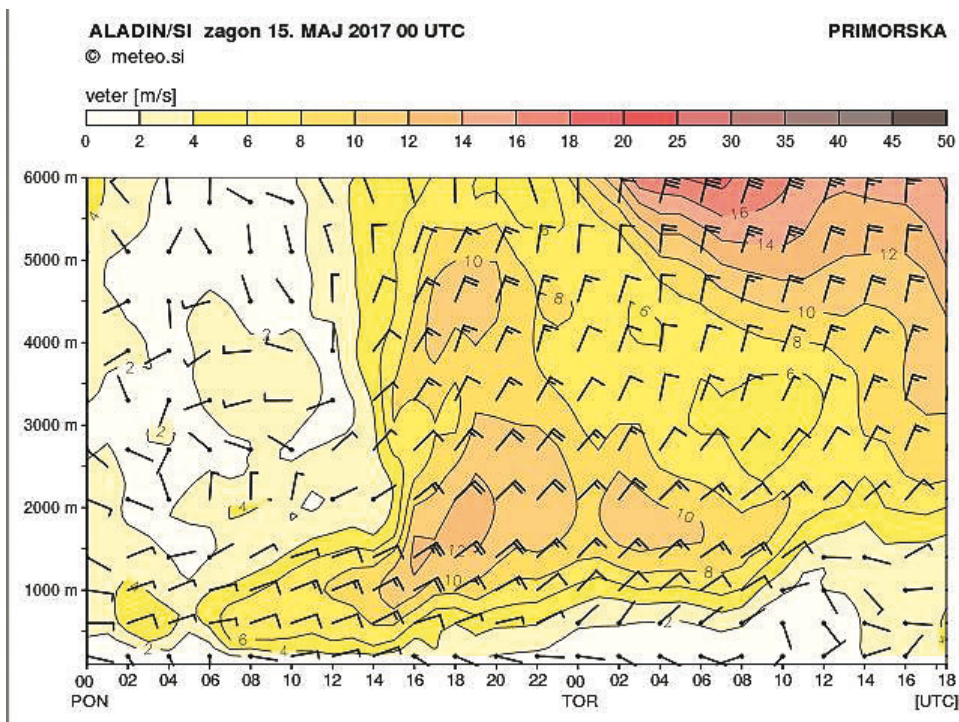
Veter napovedujemo s pomočjo meteoroloških modelov. Za dobre napovedi vetra je zelo pomembna natančnost prikaza površja. Gostejša kot je mreža modelskih točk, bolj realno je površje, ki ga model uporablja, še vedno pa je to le približek in ne dejansko stanje v naravi. V splošnem je veter precej dobro napovedljiva količina. To pomeni, da se rezultati meteoroloških modelov običajno dobro ujemajo z dejanskim stanjem. Treba pa je upoštevati, da na veter vpliva precej lokalnih dejavnikov in da lahko prihaja do večjih odstopanj glede na površje v naravi, posebno v hribovitih območjih. V višinah je napoved vetra precej dobra, niže pa je zaradi vpliva tal slabša.

Modeli dobro napovedujejo splošen veter, ne znajo pa dobro upoštevati lokalnih procesov, na primer dolinskih vetrov. Ti nastanejo kot posledica termike v hribovih. Nad s soncem obsijanimi pobočji se zrak dviga, zato ga pri tleh nadomešča zrak iz spodnjega dela doline in s tem povzroči nastanek dolinskega vetra. Ta čez dan vedno piha od nižjega proti višjemu delu doline. Tudi ob sami termiki prihaja do sprememb vetra. Ko se balon toplega zraka odlepi od tal in potuje



Slika 9. Karta temperatur in vetrov na višini 18000 čevljev.





Slika 10. Karta vetrov po višini za Primorsko za dva dni.

navzgor, ga nadomešča okoliški zrak, zato bo veter zapihal od spodnjega proti zgornjemu delu doline.

Tudi ob nevihtah je veter lahko zelo drugačen od splošnega, saj pogosto piha iz povsem druge smeri kot splošni veter. Razlog za to so zelo močna dviganja in spuščanja v nevihtnem oblaku, ki povzročijo, da na nekaterih delih zrak srka v oblak, na drugih delih pa piha iz njega. Pri tleh se ti tokovi obrnejo vodoravno in zato na nekaterih delih pri tleh piha proti nevihtnemu oblaku, drugje stran od njega. Ti vetrovi so zelo nevarni, saj dosegajo precejšnje hitrosti in so lahko nepredvidljivi. Dodatna težava je, da ne moremo dovolj natančno napovedati posameznih neviht niti krajevno niti časovno in torej tudi ne z njimi povezanih vetrov.

Ob močnem vetru v zavetrju hribov je veter spremenljiv ob rotorjih. Ne glede na splošen veter lahko občasno piha tudi v nasprotni smeri.

Zaradi omenjenih razlogov modelski izračuni služijo kot ocena splošnega vetra, posebno v zapletenem gorskem terenu pa se lahko dejansko stanje vetra zelo razlikuje od napovedanega.

### Meteorološki produkti za veter

Veter lahko na vremenskih kartah predstavimo na več načinov, vsak pa ima nekaj dobrih lastnosti in nekaj pomanjkljivosti. Zaradi zgodovinskih razlogov obstaja nekaj vrst kart, ki so precej standardizirane in jih v podobni obliki lahko dobimo povsod po svetu, recimo karte značilnega vremena in karte vetra in temperatur. To so karte za neko območje

za določen čas in višino, ki prikazujejo vetrovno polje in polje temperature. Tu imamo pregled nad dvodimenzionalnim vetrovnim poljem na določeni višini, vendar potrebujemo precejšnje število kart, če želimo pregledati veter na različnih višinah in ob različnih časih. Lahko se omejimo samo na Slovenijo z okolico, lahko pa prikažemo večje geografsko območje. Po višinah uporabljamo standardne nivoje leta v letalstvu, na primer 5000 in 10000 čevljev, kar ustreza približno 1500 in 3000 m. Na sliki 9 je primer karte temperatur in vetrov na višini 18000 čevljev, kar je 500 hPa oz. približno 5500 m. Veter je ponazorjen z vetrovnimi zastavicami, kjer je smer vetra od repa proti konici, hitrost vetra pa je ponazorjena s črticami in zastavicami na repu. Mala črtica pomeni 5 vozlov (približno 10 km/h), velika črtica 10 vozlov (približno 20 km/h) in trikotnik 50 vozlov (približno 100 km/h). Dve veliki in ena manjša črtica torej pomenijo hitrost vetra 25 vozlov. Temperatura je predstavljena s številkami. Namesto točkovno bi lahko veter in temperaturo predstavili tudi kot polje in zaradi preglednosti tudi obarvali glede na hitrost vetra oz. temperaturo.

Lahko pa se odločimo za prikaz vetra v neki točki. Na navpično os nanašamo veter po višini, na vodoravni pa se premikamo po času. Na ta način dobimo zelo dober pregled vetra po višini in času, nevarnost pa je, da je ravno v tej točki kakšna posebnost in veter ni ravno najbolj značilen za neko območje. Če je točka npr. v zavetrju ovire, je izračunani veter lahko bistveno šibkejši od dejanskega. Na sliki 10 je primer karte vetrov za primorsko regijo. Veter je ponazorjen z vetrovnimi zastavicami, hitrost vetra pa je prikazana tudi z barvno lestvico.

**Računska napoved višinskih vrednosti  
ALADIN/SI zagon 15 05 2017 00 UTC**

**PRIMORSKA**

**Temperatura [°C]**

8000m	-36	-37	-37	-37	-37	-36	-37	-35	-33	-33	-32	-32	-31	-31	-31	
5000m	-14	-14	-14	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-12	-10	-10	-10	-9	
3000m	0	-1	-1	-1	-2	-1	-1	0	0	0	-1	-1	0	1	1	
2500m	4	3	2	2	1	2	3	3	3	3	3	3	3	4	4	
2000m	7	6	6	5	5	6	7	7	6	6	6	7	6	7	7	
1500m	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10	9	9	10	11	10	
1000m	14	14	13	13	13	14	13	13	13	13	13	13	15	15	15	
700m	17	17	16	17	18	18	17	16	17	17	16	18	19	20	19	
SFC	15	15	18	21	22	22	19	17	14	13	16	22	24	24	21	
UTC	00	03	06	09	12	15	18	21	00	03	06	09	12	15	18	
	PON								TOR							

**Smer in hitrost vetra [KT]**

8000m	253	291	326	001	327	264	275	021	025	011	013	015	017	012	009	
	11	7	8	6	4	11	10	41	59	52	49	48	46	40	39	
5000m	297	350	328	000	343	009	026	023	004	003	012	016	017	007	010	
	8	2	1	2	5	12	18	15	12	16	22	26	24	23	28	
3000m	296	202	246	276	108	041	030	036	036	019	026	026	021	017	010	
	2	3	4	7	1	16	14	19	15	15	11	10	12	17	19	
2500m	123	169	322	298	043	040	039	043	042	031	042	039	035	025	023	
	4	3	4	4	6	11	18	21	17	17	13	10	13	15	17	
2000m	112	080	004	353	064	063	046	046	043	041	053	053	047	048	033	
	5	1	7	8	4	8	23	23	19	20	17	15	13	12	13	
1500m	120	061	043	053	075	068	051	047	045	045	056	055	067	060	049	
	4	4	3	5	9	13	24	20	18	21	20	17	7	8	7	
1000m	104	081	075	069	068	063	058	054	043	046	056	056	143	107	075	
	6	7	6	11	16	21	18	15	12	14	14	9	4	5	6	
700m	090	072	080	070	070	071	070	068	048	048	053	104	142	116	095	
	5	11	9	15	14	16	8	8	5	4	4	1	2	5	9	
SFC	105	137	191	086	076	094	115	096	098	122	118	217	048	052	098	
	1	2	2	5	6	5	3	3	2	1	1	1	1	4	5	
UTC	00	03	06	09	12	15	18	21	00	03	06	09	12	15	18	
	PON								TOR							

Slika 11. Temperatura in veter nad Primorsko za izbrani primer.

Podatki so lahko na voljo tudi v obliki preglednice, kot to prikazuje slika 11.

Vse napovedi za letalstvo za Slovenijo in bližnjo okolico so dostopne na spletni strani Državne meteorološke službe: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/aviation/> (slika 12).

Na tej strani si lahko ogledamo trenutno vreme po letališčih in napovedi za letališča v skrajšani besedilni obliki (METAR in TAF). Na naslednjem zavihku imamo karte značilnega vremena ter karte vetrov in temperatur za različne časovne termine ter različne nivoje leta. Sledijo napovedi za odprtost zračnih poti vrste GAFOR ter podatki o vzidu in zaidu Sonca v različnih krajih.

Zelo pomemben zavihek so Opozorila. Če so v veljavi opozorila za letalstvo glede neviht, turbulence, zaledenitev ali zavetrnih valov, so predstavljena tu, v besedilni in slikovni obliki.

Sledi sklop produktov za jadralce. Tu najdemo besedilno napoved, vertikalno sondažo (navpični presek) ozračja, veter na različnih višinah v slikovni obliki in sklop napovedi termike po regijah. Sem spadajo napoved termike za dva dni po urah in višini, časovni potek vetra in vlage po višini. Veter in temperatura po višini sta na voljo tudi v obliki preglednice. Zelo uporabne so tudi radarske in satelitske slike, pa tudi z mrežo spletnih kamer si lahko ustvarimo dobro sliko o vremenu.

Ministrstvo za okolje in prostor  
**Agencija Republike Slovenije za Okolje**

**meteo.si**  
 Uradna vremenska napoved za Slovenijo

Mobilno Državna meteorološka služba

meteo.si > Pregled > Letalstvo

PODATKI	LETALSKE KARTE	VFR	OPOZORILO	JADRALCI

**Letalstvo**

- Pregled
- Opozorila
- Vreme
- Vreme podrobneje
- Letalstvo**
- Podnebje
- Agrometeorologija
- Arhiv meritev
- XML/RSS/HTML
- Povezave
- Pogosta vprašanja
- Novice / Zanimivosti
- O spletnih straneh

Spremljajte nas:

[meteo.si](#)  
 @meteoSI

Od torika do petika bo verjetnost padavin zelo majhna. Kosci na plani!

[meteo.si](#)

**Radar**

**Nižinska karta**

**Satelit**

**spletne kamere**  
 NOTAH: A B C

OPIS NAVODILO UPORABE [pdf, 419KB] PRINT

[Novice](#)
[Prognoza: tel. 04 280 45 00](#)
[Navodilo uporabnikom](#)
[Povezave](#)
[Omejitve odgovornosti](#)

Slika 12. Spletna stran ARSO za letalstvo.

# 15. Letno srečanje Evropske meteorološke zveze in 12. Evropska konferenca o aplikacijah v meteorologiji

Tanja Cegnar



Pogled iz konferenčnega centra na Sofijo. (Foto: T. Cegnar)

Konferenca je potekala od 7. do 11. septembra 2015 v Sofiji. Bolgarija je bila prva izmed držav vzhodnega Balkana, ki je gostila letno srečanje Evropske meteorološke zveze (EMS). Udeležilo se ga je 497 strokovnjakov iz 40 držav; največ jih je bilo iz Nemčije, in sicer 83, iz Združenega kraljestva 45, 40 iz države gostiteljice, 36 iz Španije, po 25 iz Italije in Finske, po 23 iz Francije in Nizozemske, po 17 iz Češke in Švice. Iz Avstrije se je prijavilo 14 udeležencev. Že tradicionalno se vsako leto dogodka udeleži tudi skupina meteorologov iz ZDA, v Sofiji jih je bilo 9. Iz Slovenije sva se konference udeležila z dr. Gregorjem Skokom s Katedre za meteorologijo, kar našo državo po udeležbi postavljata ob bok Braziliji, Cipru, Izraelu in Slovaški.

Vodilna tema konference se je glasila »Nevarni vremenski dogodki in hidrološka tveganja: od opazovanj do blaženja učinkov«. Vzporedno so potekale kar štiri sekcije. Zato je bilo nemogoče slediti celotnemu dogajanju na konferenci. Poleg rednega programa konference je bilo tudi nekaj vzporednih dogodkov.

Kot voditeljica delovne skupine za medije in komunikacijo se redno udeležujem sestankov Sveta EMS, kar

mi omogoča pregled nad dejavnostjo EMS in možnost neposrednih predlogov za širjenje dejavnosti EMS, kljub temu da nimam glasovalne pravice. Pomembne usmeritve EMS se sprejemajo na sestankih Sveta. Tokrat smo veliko časa namenili analizi delovanja EMS in strategiji za nadaljnje delovanje, vendar dokumenta nismo sprejeli, saj smo predlagali nekaj pomembnih pripomb in izboljšav.

Generalna skupščina je kot najvišji organ upravljanja EMS pomembna iz organizacijskega vidika delovanja zveze, saj potrjuje usmeritve Sveta o dejavnosti EMS in odobrava poročila ter plane finančnega poslovanja. Na letni generalni skupščini EMS, ki je potekala dan pred konferenco, sem zastopala SMD in poročala o dogodku ob 60. obletnici SMD.

Konferenca ponuja obilico raznolikega dogajanja. V nadaljevanju podajam kratek pregled dejavnosti, v katere sem bila vključena. Poleg opisanih dogodkov je bilo na konferenci še veliko zanimivih in za razvoj meteorologije v Evropi ključnih dogodkov. Konferenca ponuja odlične možnosti mreženja in spoznavanja sodobnih trendov v meteorologiji, je pa tudi priložnost za primerjavo s tujimi dosežki.

## Nagrade s področja medijev in komunikacije

Svet EMS vsako leto imenuje odbore za izbor medijskih nagrajencev. Nagrade za medijske dosežke so štiri, vendar vsako leto podelimo le tri, saj se nagradi za najboljši novinarski dosežek in za izjemno kariero meteorologa v medijih podeljujeta izmenično v dvoletnem ciklu. V Sofiji smo podelili nagrado za najboljšo TV vremensko napoved Špancu Martínu Barreiro Carreira, ki je svojo odlično podano napoved popestril z razlago o plimi in vplivu vremenskih razmer na valovitost oceana ter o erozijskih učinkih valov na obalo. Rodil se je leta 1977 in diplomiral iz fizike na Univerzi Santiago de Compostela. Med letoma 2002 in 2010 je delal kot napovedovalec vremena in razvijalec numeričnih meteoroloških modelov v regionalnem centru Meteogalicia. V tem obdobju je že nastopal tudi kot napovedovalec vremena na televizijski postaji Galicia TVG. Leta 2010 se je pridružil TVE (Španska državna televizija). Martín Barreiro je specialist za pomorsko meteorologijo. Za nagrado se je potegovalo 19 kandidatov.

Nagrado za najboljši novinarski članek s področja meteorologije je prejel Stéphane Foucart, ki v francoskem časopisu "Le Monde" redno objavlja članke o podnebnih spremembah in njihovem vplivu na družbo in gospodarstvo. Njegove članke odlikujejo strokovna neoporečnost in široka razgledanost ter odkrivanje manj očitnih povezav med podnebnimi spremembami in družbenimi ter gospodarskimi dogodki.

Nagrada za najboljši projekt s področja komunikacije s široko javnostjo je pripadla »Festivalu vreme, umetnost in glasba« (Festival of Weather, Arts and Music) pod vodstvom Pierrette Thomet Stott. Festival združuje umetnost, glasbo in meteorološko znanost. Do podelitve nagrade so imeli tri zelo uspešne dogodke, na katerih so se srečali zelo različni deležniki. Prvi festival so organizirali leta 2012, udeležilo se ga je



okoli 1000 ljudi. Ponudili so raznolike dejavnosti, kot so vremenski sejem, glasbeni recitali, vprašanja in odgovori o podnebnih spremembah, umetniška razstava, vremenska klinika in rekonstrukcija Lewis Fry Richardsonove »tovarne napovedi«. Odkrili so izvirne načine za komunikacijo in prepletanje lepega z zanimivostmi s področja meteorologije in s tem pripomogli k izboljšanju razumevanja meteorologije med splošno javnostjo.

Posebej smo izpostavili tudi fundacijo »We are water« za njeno delo na področju ozaveščanja javnosti o uporabi vode in pomoč državam v razvoju pri zagotavljanju sanitarne in pitne vode. Delo fundacije izstopa s humanitarnim delom in ozaveščanjem javnosti, a tudi s festivalom kratkih umetniških filmov na temo pomena vode in podnebnih sprememb.

Na konferenci v Sofiji so prvič podelili nagrado za izjemen prispevek k delovanju EMS. Nagrade sem se razveselila in jo sprejela kot zavezo k še bolj zavzetemu delovanju. Kot ustanovni član EMS že vse od začetka aktivno prispevam k uspehom EMS na področju komuniciranja in pri organizaciji ter izvedbi konferenc.

## EMS srebrna medalja

Na konferenci redno podeljujemo EMS srebrno medaljo za izjemne znanstvene dosežke. Dobitnik tega priznanja v Sofiji je bil Anton Eliassen za svoj izjemen prispevek k razvoju meteorologije v Evropi in svetu. Opravil je pionirsko delo na področju uvajanja dostopa do meteoroloških podatkov brez plačila in s tem prispeval k boljšim meteorološkim storitvam in ozaveščenosti javnosti o meteorologiji ter okoljskih tematikah. Na mednarodnem področju je odigral ključno vlogo pri pripravi in uveljavitvi Konvencije o čezmejnem širjenju onesnaženja zraka na velike razdalje. Sodeloval je pri upravljanju in razvoju številnih evropskih meteoroloških institucij, kot so Evropski center za srednjeročne napovedi vremena



Na levi sliki so strokovnjaki za komunikacijo, na desni pa Jay Trobec predava o prekinitvi programa, ko meteorolog na televiziji KELO objavi opozorilo o nevarnem vremenskem dogodku. (Foto: T. Cegnar)



Anton Eliassen, dolgoletni direktor norveške državne meteorološke službe, prejemnik srebrne EMS nagrade. (Foto: T. Cegnar)

(ECMWF), Evropska interesna skupina za področje meteorologije (ECOMET), Evropska organizacija za uporabo meteoroloških satelitov (EUMETSAT), na svetovni ravni pa Svetovna meteorološka organizacija (SMO).

Pregled zaslug nagrajenca je podal Alain Ratier, generalni direktor EUMETSATA.

EMS srebrno medaljo kot priznanje k izjemnim prispevkom k razvoju meteorologije v Evropi so prvič podelili leta 2008. V preteklosti so nagrado prejeli Karin Labitzke (Nemčija), René Morin (Francija), Lennart Bengtsson (Švedska/Nemčija), David Burridge (Združeno kraljestvo), Jean-François Geleyn (Francija/Češka), Tim Palmer (Združeno kraljestvo), Hartmut Grassl (Nemčija) in Peter Lynch (Irska).

### Delavnica o komuniciranju podnebnih sprememb

S podporo SMO, natančneje g. Michaela Williamsa, ki vodi stike z javnostmi pri SMO, sem izpeljala enodnevno delavnico na temo, kako podajati dogajanje v zvezi s podnebnimi spremembami javnostim. Delavnica je potekala v sredo, 9. septembra. Udeležba je bila možna le na osnovi vabila. Pritegnila sem širok spekter udeležencev. Med 29. udeleženci so bili vrhunski znanstveniki, kot je dr. Peter Stott, predstavnik za komuniciranje Ameriškega meteorološkega društva (AMS), nekaj napovedovalcev vremena, predstavniki služb za komuniciranje z javnostmi evropskih meteoroloških služb, med njimi tudi meteorološke službe Združenega kraljestva (UK Met Office), strokovnjakinji za komunikacijo ECMWF, klimatolog iz nemške meteorološke službe (DWD), prejemniki EMS nagrad za medije, predstavnik fundacije "We are water", vodja odnosov z javnostmi SMO in drugi. Izmenjali smo primere dobre prakse in predstavili svoje načrtovane projekte za veliko

podnebno konferenco, ki je bila v Parizu decembra 2015. Delavnica je bila po oceni sodelujočih zelo uspešna in koristna za izmenjavo izkušenj in primerov dobrih praks.

### Organizacijski odbor konference v Trstu septembra 2016

Kot članica organizacijskega odbora za konferenco EMS/ECAC 2016, ki je bila v Trstu septembra 2016, sem predlagala uvedbo sekcije o upravljanju s kakovostjo in institucionalnimi vidiki ter certifikati o strokovni usposobljenosti za posameznike. Kakovostno vodenje in izboljševanje zmogljivosti je zadnja leta popularno tudi med državnimi meteorološkimi službami in v SMO. Oživila sem sekcijo za prilagajanje na podnebne spremembe in ohranila vse običajne sekcije v svoji domeni. Z italijanskimi kolegi smo se dogovorili o sodelovanju pri izvedbi vzporednih dogodkov za širšo javnost.

### Sekcija za medije in komunikacijo

Sekcijo za medije in komuniciranje organiziram vsako leto že vse od prve EMS konference dalje. V Sofiji smo začeli s predstavitvijo Martina Barreira, dobitnika nagrade za najboljšo TV vremensko napoved, ki smo jo tudi predvajali. Nadaljeval je meteorolog slovenskega porekla, ki vodi skupino meteorologov na privatni TV postaji KELO v Južni Dakoti. V primeru nevarnega vremenskega dogodka, ki ga na njihovem območju sestavljajo predvsem tornadi, lahko kadarkoli prekine TV spored z vremenskimi informacijami. Finec Atte Harjanne je analiziral obnašanje uporabnikov spletnih meteoroloških informacij. Grk Panos Giannopoulos je predstavil uporabo Twitterja za širjenje meteoroloških informacij, Dario Giaioti pa se je omejil na vlogo družbenih omrežij za posredovanje opozoril na nevarne vremenske dogodke v Italiji. Dotaknili smo se posredovanja negotovosti v sezonskih napovedih, kako oblikujejo informacijo o sezonskih napovedih je prikazal Bolgar Ilian Gospodinov. Irski kolega Gerald Fleming je prezentacijo posvetil vlogi komunikacije



Predavatelji v drugem delu medijske sekcije. (Foto: T. Cegnar)

pri posredovanju storitev. O vremenskih storitvah za uporabnike je govorila Ine-Therese Pedersen iz Norveške. Njen kolega Hans Olav Hygen je predstavil projekt »Napoved vremena v letu 2050« z odgovori na odzive javnosti. Pierret Thomet Stott je predstavila nagrajeni projekt »Festival vremena, umetnosti in glasbe«, ki ga vodi pod okriljem Kraljevega meteorološkega društva. Predstavila se je tudi fundacija »We are water« z ozaveščanjem javnosti o pomenu dostopnosti sanitarne in pitne vode, ogledali smo si nekaj kratkih umetniških filmov z njihovega festivala.

### Zgoščenka s prispevki na področju komunikacije

Tako kot že dolgo vrsto let smo tudi tokrat s podporo ARSO pripravili zgoščenko s prispevki, ki so bili predstavljeni na sekcijah mediji in komunikacija ter komunikacija opozoril ob nevarnih vremenskih dogodkih, dodali pa smo razpravo z delavnice o komuniciranju podnebnih sprememb. Zgoščenko so prejeli vsi avtorji, delili smo jo tudi udeležencem konference v Trstu.

### Nagrada Harry Otten za inovacije

Na konferenci je potekal zaključni del izbora zmagovalca razpisa fundacije Harry Otten, ki vsako drugo leto podeli 25.000 € za najbolj izvirno idejo s področja meteorologije. Prvi krog izbirnega postopka je potekal spomladi, ko smo najprej iz večjega števila prijav izbrali manjšo skupino kandidatov. Izbrane smo pozvali k dopolnitvi predlogov in poleti smo iz tega ožjega kroga izbrali tri kandidate, ki smo jih povabili na zaključni izbor v Sofijo. Vsi trije finalisti so širši javnosti predstavili svoje predloge na vzporednem dogodku na konferenci. Upravni odbor fundacije je nato na zaprti seji izbral zmagovalca, ki smo ga razglasili na skupni slovesnosti ob podelitvi nagrad v sklopu konference.

Prva nagrada 25.000 € je bila dodeljena za izvirno idejo, kako pridobiti dodatne informacije o vetru in vlažnosti v ozračju iz letalskih sledi. Prejel jo je Olivier Boucher iz Laboratoire de Météorologie Dynamique, UPMC / CNRS v Parizu.

Sistem napovedovanja obilnih nalivov in hudourniških poplav je zasnoval Tim Hewson v sodelovanju s Florianom Pappenbergerjem, oba delata v ECMWF. Sistem napovedovanja osončenja na osnovi podatkov foto-voltaične mreže pa je ideja Alexandrosa G. Charalambidesa iz PROGNOISIS v Grčiji. Obe ideji sta bili nagrajeni s po 2.500 €.

### Nagrada Solco W. Tromp fundacije

Prvič smo na konferenci EMS podelili nagrado za izjemen članek s področja biometeorologije. Prejel jo je Bert G. Heusinkveld za članek o toplotnem otoku mesta Rotterdam, ki ga je leta 2014 objavil v Journal of Geophysical Research: Atmospheres. Nagrajenec je prejel 1000 USD in potne stroške ter kotizacijo za udeležbo na konferenci. Nagrajenca je izbral petčlanski odbor specialistov na področju biometeorologije. Predsednik Solco W. Tromp fundacije in predsednik EMS sta v Sofiji slovesno podpisala dogovor o triletnem sodelovanju. Fundacija upravlja z delom zapuščine uspešnega znanstvenika in gospodarstvenika ter od leta 1955 dalje tudi biometeorologa Solca W. Trompa, ki je do svoje smrti leta 1993 na interdisciplinarnem področju biometeorologije zapustil množico objav, v Leydnu pa je osnoval biometeorološki raziskovalni center.

### Zahvala

Prenočišče in dnevnicke za udeležbo na konferenci je prispeval ARSO, letalsko karto fundacija Harry Otten, kot prejemnica ene izmed nagrad EMS pa sem bila oproščena plačila kotizacije.



Udeleženci delavnice o komuniciranju podnebnih sprememb. (Foto: T. Cegnar)

# 16. Letno srečanje Evropske meteorološke zveze in 11. Evropska konferenca o aplikativni klimatologiji

Tanja Cegnar



Pogled iz konferenčnega centra na Trg Unita v Trstu ponoči. (Foto: T. Cegnar)

Konferenca je potekala od 12. do 16. septembra 2016 v Trstu. Prijavilo se je 637 udeležencev iz 45 držav; največ je bilo Italijanov, in sicer kar 103. Po številu udeležencev so jim sledili Nemci, bilo jih je 90, iz Velike Britanije je prišlo 42 udeležencev, iz Francije 33, iz Španije 31, iz Finske 30, med boljše zastopane države naj omenim še Švico z 29 udeleženci. Prvič se je zgodilo, da je bila številčno dobro zastopana tudi Slovenija, bilo nas je 15.

Po izboru gostiteljev je bila vodilna tema konference "Kjer se srečajo ozračje, morje in kopno: povezovanje znanosti, aplikacij in deležnikov". S tem naslovom so izpostavili pomen proučevanja morja in oceanov, ki v prejšnjih letih niso bili deležni posebne pozornosti. Podanih je bilo preko 400 predavanj in razstavljenih okoli 200 posterjev. Zaradi velikega števila prispevkov so predavanja potekala v petih sekcijah sočasno, poleg tega so vzporedno potekali tudi tako imenovani vzporedni dogodki.

Prispevki na konferenci so bili razporejeni v številne sekcije, te pa so bile združene v 6 večjih sklopov. Prvi sklop je bil namenjen klimatologiji, urejala ga je Ingeborg Auer, drugi aplikacijam v meteorologiji, usklajeval ga je Will Lang, tretji sklop o sistemih in interakcijah v ozračju je urejala Renate Hagedorn, sklop o komunikaciji in izobraževanju je že od vsega začetka zaupan meni, meritve in opazovanja je koordiniral Frank Beyrich, numerično napovedovanje vremena pa Andrea Montani. Tokrat je konferenca še zadnjič potekala po ustaljeni delitvi tematik, v

prihodnje bodo na konferenci le trije veliki tematski sklopi, v njih pa bo združenih več sekcij. Predlagana reorganizacija je povzročila največ nejevolje v skupnosti klimatologov, saj bodo v novi shemi podnebne sekcije porazdeljene med vse tri tematske skupine, nobena med njimi pa ne bo več namenjena zgolj podnebnju.

## Svet in skupščina Evropske meteorološke zveze

Sveta se udeležujem kot vodja projektne skupine za medije in komunikacijo, seveda nimam glasovalne pravice, imam pa obvezo neposrednega poročanja svetu o delu projektne skupine, lahko sodelujem v razpravi in sem seznanjena z vsemi tematikami, ki jih obravnava svet. Svet se je sestel dan pred začetkom konference, večino časa smo razglabljali o bodočem preoblikovanju konference.

Po končanem sestanku sveta sem v odsotnosti predsednika našega meteorološkega društva zastopala slovenske meteorologe na letni skupščini. Skupščina je predvsem formalnost, saj je potrebna za potrditev sklepov sveta, kar zagotavlja preglednost in javnost delovanja EMS. Tokrat je bila s strani delegatov izpostavljena potreba po ponovni oživitvi prizadevanja za harmonizacijo strokovnega certificiranja in akreditacije. Podobnega projekta smo se pred leti že lotili, a smo ga kmalu opustili, saj so razmere v Evropi zelo raznolike in je bilo



zaradi parcialnih interesov nemogoče najti skupni imenovalac in uporabno rešitev. V prihodnje bo ta projekt vsekakor potrebno ponovno vzpostaviti; kako se bo EMS tega lotila, nismo dorekli.

## Projektna skupina za medije in komunikacijo

Med konferenco smo se sestali člani projektne skupine. Določiti smo morali sestavo za naslednje dvoletno obdobje, skupino sestavljamo Inge Niedek, Jay Trobec, Gerald Fleming, Rasmus Benestad. Še naprej pa ostajam vodja skupine. Vsak član ima določene zadolžitve in predstavlja vezni člen s sorodnimi mednarodnimi organizacijami. Dogovorili smo se za dejavnosti v letu 2017; poleg organizacije sekcije za komunikacijo in medije, razpisa in izpeljave izbora za tri medijske nagrade bomo v Dublinu organizirali medijski dan in trening delavnico. Slednja je odvisna od tega, koliko sponzorskih sredstev bomo uspeli zbrati. Že vrsto let smo najuspešnejša projektna skupina v okviru EMS.

## Nagrada za tehnološke dosežke

Čeprav nisem bila udeležena v odboru, ki je odločal o prejemniku na novo uvedene prestižne nagrade za tehnološki dosežek, z veseljem omenjam, da si je prvo tovrstno nagrado z ECMWF delil Bojan Černač, zaposlen na ARSO. Prejel jo je za razvoj in uporabo visoko zmogljivega merilnega sistema, ki omogoča nadzor, upravljanje in diagnosticiranje merilne mreže z oddaljene lokacije. To je vsekakor velik dosežek. Bojan Černač je o sistemu opravil predavanje za naslovom »Distributed Environmental Measuring System« v sekciji o meritvah. Na ARSO razvit modularni koncept enotnih merilnih sistemov, ki podpirajo nadzor,



Sodelavec ARSO g. Bojan Černač je dobil prestižno nagrado za tehnološke dosežke. (Foto: T. Cegnar)



Generalni sekretar Svetovne meteorološke organizacije je sodeloval na otvoritvi s strateškim predavanjem in s predavanjem na evropski delavnici o komuniciranju. (Foto: T. Cegnar)

upravljanje in diagnostiko s poljubne oddaljene lokacije ter optimizacijo vzdrževanja in upravljanja omrežja se je izkazal za vrhunsko rešitev za zajem, obdelavo in prikaz velikih količin meteoroloških in hidroloških podatkov.

## Science café

Gostitelji konference so želeli konferenčne vsebine približati tudi lokalnim prebivalcem. V ta namen so drugi in četrti dan zvečer organizirali pogovor z uvodno predstavitevjo v eni izmed tradicionalnih kavarn v bližini konferenčnega centra. Dogodek je potekal v italijanščini, da bi se lahko kar najbolj približali zainteresirani laični javnosti. Sodelovala sem na prvem dogodku, ki je bil namenjen biometeorologiji v dobi podnebnih sprememb. Kot uvodničarja sva sodelovala z Adrianom Tompkinsom. Udeleženci so naju spraševali predvsem za mnenje o njihovih lokalnih težavah. Drugi dogodek je bil namenjen podnebnim spremembam in onesnaženosti zraka, uvodničarja sta bila Silvio Gualdi in Fulvio Stel.

## Nagrade s področja medijev in komunikacije

Za dolgoletno napovedovanje vremena na italijanski državni televiziji je nagrado prejel poročnik Guido Guidi, ki je svoje bogate izkušnje na področju napovedovanja vremena in delovanja v mednarodni meteorološki srenji predstavil s krajšim predavanjem v sekciji za medije in komunikacijo.

Po priznanje je prišel lanski nagrajeneec za novinarske dosežke Stéphane Foucart, ki dela pri časopisu Le Monde. Ozadje pojava in razmaha podnebnih skeptikov je predstavil v krajšem predavanju na sekciji za medije in komunikacijo.



Michel Jarraud, bivši sekretar SMO, je prejemnik srebrne EMS medalje 2016. (Foto: T. Cegnar)

V kategoriji projektov je zmagal "Science park", projekt avstrijske meteorološke službe. Namenjen je publiki vseh starosti, postavljen je na prostem; kljub temu, da je pisnega gradiva z razlagami veliko, zagotavljajo tudi vodene ogleda. Posebno pozornost so namenili povezavam med vsakdanjim življenjem in meteorologijo. Projekt se bo iz Dunaja predvidoma širil tudi v druga mesta, kjer ima državna meteorološka služba osebje in prostor.

Zaradi izvirnosti in interaktivnosti smo izpostavili projekt "Sandscape", v katerem udeleženci gradijo peščeno naselje in ob tem skupaj z znanstveniki razglabljajo, kako pozidano okolje vpliva na gibanje in kakovost zraka ter kako vpliva na zadovoljstvo in zdravje ljudi.

### EMS srebrna medalja

Tudi v Trstu smo podelili EMS srebrno medaljo za izjemne znanstvene dosežke. Dobitnik tega priznanja

v letu 2016 je bivši generalni sekretar Svetovne meteorološke organizacije Michel Jarraud. Nagrado si je prislužil s prispevkom k uvedbi spektralne metode v numerično napoved vremena, ključno vlogo v razvoju SMO v vodilno svetovno organizacijo na področju vremena, podnebja in voda v sistemu ZN, sodelovanju pri razvoju velikih iniciativ, kot je na primer Globalni okvir za podnebne storitve. Predavanje po prejemu nagrade je naslovil »Izzivi meteorologije v 21. stoletju«.

Pregled zaslug nagrajenca je nanizal Ivan Čačić, predsednik regije VI SMO, v času konference tudi stalni predstavnik Hrvaške pri SMO, »ex officio« član Izvršnega sveta SMO, član PWS ekspertne skupine in PWS koordinacijske skupine, poleg tega je tudi član hrvaškega združenja novinarjev.

### Četrta evropska delavnica o komuniciranju

G. Michael Williams je skupaj z EMS, ECMWF in EUMETSAT organiziral delavnico o komunikaciji za evropske meteorološke službe. Del te delavnice je bila redna EMS sekcija za medije in komunikacijo. Tokrat je bila udeležba na delavnici nad pričakovanji.

Prvi sklop predavanj je bil namenjen izboljšanju odpornosti na vremenske dogodke. Včasih smo govorili le o tem, kakšno bo vreme, zdaj se pozornost usmerja v to, kakšne bodo učinki in posledice vremena. Drugi sklop, v katerem je s predavanjem sodeloval tudi generalni sekretar SMO Petteri Taalas, je izpostavil, da podnebne spremembe prinašajo vse več različnih tveganj, zgodnje opozarjanje pa je bistveno za pravočasno ukrepanje. Predstavljenih je bilo več primerov dobrih praks v državnih meteoroloških službah. Pomen učinkovitega komuniciranja so predavatelji ponazorili na primeru podnebne konference v Parizu, med razpravljalci je bil tudi Michel Jarraud. V nadaljevanju delavnice je Clare Nullis koordinirala pogovor na temo uporabe družabnih omrežij za širjenje informacij in ozaveščanje v meteorologiji. Zaključni del je Michael Williams



Sekcija za medije in komunikacijo je vedno dobro obiskana. (Foto: T. Cegnar)

namenil inovativnim načinom komuniciranja in predvsem projektom za otroke.

## Sekcija za medije in komunikacijo

Sekcija za medije in komunikacijo mi je najljubša izmed vseh, organiziram in vodim jo že od vsega začetka. Andrea Taylor je predstavila test za preverjanje strategij za komuniciranje negotovosti v sezonskih napovedih. Sledil je Peter Höpfe, ki je govoril o pomenu komunikacije z vidika zavarovalništva. Eleni Karali je razčlenila lastnosti spletnih portalov za prilagajanje na podnebne spremembe. Sama sem prikazala zasnovo in razvoj Eko konference, ki jo že sedem let zapored organiziram skupaj z društvom Planet Zemlja. Thomas Wostal je predstavil nagrajeni projekt "Science park". V lastnosti formatov, ki se uporabljajo za posredovanje informacij, se je poglobil Klemen Blokar. Po odmoru je John Teather predstavil svoje videnje TV vremenskih napovedi in nasvete, kako izboljšati prepoznavnost. Pozornost vedno pritegne Jay Trobec, tokrat je govoril o TV vremenskih napovedih in družabnih omrežjih. Film z naslovom Glas snega je komentiral Sergio Nordio, film je namenjen izobraževanju in popularizaciji meteorologije. Stephane Foucart je osvetlil razvoj podnebnega skepticizma in ga postavil v zgodovinski in politični kontekst. Hans Olav Hygen je prikazal zelo neobičajen način popularizacije meteorologije s pomočjo gledališke igre Neurje. Sledili sta predstavitvi vsebin obeh posterjev, ki sta bila razobešana v preddverju.

## Sekcija o strategijah za prilagajanje na podnebne spremembe

Vsako drugo leto André Jol z nekaj moje pomoči organizira sekcijo, ki je namenjena predstavitvi strategij za prilagajanje na podnebne spremembe. Tudi letos smo imeli nekaj zanimivih predavanj. André je podal pregled državnih in mestnih prilagoditvenih

strategij in ukrepov. Ingeborg Auer je predstavila razvoj avstrijske prilagoditvene strategije od zasnove do udejanjanja. Kako Munich RE z razsikavami pomaga pri prilagajanju na podnebne spremembe je orisal Peter Höpfe. Predstavila sem vlogo in uporabnost izdelkov SMO Komisije za klimatologijo pri načrtovanju prilagajanja na podnebne spremembe. Tjaša Pogačar pa je predstavila projekt EU HEAT-SHIELD.

## Kakovost in certifikati

Kot članica organizacijskega odbora za konferenco EMS/ECAC 2016, sem v Trstu vpeljala sekcijo o upravljanju s kakovostjo in institucionalnimi vidiki ter certifikati o strokovni usposobljenosti za posameznike. Čeprav smo vsi soglašali, da je to izredno zanimiva in vedno bolj pomembna tema, je bilo težko zbrati dovolj prispevkov. Sekcijo je organiziral in vodil Jelko Urbančič. V času, ko se v Evropi in svetu pojavlja vse več ponudnikov vremenskih in podnebnih storitev, bi usklajen pristopi k certificiranju in akreditaciji pomagal preseči težave zaradi različnih izobraževalnih programov, uporabnikom pa omogočil lažje primerjanje med izvajalci in ponudniki storitev. Predstavljeni prispevki so objavljeni v digitalni publikaciji, ki sem jo pripravila s prispevki izbranih sekcij.

## Simpozij Podnebne spremembe - Prilagajanje in blaženje

V sredo popoldne sva z A. Jolom iz Evropske agencije za okolje vodila plenarno razpravo na temo podnebnih sprememb z vidika sprejetega Pariškega sporazuma. Želeli smo izpostaviti primere dobrih praks na področju prilagajanja in blaženja podnebnih sprememb. Pozdravni nagovor je imela Inge Auer, vodja programskega sklopa konference za klimatologijo. V začetku so štirje predavatelji vpeljali zanimive tematike, na osnovi katerih se je nato odvijala razprava. Prvi je govoril Antonio Navarra



Plenarna razprava o podnebnih spremembah. (Foto: T. Cegnar)

iz Programa skupne pobude za področje podnebja in predsednik Evropsko-Mediterranskega centra za podnebne spremembe, predavanje je namenil blaženju podnebnih sprememb. Drugi govorec je bil Peter Höpfe, Munich Re, vodja Geo Risk raziskovalnega podnebnega centra, pojasnil je vlogo zavarovalniškega sektorja v prilagajanju na podnebne spremembe in s tem povezane raziskave, ki jih opravljajo. Ceri J. Vincent, predsedujoča CO2GeoNet izvršnemu odboru, je pojasnila tehnologijo in realne možnosti za zajemanje in shranjevanje ogljika. Zadnji govorec je bil Selvaraju Ramasamy s sektorja Podnebje in okolje pri Organizaciji ZN za prehrano in kmetijstvo, osredotočil se je na grožnjo, ki jo podnebne spremembe predstavljajo pridelavi hrane in možne ukrepe. Zanimivo je, da skoraj nihče v dvorani ni verjel, da je možno dvig povprečne svetovne temperature glede na predindustrijsko dobo omejiti na 1,5 °C, zelo majhen delež publike je bil prepričan, da bo dvig uspelo omejiti na 2 °C. Vsekakor doslej sprejete zaveze držav ne zadoščajo za tako omejitve. Po rekordno toplem letu 2015 na svetovni ravni, se obeta še bolj rekordno leto 2016.

## USB ključki s prispevki na področju komunikacije

Vsa leta doslej smo s prispevki na temo komunikacije objavljali zgoščenko s prispevki, ki so bili predstavljeni na sekcijah mediji in komunikacija ter komunikacija opozoril ob nevarnih vremenskih dogodkih, dodali smo tudi prispevke z delavnice o komuniciranju. Tokrat nam je Munich RE prijazno zagotovila USB ključke, da smo digitalno publikacijo lahko objavili na sodobnejšem nosilcu, ki omogoča ogled tudi na pametnem telefonu.

## Nagrada Harry Otten za inovacije

Nagrade fundacije Harry Otten podeljujemo vsaki dve leti, vendar se konference kot podporniki udeležujemo vsako leto. V Trstu smo udeležencem ponudili pogostitev v odmoru po slovesni podelitvi nagrad. Podpredsednik fundacije Dennis Schulze je na kratko predstavil fundacijo in razpis za nagrade v letu 2017. Udeležencem konference smo ponudili letake z informacijami, rok za oddajo vloge je med 15. septembrom 2016 in 10. marcem 2017.

## Nagrade Solco W. Tromp fundacije

EMS Tromp nagrado za izjemen članek s področja biometeorologije, smo podelili drugič. Tokrat jo je prejela Barbara Templ za članek "Flowering phenological changes in relation to climate change in Hungary", ki ga je skupaj z E. Vincze in B. Czúcz, objavila v "International Journal of Biometeorology". Ker smo želeli spodbuditi k udeležbi na konferenci tudi



Mladi ruski znanstveniki. (Foto: T. Cegnar)

mlade strokovnjake, smo mladim biometeorologom prvič podelili nagrade za udeležbo na konferenci. V preteklosti smo opazili, da je mladim strokovnjakom težko zagotoviti dovolj sredstev za udeležbo na konferenci in skupne rezultate dela so največkrat predstavljali mentorji, ki so včasih imeli tudi po več predavanj v isti sekciji. Da bi udeležbo omogočili mladim strokovnjakom, smo razpisali 6 nagrad v višini 700 €, podelili smo jih le 5, saj se prejemnik iz Turčije konference zaradi političnih razmer v domovini ni mogel udeležiti. Nagrade so prejeli Jana Fischereit za prispevek "Assessing uncertainties for the calculation of perceived temperature in an urban environment", Mikhail I. Varentsov za "Investigation of detailed spatial structure of the Moscow megacity climate features to the newest meteorological observations and regional climate modelling with connection to human comfort", Pavel Konstantinov za "Urban Heat Island's intensity research of Arctic city during winter and its influence on inhabitants' thermal comfort", Spyridon Paparrizos za "Present and future responses of growing degree days for Crete island in Greece" in naša sodelavka Ajda Valher za "Crop water balance variability".

## Na svidenje v Dublinu

Več o konferenci v Trstu lahko preberete na spletnem naslovu [www.ems2016.eu](http://www.ems2016.eu). Prihodnja konferenca bo od 4. do 8. septembra 2017 v Dublinu na Irskem, naslov konference bo »Evropska konferenca za aplikacije v meteorologiji in klimatologiji«. Zasnovana bo po novi razporeditvi tem, ki predvideva tri glavne sklope; prvi bo namenjen razumevanju vremenskih in podnebnih procesov, drugi sodelovanju z družbo, tretji pa operativnim procesom in aplikacijam. Informacije o konferenci v Dublinu najdete na spletnem naslovu [www.ems2017.eu](http://www.ems2017.eu).

# Dr. Oskar Reya priznani slovenski meteorolog in znanstvenik

Dr. Tanja Gomiršek, Goriški muzej



Oskar Reya leta 1946. (arhiv družine Reya, Ljubljana)

V dislocirani enoti Goriškega muzeja na gradu Dobrovo smo 24. 11. 2016 slovesno odprli pregledno razstavo v spomin dr. Oskarju Reyi. Oskar Reya se je namreč rodil v Kozani v Goriških brdih 3. julija 1900<sup>1</sup>. Po prvih treh razredih slovenske gimnazije v Gorici je ob izbruhu vojne med Italijo in Avstrijo leta 1915 odšel sprva v Judenburg in srednjo šolo končal po vojni. Prav vojna izkušnja, in trdo delo v tovarni v Judenburgu, ga je po besedah Reyevega sina Jurija, tako zaznamovala, da se je takrat odločil za nadaljnji študij. Po končani maturi leta 1921 je nadaljeval študij geografije in prirodoslovja na univerzi v Ljubljani, študij pa dokončal v Beogradu, kjer je študiral fizikalno geografijo in meteorologijo. Leta 1925 se je zaposlil na Meteorološkem zavodu na univerzi v Ljubljani, štiri leta kasneje pa doktoriral na Zagrebški univerzi. Izpopolnjeval se je tudi v Berlinu, Münchnu, Parizu in na observatoriju na Zugspitze. (Savnik, 1987). Na razstavi je predstavljeno njegovo življenje, delo ter številna zanimanja. V tem prispevku pa se želimo posvetiti prikazu njegovih raziskav in delovanja, predvsem na področju strokovnega udejstvovanja. Reyeva je dejavnost prikazana tudi na

spletni strani Slovenskega meteorološkega društva, saj je prav Reya z mladimi meteorologi začutil potrebo po organiziranem društvenem delovanju (Medmrežje 1).

Reyev interes za meteorologijo in klimatologijo se je pokazal z doktorsko disertacijo z naslovom Letni tok temperature v Sloveniji, s katero je promoviral v Zagrebu leta 1929. Oskar Reya je kot vodja Zavoda za meteorologijo in geodinamiko ustvaril najboljše pogoje za razvoj slovenske meteorologije. Prav na njegovo pobudo leta 1950 je bila meteorologija uvedena kot samostojni študij na Ljubljanski univerzi. Trudil se je, da je kot raziskovalec ujel korak s hitro razvijajočo stroko v Evropi. Kot vodja potresne opazovalnice na Univerzi v Ljubljani je leta 1925 nabavil takrat vrhunski tehnični dosežek, Wiechertov seizmograf, kot upravnik Zavoda za meteorologijo in geodinamiko pa je leta 1972 uspešno vodil akcijo za nabavo Wiertbertalovega vodoravnega seizmografa, ki ga je dal namestiti v kleti Univerze v Ljubljani. To je bila za tisti čas najsodobnejša naprava, ki jo sedaj kot muzejski objekt hrani Astronomsko-geofizikalni observatorij na Golovcu. Svoje raziskovalno delo je redno predstavljal v strokovnih razpravah v Geografskem vestniku. Leta 1928 je objavil prispevek z naslovom Dnevna amplituda zračne temperature na Slovenskem in njih letni tok (Reya 1928). V njem je na podlagi meritev na 11 postajah v obdobju 35 let ugotavljal tipe letnega poteka amplitude dnevne temperature z ugotovitvijo, da imamo v Sloveniji tri različne tipe: »litoralnega, zmerno kontinentalnega in kontinentalnega«. Med obema vojnama se je največ ukvarjal z mrežo meteoroloških postaj v Sloveniji. Leta 1928 je v prispevku Letni tok padavin na Slovenskem (Reya 1929) ugotavljal, da imajo več padavin kraji, ki so obrnjeni k prihajajočim depresijam. Na splošno je opazil, da »se depresije izogibljejo Alp in da potujejo praviloma preko Gornjeitalske ravnine, od tu dalje preko Panonske ravnine ali preko Jadranskega morja.« Tako večina depresij na Slovenskem »pripada sekundarnim depresijam, ki se stvarjajo iz takozvanega jezika primarne depresije« (Reya 1929). Glede na tri faktorje: vetrove splošne cirkulacije v atmosferi, vetrove, ki spremljajo depresije in vetrove lokalnega značaja, je razlagal vetrovne razmere krajev v Sloveniji v prispevku Smeri vetrov na Slovenskem in njih letni tok (Reya 1931) leta 1931. Ugotavljal je, »da prevladujejo vetrovi ciklonskega značaja s situacijo,

<sup>1</sup> V Primorskem slovenskem biografskem leksikonu (PSBL) je naveden napačen mesec rojstva. To je razvidno tudi iz podatkov na rojstnem, uslužbenskem ter potnih listih, ki jih hrani družina pok. Reye.



Oskar Reya (prvi z leve) na konferenci v Chamonixu leta 1956. (arhiv družine Reya, Ljubljana)

ko se depresija nahaja nad gornjim Jadranom, od koder odpotuje potem vzdolž jadranske obale proti jugovzhodu.« (Reya 1931) Do leta 1940 je vsako leto objavil strokovni članek in sicer: Cikloni in padavine na Slovenskem (Reya 1932a), Odnosaji med padavinami in cikloni v Jugoslaviji (Reya 1933), Navali toplega in hladnega zraka v Dravski banovini (Reya 1934), Termografska registracija velikih dvigov in padcev temperature v Dravski banovini (Reya 1935), O toči v Dravski banovini v letu 1936 (Reya 1936–1937), Učinek nočnika na meteorološke elemente (Reya 1938), Najnižje in najvišje temperature v Sloveniji (Reya 1939a). Po drugi svetovni vojni je v Geografskem vestniku objavil še razpravo Maksimalne intenzitete padavin v Slovenskem Primorju (Reya 1948–49). Naj od Reyevih znanstvenih razprav omenimo še študijo Najvišje dnevne padavine v Sloveniji (Reya 1945a), ki jo je leta 1945 izdal Zavod za meteorologijo in geodezijo. Isti zavod je leto kasneje, 1946, izdal še Padavinsko karto Slovenije (Reya 1946b). Uprava hidrometeorološke službe pa je leta 1947 objavila raziskavo Močna in dolga deževja v Ljubljani (Reya 1947).

Krajše prispevke s področja meteorologije in klimatologije je objavjal še v Proteusu ter drugih revijah: Kaj nam pripovedujejo oblaki? (Reya 1936a), Padavinske razmere v Sloveniji (Reya 1946–47), Letni tok padavin v Sloveniji (Reya 1947–48), Nastanek meglenega morja in temperaturni oblak (Reya 1956), Kraška burja (Reya 1950), Deset let meteorološkega opazovanja na Šmarni gori (Reya 1937a), Klima ljubljanske okolice (Reya 1937b) ter Vremenska služba v Sloveniji (Reya 1939b).

Leta 1947 je Oskar Reya postal izredni profesor na takratni Prirodoslovno-matematični fakulteti Univerze

v Ljubljani. Njegov študent Silvano Prodan se ga spominja kot zanimivega retorika, ki pa je v vsakem predavanju omenjal tudi njemu ljuba Brda. Tudi njegov sin Jure Reya se ga spominja kot strogega in nepopustljivega znanstvenika, ki pa je bil do študentov zelo blag. Če študent ni znal dovolj, mu je le naročil, naj se dobro nauči ter mu določi drug termin izpita, včasih kar pri sebi doma.

Med pomembnejšimi raziskavami s področja geografije naj omenimo njegov prispevek na kongresu v Sofiji leta 1936 z naslovom Nordföhn auf der Südseite der Karavanken, ki je bil objavljen tudi v zborniku kongresa (Reya 1936b). Referiral je tudi leta 1958 na mednarodnem meteorološkem kongresu v Garmisch-Partenkirchnu z raziskavo Die hydrische Bilanz in den jugoslawischen Alpen (Reya 1958). V njegovi zapuščini je tudi več krajših separatov. Naj med njimi omenimo Ein einfaches Gerät zur Messung der potentiellen und reellen Evapotranspiration (Reya 1960). Reya je namreč razvil model merilca za evaporacijo, ki je bil kombinacija Thornthwaitovega in Garnierovega modela. Na III kongresu slovenskih geografov in etnografov v Jugoslaviji leta 1930 je sodeloval s prispevkom, ki je bil objavljen v španskem jeziku in sicer La dumjara variacio de la venta directo en la slovena regiono (Reya 1930). Francosko združenje meteorologov je v njihovi reviji objavilo njegovo študijo Invasion de front froid dans les Alpes sudorientales (Reya 1957).

Kot v njegovem nekrologu, leta 1980 ugotavlja Valter Bohinc, se je Reya udeleževal tudi kot poljudnostrokovni pisatelj. »Leta 1940 je objavil poljudnostrokovno knjigo Vremenoslovje Bibliografski oddelek Narodne in univerzitetne knjižnice v Ljubljani navaja v svoji kartoteki nad 80 njegovih



*Separatni odtis članka Oskarja Reya iz Geografskega vestnika leta 1940.*

samostojnih poljudnoznanstvenih člankov v raznih revijah, koledarjih in dnevnikih, poleg tega pa še nad 40 člankov, ki jih je priredil po tujih avtorjih. Med originalnimi prispevki jih obravnava 43 njegovo ožjo stroko, meteorologijo in klimatologijo, 18 je potopisov, ostali pa poročajo zanimivosti iz najrazličnejših področij« (Bohinc 1980). Oskar Reya je bil namreč večstranska osebnost. Znana so njegova potovanja po svetu, saj je razen Avstralije in Antarktike obiskal vse celine, o čemer pričajo številni objavljeni potopisni prispevki. Bil je tudi strasten planinec in je svoje navdušenje predal tudi svojim sinovoma Igorju Juriju in Nikolaju. Sam se je povzpel celo na Elbrus na Kavkazu (Reya 1945b), na Atlas v severni Afriki (Reya 1946a) in Mont Blanc (Reya 1931a). S planinarjenjem so povezani prispevki v Planinskem vestniku in drugih revijah: Vreme Triglava (Reya 1951), Vreme in podnebje v planinah (Reya 1932b), V Rezijo in na Kanin (Reya 1967), Po Poliškem Špiku ali Montažu (Reya 1961) ter Krn (Reya 1947). S planinstvom in pohodništvom so povezani tudi Reyevi opisi rastlinstva, ki jih je navadno objavjal v Jadranskem koledarju, po zaključku Reyeve znanstvene kariere, torej po upokojitvi. Iz prispevkov je razvidno, da Reya ni obiskoval gora zgolj z namenom doseči nek cilj, temveč je želel opozoriti na posebnosti rastlinstva ter geološke in podnebne posebnosti obiskanega območja. Na to temo je objavil: Nekaj zanimivih botaničnih sprehodov po okolici Trsta (Reya 1971), Botanični sprehodi po goriški okolici (Reya 1972), Botanični izleti na Matajur (Reya 1973), Botanični izleti na Višarje (Reya 1974), Botanični izleti v Julijske Alpe (Reya 1975). Njegov raziskovalni elan ga je vodil, da je skoraj 60-leten več kot leto dni, od 2. 7. 1959 do 8. 8. 1960, potoval z ladjo Rog okoli sveta, saj je želel doživeti pravi tropski tajfun. Njegov pogum se je kazal tudi iz raziskav, ki jih je opravljal z vzponi z letali tudi 6000 m visoko in to kljub dejstvu, da je imel družino.

Oskar Reya se je rad vračal v rodna Brda in ohranjal stike z vaščani ter drugimi Brici. Ob obisku v Kanadi je v dnevnik zapisal naslednje: »13. 2. 1960 Amerika – Port Alberni: Popoldne sem iskal Nado Kocjančič iz Šlorenca in njenega moža Jarca. Govoril sem telefonično z njo. Povedala mi je, da je tu tudi Karol Jakončič iz Kozane. Obiskal sem ga zvečer na 12. Street 214 south. Bili so me zelo veseli« (Reya 1959–1960). Starejši domačini se še spominjajo profesorja, ki se je ob obisku Kozane rad pogovarjal z domačini in seveda »tolkel po briško.« Brda je kot izrazito kmetijsko območje močno prizadela poletna toča. To dejstvo je Reya dobro poznal in poskušal po svojih močeh pomagati z organizirano obrambo. Leta 1953 je organiziral obrambo proti toči v Goriških brdih, gornji Vipavski dolini in na Bizeljskem, o čemer je referiral na mednarodnem kongresu v Zürichu leta 1954 in Chamonixu leta 1956. Postal je predsednik republiškega odbora za obrambo proti toči. Je najzaslužnejši, da so takrat v Brdih dobili sistem strelnih postaj z raketami (Savnik 1987). S tem v zvezi je leta 1954 napisal tudi več člankov v Koledarju Prešernove družbe in v Sadjarstvu, vinarstvu in vrtnarstvu (Bohinc 1980). Primorske novice (Cenčič 1953) pa so objavile pogovor z Reyo, v katerem je podrobno pojasnil delovanje strelne postaje ter načrtovano postavitve 26 postaj v Goriških brdih. Družina še hrani bogato Reyevo zapuščino, ki je skupaj z Reyevim objavami vsekakor vredna pozornosti in nadaljnjih raziskav ter ovrednotenja. Pri slednjem mislimo zlasti njegov prispevek k razvijajoči se meteorološki stroki.



*Oskar Reya odčitava meritve meteorološke postaje na ladji Rog. (arhiv družine Reya, Ljubljana)*

## Viri

- Bohinc, V.: Profesorju Oskarju Reyi v spomin, *Geografski vestnik* 1, 208–209, 1980.
- Cenčič, M.: *Bricem se ne bo treba več bati toče*, *Primorske novice*, 2, 1953 (31. 7.).
- Medmrežje: <http://www.meteo-drustvo.si/zgodovina/ustanovitev-drustva/> (1. 2. 2017).
- Reya, O.: Dnevna amplituda zračne temperature na Slovenskem in njih letni tok, *Geografski vestnik* 4, 56–62, 1928.
- Reya, O.: Letni tok padavin na Slovenskem, *Geografski vestnik* 5–6, str. 53–62, 1929–30.
- Reya, O.: *La dumjara variacio de la venta direkto en la slovena regiono*, Zbornik radova na III kongresu slovenskih geografa i etnografa u Jugoslaviji, 42–43, 1930.
- Reya, O.: Na najvišji gori v Evropi: vzpon na Mont Blanc, *Življenje in svet* 10, 395–398, 1931a.
- Reya, O.: Smeri vetrov na Slovenskem in njih letni tok, *Geografski vestnik* 7, 101–109, 1931b.
- Reya, O.: Cikloni in padavine na Slovenskem, *Geografski vestnik* 8, 70–89, 1932a.
- Reya, O.: Vreme in podnebje v planinah, *Naš obzor* 4, 61–66, 1932b.
- Reya, O.: Odnosaji med padavinami in cikloni v Jugoslaviji, *Geografski vestnik* 9, 165–180, 1933.
- Reya, O.: Navali toplega in hladnega zraka v Dravski banovini, *Geografski vestnik* 10, 66–88, 1934.
- Reya, O.: Termografska registracija velikih dvigov in padcev temperature v Dravski banovini, *Geografski vestnik* 11, 87–100, 1935.
- Reya, O.: Kaj nam pripovedujejo oblaki?, *Proteus*, 181–187, 1936a.
- Reya, O.: Nordföhn auf der Südseite der Karavanken, *Sbornik na IV kongres na slavjanskite geografi i etnografi v Sofija – 1936*, 18–27, 1936b.
- Reya, O.: O toči v Dravski banovini v letu 1936, *Geografski vestnik* 12–13, 101–114, 1936–37.
- Reya, O.: Deset let meteorološkega opazovanja na Šmarni gori, *Kronika slovenskih mest* 2, 118–119, 1937a.
- Reya, O.: Klima ljubljanske okolice, *Kronika slovenskih mest* 3, 166–169, 1937b.
- Reya, O.: Učinek nočnika na meteorološke elemente, *Geografski vestnik* 14, 107–117, 1938.
- Reya, O.: Najnižje in najvišje temperature v Sloveniji, *Geografski vestnik* 15, 3–26, 1939a.
- Reya, O.: Vremenska služba v Sloveniji, *Kronika slovenskih mest* 5, 181–188, 1939b.
- Reya, O.: Najvišje dnevne padavine v Sloveniji, 1945a.
- Reya, O.: Prvi slovenski vzpon na Elbrus, *Planinski zbornik*, 136–154, 1945b.
- Reya, O.: Na visokem Atlasu, *Gore in ljudje* (*Planinski vestnik*), 146–177, 1946a.
- Reya, O.: Padavinska karta Slovenije, 1946b.
- Reya, O.: Padavinske razmere v Sloveniji, *Proteus*, 180–184, 1946–47.
- Reya, O.: Krn, *Gore in ljudje*, 169–73, 1947.
- Reya, O.: Letni tok padavin v Sloveniji, *Proteus*, 40–43, 1947–48.
- Reya, O.: Maksimalna intenziteta padavin v Slovenskem Primorju, *Geografski vestnik* 20–21, 87–110, 1948–49.
- Reya, O.: Kraška burja, *Koledar OF slovenskega naroda za tržaško ozemlje*, 169–173, 1950.
- Reya, O.: Vreme Triglava, *Planinski vestnik* 5, 174–84, 1951.
- Reya, O.: Vreme Triglava, *Planinski vestnik* 6, 220–225, 1951.
- Reya, O.: Nastanek meglenegega morja in temperaturni oblak, *Planinski vestnik* 1, 25–28, 1956.
- Reya, O.: Invasion de front froid dans les Alpes sudorientales, *La météorologie* (IV), 245–250, 1957.
- Reya, O.: Die hydrische Bilanz in den jugoslawischen Alpen, *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 54, 126–128, 1958.
- Reya, O.: Ein einfaches Gerät zur Messung der potentiellen und reellen Evapotranspiration, *Wetter und Leben* 12, 372–374, 1960.
- Reya, O.: Dnevnik s potovanja okoli sveta, 1959–1960. Rokopisno gradivo hrani družina Reya, Ljubljana.
- Reya, O.: Po Poliškem Špiku ali Montažu, *Planinski vestnik*, 219–222, 1961.
- Reya, O.: V Rezijo in na Kanin, *Obzornik* 9, 923–928, 1967.
- Reya, O.: Nekaj zanimivih botaničnih sprehodov po okolici Trsta, *Jadranski koledar*, 118–121, 1971.
- Reya, O.: Botanični sprehodi po goriški okolici, *Jadranski koledar*, 262–268, 1972.
- Reya, O.: Botanični izleti na Matajur, *Jadranski koledar*, 261–267, 1973.
- Reya, O.: Botanični izleti na Višarje, *Jadranski koledar*, 259–261, 1974.
- Reya, O.: Botanični izleti v Julijske Alpe, *Jadranski koledar*, 250–256, 1975.
- Savnik, R.: Reya Oskar, *Primorski slovenski biografski leksikon* 11, 201–201, 1987.



# Nagrajenec SMD za leto 2015

Komisija za nagrade in priznanja Slovenskega meteorološkega društva v sestavi dr. Andrej Hočevar, dr. Gregor Gregorič in Branko Gregorič je 2. marca 2016 glede na prispеле predloge za priznanja odločila, da za leto 2015 podeli priznanje SMD g. Mirku Kovaču za njegovo življensko delo.

## Priznanje SMD za leto 2015 je prejel g. Mirko Kovač.



Nagrajencu je priznanje podelil predsednik SMD g. Jožef Rožkar.

Mirko Kovač je meteorološko kariero pričel že v sredini 50-ih let prejšnjega stoletja (že nekaj let pred diplomom na takratni Naravoslovni fakulteti). Deloval je na različnih področjih meteorologije, največji del kariere pa je opravil na področju letalske meteorologije, kjer je pustil tudi največji pečat. Je začetnik meteorologije na Brniku, kjer je začel z delom, ko tam sploh še ni bilo letališča. Ob začetku delovanja letališča na Brniku je prevzel vodenje letališke prognostične službe. Kot strokovnjak je sodeloval tudi pri elaboratih za postavitve letališč v Mariboru in Portorožu. S svojim inovativnim delom je vnašal tudi tehnološke novosti na področju meteorologije. Prvi sprejemnik satelitskih posnetkov v začetku 80. let prejšnjega stoletja je bil postavljen na letališču Brnik. V tistem obdobju je poskrbel tudi za postavitve TV kamere na začetku vzletno-pristajalne steze in prenos slike po telefonskih žicah; takrat je bila to inovativna in vizionarska rešitev, danes pa je to vsesplošno sprejeta praksa in tudi nujen sestavni del inštrumentarija na postajah ob zmanjševanju klasičnih opazovanj. Njegovo strokovno delo je bilo cenjeno tudi izven Slovenije, saj je bil izbran za začasnega vodjo meteorološke službe v času Olimpijskih iger v Sarajevu.

Mirko Kovač je pečat pustil tudi pri izobraževanju meteorologov in pilotov. Del kariere je poučeval



Leta 2004 se je udeležil petdesete obletnice delovanja visokogorske meteorološke postaje Kredarica in se spominjal, kako je kot mladi meteorolog tam nabiral svoje izkušnje.

meteorologijo na tehnični fakulteti, sodeloval je pri strokovnih izpitih in pripravil nekaj publikacij, med drugim knjižico »vreme v letalstvu« in »Angleško-Slovenski terminološki slovar«, ki so še danes v uporabi.



Po podelitvi priznanja je nagrajenec za člane društva spregovoril o svoji bogati karieri, v okviru katere je večino časa posvetil letalski meteorologiji na našem letališču pri Brniku.

# Nagrajenka SMD za leto 2016

*Komisija za nagrade in priznanja Slovenskega meteorološkega društva v sestavi dr. Andrej Hočevar, dr. Gregor Gregorič in Branko Gregorčič je 7. marca 2017 glede na prispеле predloge za priznanja odločila, da za leto 2016 podeli priznanje SMD za posebne dosežke na področju meteorologije mag. Tanji Cegnar.*

## Priznanje SMD za leto 2016 je prejela mag. Tanja Cegnar.



*Nagrajenki je priznanje izročil predsednik SMD g. Jožef Roškar.*

Tanja Cegnar je svojo poklicno kariero začela leta 1980 kot napovedovalka vremena, hkrati pa se je posvetila še klimatologiji. Leta 1987 je prevzela vodenje Oddelka za klimatologijo. Ukvarjala se je z uporabo podnebnih informacij v različnih področjih gospodarstva. Specializirala se je na vplive vremena in podnebja na ljudi. Delala je v ekspertni skupini Komisije za klimatologijo pri Svetovni meteorološki organizaciji. Aktivna je bila tudi v Heat health watch warning systems projektih, ki so jih zasnovali WMO, WHO in UNEP. Sodelovala je v nekaterih evropskih projektih s področja vrednotenja vpliva vremena in podnebja na počutje in zdravje ljudi. Vodi skupino za medije (Media Team) znotraj komiteja za medije (Media Committee – komite je vodila od ustanovitve leta 2000 do 2008) pri Evropskem meteorološkem društvu. Za izjemen prispevek in predanost mednarodnemu povezovanju meteorološke vede in uspešno vodenje Komiteja za medije ji je leta 2015

Evropsko meteorološko društvo, kot prvi, podelilo nagrado EMS Outstanding Contribution Award.

Tanja Cegnar je bila deset let, do leta 2005, predsednica Slovenskega meteorološkega društva. V preteklosti je organizirala niz konferenc in posvetov na temo podnebnih sprememb. Skrbi za promocijo meteorologije ter ozavešča javnost glede podnebnih sprememb in vplivov vremena na zdravje ljudi. Že več kot dve desetletji je odgovorna urednica ARSO Mesečnega biltena, v katerem se zbirajo vse pomembnejše informacije meteoroloških meritev in opazovanj, razvoja vremena, vpliva vremena na počutje ljudi ter informacij iz agrometeorologije, hidrologije, ekologije, potresne varnosti in obremenjenosti zraka s cvetnim prahom. Že vrsto let vsakodnevno pripravlja posebne napovedi, in sicer biometeorološko napoved, napoved UV indeksa ter napoved cvetnega prahu. Njen trud in predanost stroki razkrije tudi spletni bibliografski katalog COBISS, kjer je zabeleženih kar 223 njenih strokovnih objav.



*Nagrajenka je po prevzemu priznanja pristnim članom društva obširno predavala o delovanju Evropske meteorološke zveze, kjer je tudi sama zelo aktivna.*

# Analiza meteoroloških podatkov iz Ljubljane v obdobju 1818–1827

Zala Žnidaršič

## Uvod

V Ljubljani so v prvi polovici 19. stoletja v časopisu Laibacher Zeitung tedensko izdajali tekoče podatke o stanju vremena, tlaku in temperaturi v jutranjem, popoldanskem in večernem času (slika 1). Zaradi pomanjkljivih metapodatkov (podatki, ki opisujejo opazovane meteorološke podatke – npr. kje, kako, kdaj in s čim je bila izmerjena temperatura zraka ob nekem času na nekem merilnem mestu (Nadbach, 2015)) in razlik v časovnih intervalih izvajanja meritev glede na sodobne meritve je analiza teh spremenljivk otežena, a še vedno predstavlja določen vir informacij o takratnem podnebjju. Cilj raziskovalnega dela je bil tako preučiti napake podatkov iz časopisa, ustvariti okvirno predstavo o metapodatkih teh meritev ter z upoštevanjem obojega predstaviti stanje podnebjja v Ljubljani v obdobju 1818–1827.

Slika 1. Izsek iz časopisne priloge Intelligenzblatt zur Laibacher Zeitung (vir: Digitalna knjižnica Slovenije).

## Potek dela

Pri delu smo uporabili podatke iz arhiva ljubljanskih časopisov iz obdobja 1818–1827, za primerjavo pa tudi podatke drugih raziskav za isto obdobje in slovensko ozemlje. Prvi so podatki projekta BEST (Berkeley Earth Surface Temperature Study) ameriške univerze Berkeley o spremenljivosti podnebjja, lokalnih temperaturnih spremembah in temperaturnih ekstremih v obdobju 1750–2010 za 39.000 različnih meteoroloških postaj po svetu, med drugim tudi za Ljubljano. Uporabili smo mrežne podatke za Ljubljani najbližjo točko (45.81°N, 15.00°E). Drugi sklop podatkov je del projekta HISTALP (Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region), s katerim so homogenizirali dolge nize različnih meteoroloških spremenljivk na širšem alpskem območju. Iz tega podatkovnega

sklopa so uporabili aritmetično sredino vrednosti v stopinjskih mrežnih celicah s koordinatama (46° N, 15° E) in (46° N, 14° E).

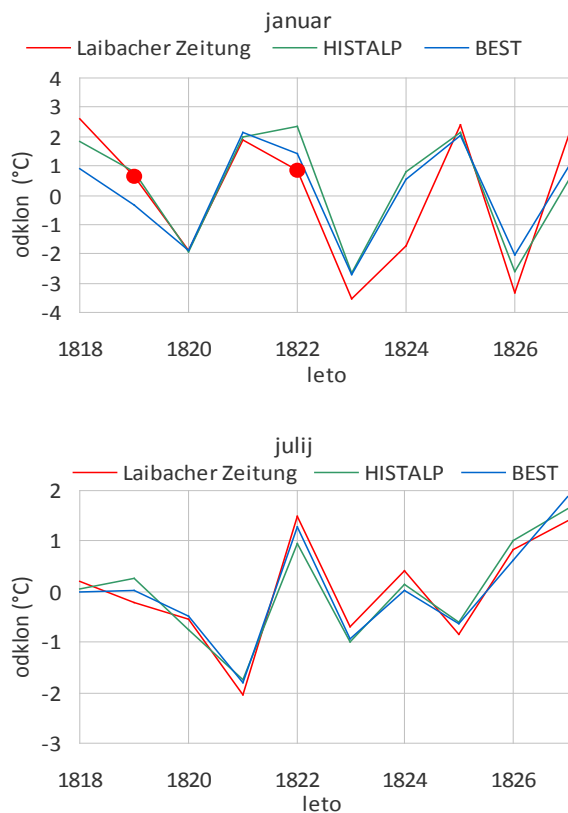
Začetek raziskave je predstavljalo pretvorbo enot (iz Reaumurjevih v Celzijeve stopinje). Dnevno povprečje temperature smo računali z aritmetično sredino vseh treh vrednosti, saj razen popoldanske meritve (ob 14. uri) za drugi dve meritvi ne poznamo časa merjenja. Za čim boljši končni rezultat obdelave smo izločili tiste mesece, pri katerih sta v časopisu manjkala vsaj dva dneva meritev. Za analizirano obdobje smo nato za vsak mesec posebej raziskali medsebojno odvisnost odklonov temperature iz vseh treh virov podatkov.

V drugem delu smo raziskovali skladnost mesečnih povprečnih vrednosti temperature za Ljubljano v obdobjih 1818–1827, 1861–1890 (meritve v Prečni ulici) in 1981–2010 (meritve za Bežigradom). Poleg tega smo se osredotočili tudi na primerjavo mesečne povprečne vrednosti temperature ob različnih urah dneva na merilnih postajah za Bežigradom in v Prečni ulici. Nazadnje pa smo pod drobnogled vzeli še pojave temperaturnih ekstremov (najnižje in najvišje temperature, pripadajoč dan v letu in ura meritve) v obravnavanem obdobju, v letih 1818–1827.

Da bi v grobem ocenili napako zimskih meritev (v Laibacher Zeitung), smo opazovali še spreminjanje razmerja med pojavnostjo dežja in snega v mesecih od novembra do aprila po temperaturnih razredih (–1, 0, 1, 2, 3 ... °C) in to primerjali z depešami ljubljanske meteorološke postaje v obdobju 1996–2015.

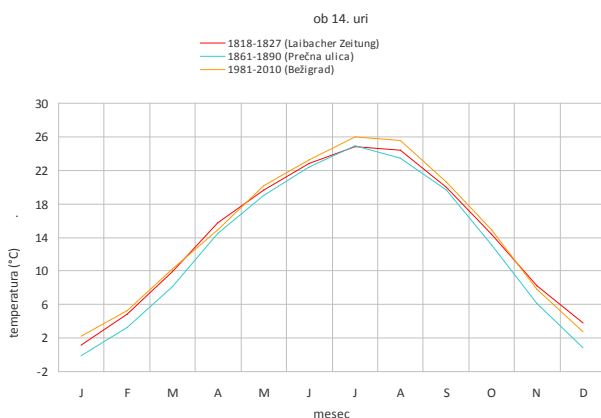
## Rezultati

V izračunih in na grafičnih prikazih je za obdobje 1818–1827 najbolj opazno boljše ujemanje časovnega poteka temperature zraka v poletnih mesecih z drugimi podatki, medtem ko se večje razlike pojavljajo v zimskih mesecih (slika 2). V poletnih mesecih so med drugim izvirni podatki obdobja 1818–1827 najbolj popolni, saj ni manjkajočih meritev. Na letni ravni se skozi obdobje spreminja razlika med obravnavanimi meritvami in podatkih HISTALP in BEST. Glede na ostala podatkovna vira kažejo podatki iz Laibacher Zeitung za januar padajoč trend. Ker podatki HISTALP in BEST temeljijo na vrednostih okoliških merilnih postaj, je verjetno na ljubljanskem nizu nekje sredi obdobja 1818–1827



Slika 2. Odklon mesečnega povprečja temperature zraka od povprečja obdobja 1818–1827 (za januar brez let 1819 in 1822) za januar (zgoraj) in julij (spodaj), za tri podatkovne zbirke. Rdeči piki zaradi manjkajočih dnevnih podatkov označujeta približno mesečno vrednost.

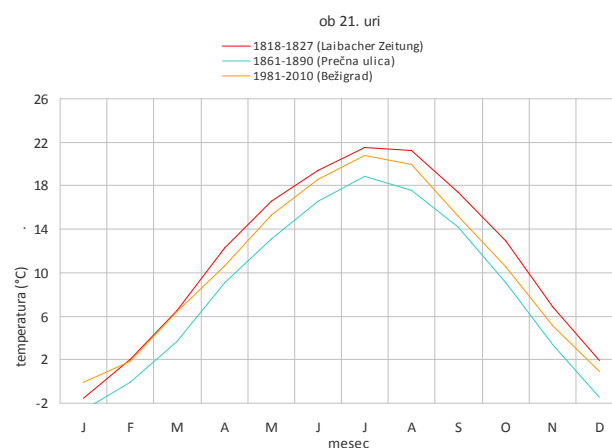
prišlo do sistematičnih sprememb v meritvah. Kljub temu bomo v nadaljevanju enotno obravnavali celotno obdobje meritev v letih 1818–1827. Nekateri meseci po podatkih iz Laibacher Zeitung močno odstopajo od obdobjnega povprečja in kažejo na izjemne podnebne razmere (v oklepaju je naveden temperaturni odklon): maj 1826 ( $-3,6$  °C), junij 1822 ( $+3,5$  °C) in november 1827 ( $-6,0$  °C)!



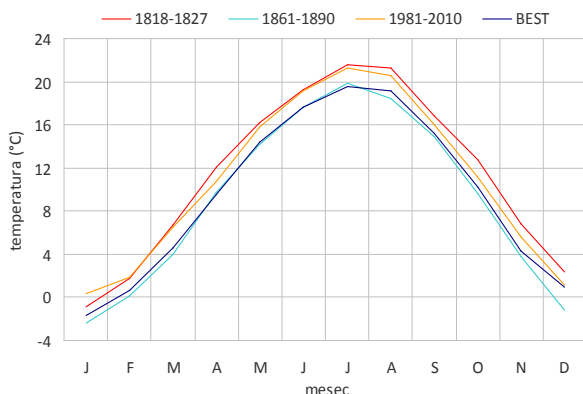
Primerjava povprečnega medletnega poteka temperature zraka v Ljubljani v različnih časovnih obdobjih in ob različnih urah dneva razkrije velike razlike ob jutranjem in večernem terminu in mnoge manjše ob popoldanskem terminu (slika 3). To je lahko posledica vpliva debelih sten stavbe, kjer so se izvajale meritve v začetku 19. stoletja, na merilnik. Takšna stavba se dlje segreva in dlje ohlaja, zato so videti temperaturne spremembe zamaknjene. Opazen je sezonski zamik povprečne temperature zraka glede na kasnejše podatke (slika 4). Zaradi te ponavljajoče se višje in zamaknjene temperature v obravnavanem obdobju lahko sklepamo na znatno sistematično napako meritev zaradi vpliva stavbe na termometer, čeravno ne moremo ovrednotiti vpliva neznane ure jutranjega in večernega merjenja temperature.

Analiza linearnega trenda mesečne povprečne temperature v sicer kratkem obdobju 1818–1827 kaže na nadaljnje težave s podatki. Najboljše ujemanje trenda med različnimi podatkovnimi zbirkami je od junija do septembra, najslabše pa je ujemanje trendov za mesece od oktobra do januarja. Podobno je tudi s standardnimi odkloni mesečnih temperaturnih razlik med podatkovnimi zbirkami (Laibacher Zeitung–HISTALP, Laibacher Zeitung–BEST, HISTALP–BEST), in sicer je standardni odklon razlike HISTALP–BEST v območju  $0,1$  °C –  $0,6$  °C, medtem ko drugi dve kombinaciji dosežeta največjo vrednost  $1,8$  °C oziroma  $2,0$  °C. Podatki HISTALP in BEST so torej medsebojno mnogo bolj skladni od tistih iz časopisa Laibacher Zeitung.

Za analizo podatkov imamo na voljo še en vir, knjigo dr. Frana Viljema Lipiča, Topografija Ljubljane. Lipič za povprečno temperaturo obdobja 1820–1827 navaja  $10,9$  °C, medtem ko je iz Laibacher Zeitung pridobljena vrednost  $11,3$  °C (pri čemer je nekaj podatkov manjkajočih). Prav tako se razlikuje januarska srednja temperatura (v knjigi  $-0,9$  °C, za naše podatke pa  $-1,3$  °C) in julijska srednja



Slika 3. Povprečni medletni hod temperature zraka ob 14. in 21. uri (večerni termin v Laibacher Zeitung) za tri različna obdobja meritev v Ljubljani.



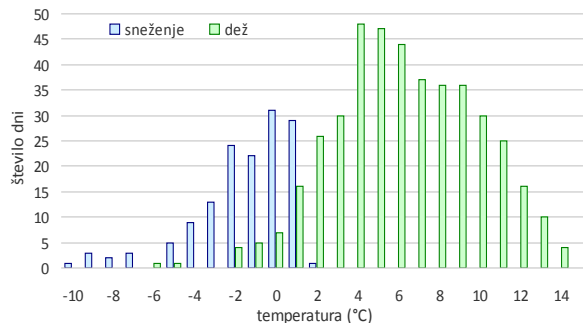
Slika 4. Povprečni medletni hod povprečne temperature zraka za tri različna obdobja meritev v Ljubljani in za podatkovno zbirko BEST.

temperatura pa je v obeh primerih 21,6 °C. Vzrok za takšne rezultate utegne biti različno število manjkajočih podatkov v obeh virih ali morda celo občasno drugačni podatki. Temperaturni maksimumi se pri obeh vrstah podatkov povzpnejo do 35 °C, minimumi za podatke iz Laibacher Zeitung pa proti -19 °C (preglednica 1).

Preglednica 1. Najnižja in najvišja izmerjena temperatura zraka (°C) skupaj s pripadajočim datumom po letih obdobja 1818–1827. Prikazane vrednosti so pretvorbe celih Reaumurjevih stopinj, navedenih v časopisu.

LETO	NAJMANJ	DATUM	NAJVEČ	DATUM
1818	-10,0	29. 12.	31,25	1. 8.
1819	-12,5	25. 1.	31,25	8. 7.
1820	-20,0	15. 1.	30,0	24. 8.
1821	-11,25	28. 2.	28,75	2. in 3. 8.
1822	-11,25	26. 12.	32,5	26. in 27. 7.
1823	-16,25	5. in 6. 1.	31,25	15. 7.
1824	-15,0	19. 1.	35,0	15. 7.
1825	-7,5	31. 1., 1. 2.	30,0	20. 7., 21. 7.
1826	-18,75	16. 1.	30,0	4. in 5. 8., 30. 6., 1. in 2. 7.
1827	-17,5	27. 11.	30,0	4. 8.

Iz analize meteoroloških depeš za Ljubljano je razvidno, da se razmerje med pojavnostjo snega in dežja obrne iz prevladujočega sneženja v prevladujočo dež na območju med 1 °C in 2 °C, in sicer je ob 7. in 19. uri pomaknjeno bolj proti 1 °C ter ob 13. uri pomaknjeno bolj proti 2 °C (slika 5). Ker v starih podatkih (Laibacher Zeitung) pojavi dežja s snegom niso navedeni ločeno od pojavov snega in pojavov dežja, smo za oceno negotovosti iz depeš povzeta števila pojavov dežja s snegom prišteli podatkom iz depeš (enkrat snegu, drugič dežju), končna povprečna meja med sneženjem in dežjem pa je v vseh primerih še vedno med 1 °C in 2 °C. Na drugi strani za podatke iz Laibacher Zeitung dobimo



Slika 5. Število dni s sneženjem ali dežjem ob 7. uri po zimskem času v Ljubljani na podlagi meteoroloških depeš v obdobju 1996–2015, meseci od novembra do aprila. Upoštevane so depeše, kjer je oznaka za sedanje vreme zgolj dež ali zgolj sneženje.

najvišjo temperaturo zraka, pri kateri prevladuje sneg, približno 2,5 °C in najnižjo temperaturo zraka, pri kateri prevladuje dež, približno enako 3,75 °C. Zanimivo, da je nekajkrat zabeleženo sneženje celo pri 7,5–12,5 °C. Najbolj enostavna razlaga je, da v takšnih primerih izmerjene temperature ne sovpadajo s pojavom sneženja.

## Zaključki

Po pričakovanih analizirani podatki iz časopisa Laibacher Zeitung niso najbolj primerljivi s sodobnimi meritvami. Razlog za to je verjetno sistematična napaka meritev zaradi verjetne postavitve merilnika ob stavbi, problem pri analizi pa predstavlja tudi pomanjkanje nekaterih izvodov časopisov. Na podlagi analize pojavnosti sneženja in dežja v odvisnosti od izmerjene temperature pa lahko podamo okvirno vrednost, za katero bi morali meritve, objavljene v Laibacher Zeitung, popraviti, da bi dobili bolj reprezentativne rezultate – za hladnejši del leta bi bilo potrebno znižati temperaturne vrednosti za okoli 1,5 °C. Kljub temu pa tudi iz popravljenih meritev težko dobimo dobro oceno dnevne povprečne temperature, saj ne poznamo ure jutranjih in večernih meritev.

## Viri

Historical Instrumental Climatological Surface Time Series Of The Greater Alpine Region. Medmrežje: <http://www.zamg.ac.at/histalp/index.php> (22.9.2016)

Lipič, F. V., 2003. Topografija c.-kr. Deželnega glavnega mesta Ljubljane z vidika naravoslovja in medicine, zdravstvene ureditve in biostatike. Ljubljana: Znanstveno društvo za zgodovino zdravstvene kulture Slovenije.

Muller, R., 2010. Berkeley Earth Surface Temperature Study. Medmrežje: <http://www.berkeleyearth.org> (22.9.2016)

Nadbath, M., 2015. Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011. 1, Meteorološka opazovanja I. Ljubljana: Agencija RS za okolje.

# Optimizacija algoritmov radarske detekcije toče za območje Slovenije

Gregor Stržinar

V diplomskem delu je, na podlagi meritev radarske odbojnosti, talnih opazovanj toče in meritev vertikalne sondaže atmosfere za obdobje med letoma 2002 in 2010, potekala optimizacija in primerjava metod radarske zaznave toče. Obravnavani so bili štirje algoritmi:

- Zmax (maksimalna radarska odbojnost v izbranem stolpcu)
- Waldvogel (višina referenčne radarske odbojnosti nad ničto izotermo)
- SHI (indeks uteženega vertikalnega profila radarske odbojnosti)
- VIL (ocena vode v stolpcu na podlagi vertikalnega profila radarske odbojnosti).

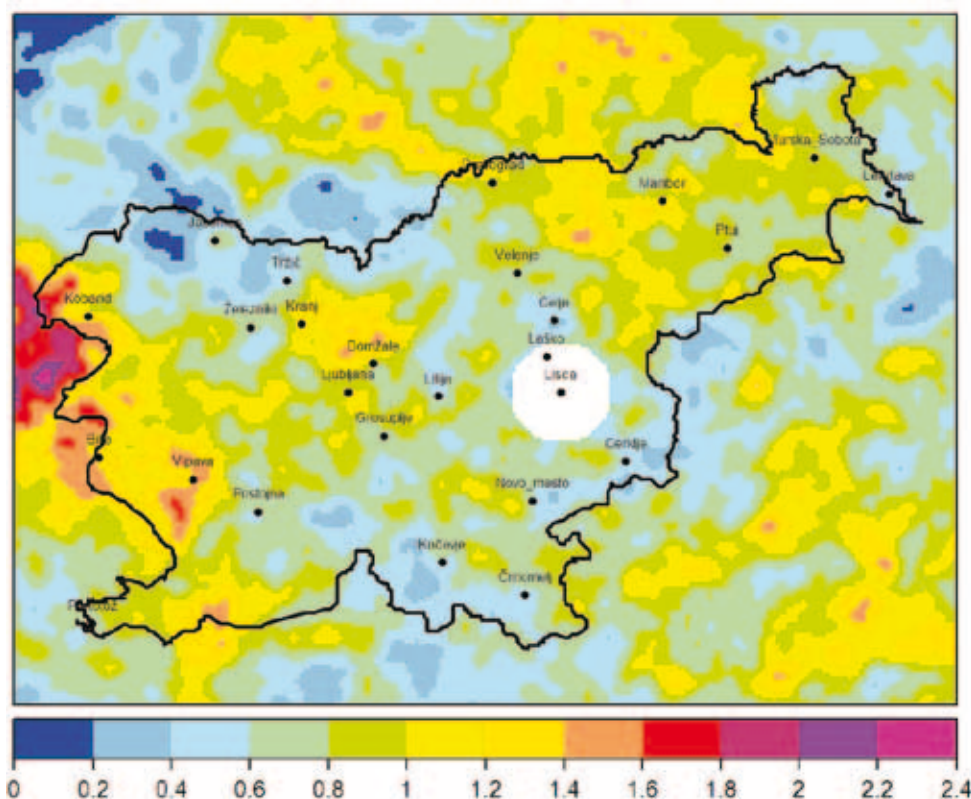
Na podlagi povprečja dveh najuspešnejših metod je bila izdelana karta povprečnega letnega števila dni s pojavom toče za obdobje maj-avgust.

Verifikacija je močno pogojena s podatki, na podlagi katerih verificiramo metode. V obravnavanem primeru so bila to talna opazovanja toče. Prav tako

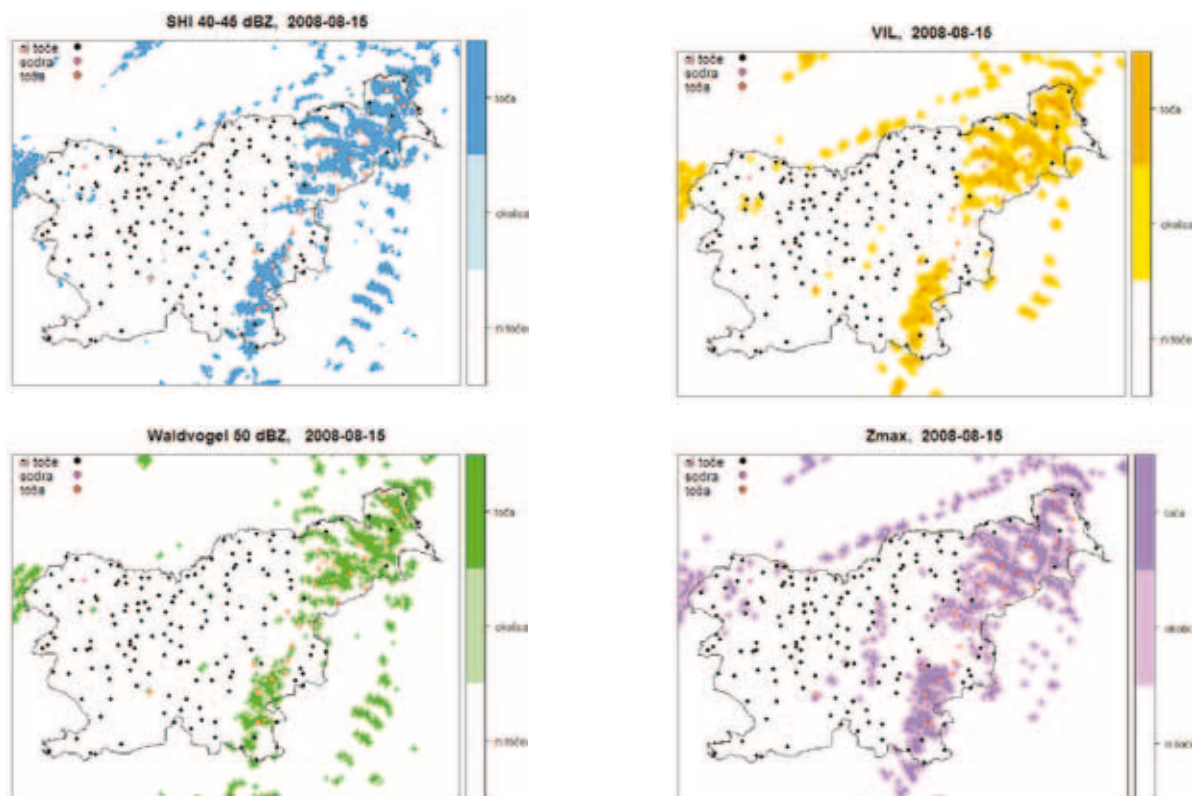
imajo radarske meritve nekaj možnih virov napak, saj se meritve izvajajo v diskretnih elevacijah in časovnih intervalih. Časovna diskretnost je omiljena s konceptom okolice, ki zmanjša verjetnost, da se med dvema zaporednima posnetkoma pojavi prazno območje, ki ga je nevihta s točo prizadela.

Kot najboljša se je izkazala Waldvoglova metoda pri kombinaciji okolice z radijem 2 km, referenčne odbojnosti 50 dBZ in pragom višine med vrhom odbojnosti 50 dBZ in ničto izotermo pri 3.2 km. Kot druga najuspešnejša se je izkazala metoda SHI pri radiju okolice 1 km. Metodi VIL in Zmax sta dosegli opazno slabše rezultate.

Znotraj območja Republike Slovenije je velika variabilnost pogostosti nastanka toče. Toča se pojavlja od 0.2 do 1.8-krat letno, s povprečno vrednostjo okoli 0.9-krat letno. Območje okrog radarja na Lisci je obarvano z belo barvo, saj je tam višina radarskega žarka premajhna, da bi lahko po Waldvoglovi in SHI metodi uspešno zaznali nevihte s točo.



Slika 1. Povprečno letno število dni s točo za obdobje maj-avgust med letoma 2002 in 2010.



Slika 2. Primer radarske detekcije toče dne 15.8.2008, dobljene na podlagi izračuna optimiziranih metod.

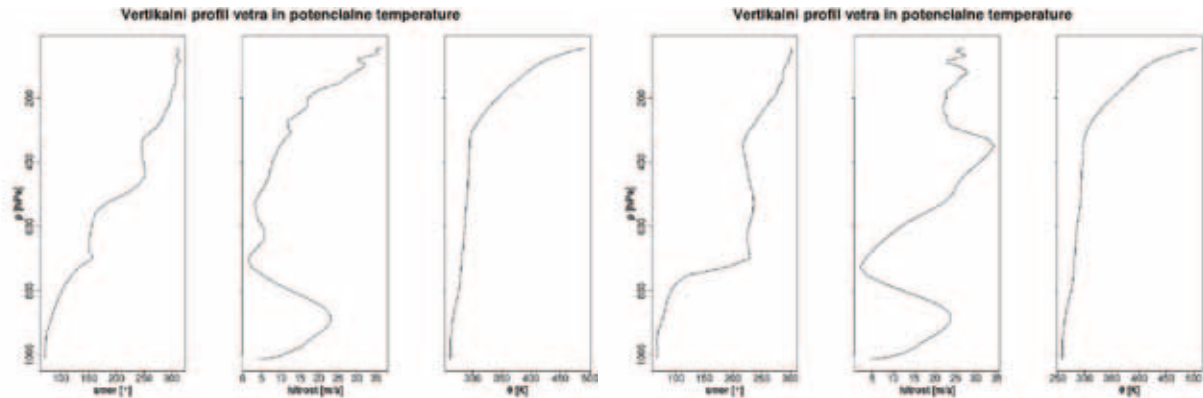
## Prostorsko-časovna analiza močne burje v Vipavski dolini

Klemen Četina

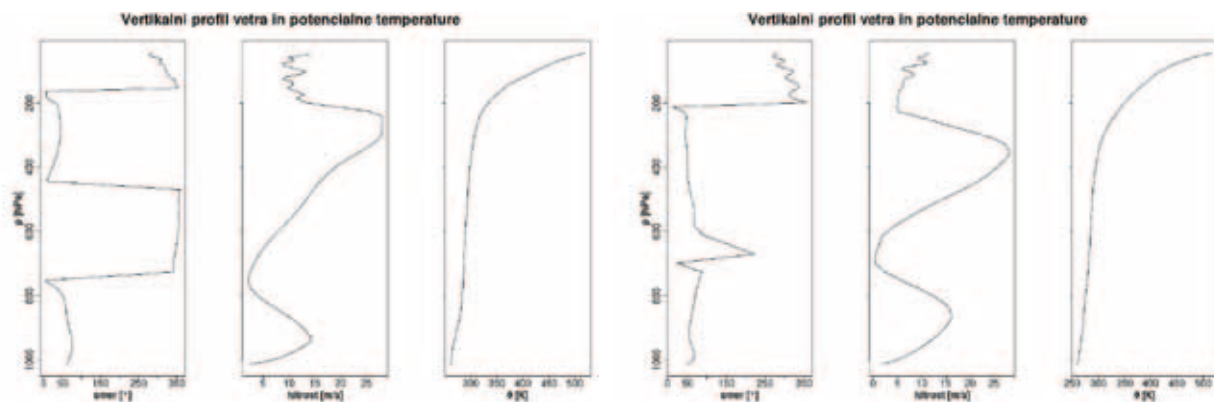
Leta 2012 je Katedra za meteorologijo na Fakulteti za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, v sodelovanju s Centrom odličnosti Vesolje-SI in Škofijsko gimnazijo Vipava, v Vipavski dolini namestila 5 merilnikov vetra. V pričujočem diplomskem delu so uporabljeni 10-sekundni podatki sunkov vetra, izmerjeni v približno 3-tedenskem obdobju, za proučevanje prostorskih in časovnih značilnosti močne burje. Poleg meritev vetra so uporabljene tudi analize Evropskega centra za srednjeročno vremensko prognozo (ECMWF), ki omogočajo opis sinoptične situacije nad Evropo in vertikalne strukture troposfere nad območjem Vipavske doline. Osnovna metoda analize časovnih nizov meritev je spektralna analiza, ki omogoča raziskovanje periodičnosti sunkov in njihovo primerjavo z (v svetu) bolj znano burjo v Senju na Hrvaškem. V diplomskem delu so predstavljeni novi, originalni rezultati, ki kažejo, da vipavska burja vsebuje kvazi-periodičnost (t.i. pulzacije), vendar

je v izbranih situacijah pozimi 2012 ne spremljajo lastnosti vertikalne stratifikacije atmosfere, značilne za senjsko burjo. Slika 1 prikazuje vertikalno stratifikacijo ob dveh terminih z močno burjo, slika 2 pa, ko se je burja umirila. V drugi situaciji je značilno pojavljanje vetrovnega stržena v zgornji troposferi, ki piha s severovzhoda.

Raziskave burje v Senju so pokazale, da je pojavljanje omenjenega vetrovnega stržena, povezano tudi s prenehanjem pulzacij burje. Tega na podlagi rezultatov diplomskega dela ni bilo mogoče potrditi ali ovreči. Razlog bi lahko bila manjša pogostost meritev (vsakih 10 sekund v primerjavi s sekundnimi ali celo pogostejšimi v Senju). Prav tako meritve v Vipavski dolini niso ponudile podatka o smeri vetra. Tretji razlog pa bi lahko bile tudi razlike v dinamiki vipavske burje v primerjavi s senjsko.



Slika 1. Analiza ECMWF navpične stratifikacije smeri in hitrosti vetra ter potencialne temperature nad Idrijo v privetrju Nanosa 2.2. (levo) in 3.2. (desno) 06 UTC.



Slika 2. Analiza ECMWF navpične stratifikacije smeri in hitrosti vetra ter potencialne temperature nad Idrijo v privetrju Nanosa 9.2. 00 UTC (levo) in 13.2. 06 UTC (desno).

## Vpliv stranskih robnih pogojev na naraščanje napak napovedi v regionalnih prognoističnih modelih

Ana Car

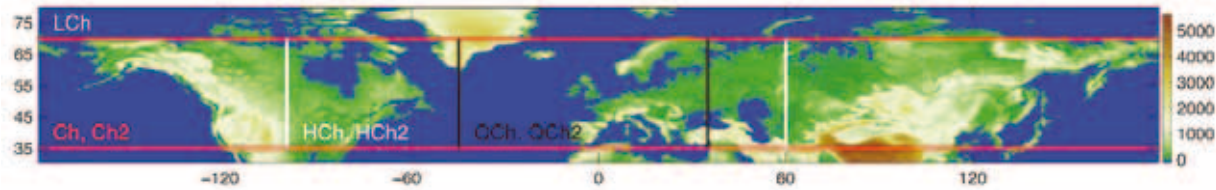
Diplomsko delo proučuje vpliv stranskih robnih pogojev na napake napovedi regionalnih modelov. Napake so opisane s pomočjo korena povprečnih kvadratnih napak (RMSE). Uporabljeni sta dve skupini numeričnih eksperimentov. Pri prvi je regionalni model WRF vgnезden v globalni model ECMWF, pri drugi pa v model WRF na večji domeni. Pri obeh skupinah poskusov je na vseh domenah opravljenih 10 simulacij. Simulacije so zagnane v desetih zaporednih dneh z zamikom enega dneva med njimi in vse trajajo 10 dni. Začetek prve je 1.1.2009.

V obeh primerih imata regionalni model in model gostitelj enako ločljivost, napovedi regionalnega

modela pa so verificirane s poljem modela gostitelja, ki jih tudi oskrbuje z začetnimi in stranskimi robnimi pogoji. S takšno zasnovo eksperimentov so v drugi skupini odstranjene razlike med modeloma, kar posledično pomeni manjše napake. Napovedi so ustvarjene na različno velikih domenah severne poloble (slika 1).

Časovni razvoj napak je proučevan s pomočjo Hovmoellerjevih diagramov, ki prikazujejo časovni razvoj napak v zonalni smeri (abscisa prikazuje zemljepisno širino, ordinata pa čas od začetka napovedi). Slika 2 prikazuje Hovmoellerjeve diagrame RMSE zonalne in meridionalne komponente vetra na





Slika 1. WRF domene, uporabljene za numerične eksperimente s prikazom orografije (m) Vir: Žagar in sod.

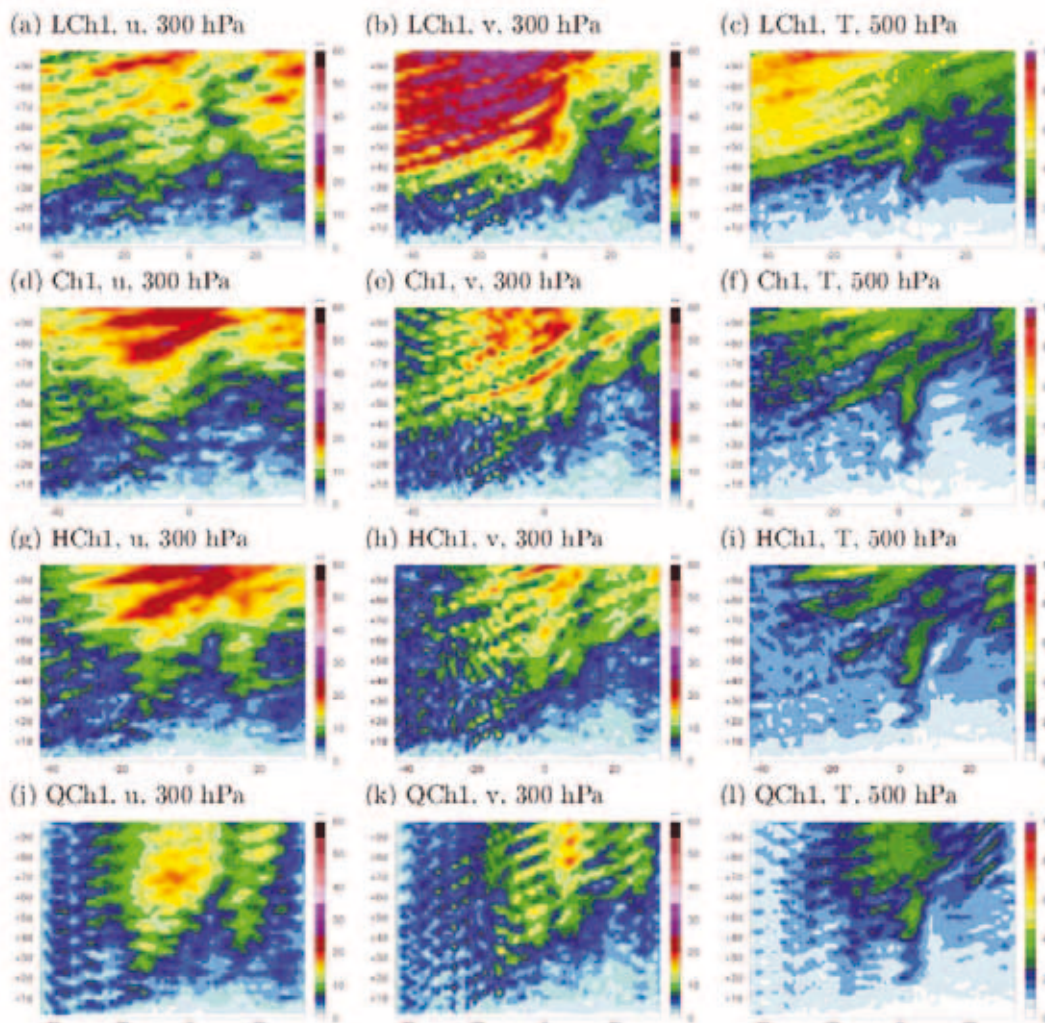
300 hPa in temperature na 500 hPa pri zemljepisni širini 45°N za prvo skupino poskusov na najmanjši domeni (QCh). Splošna značilnost je tudi občutno povečanje napak od tretjega ali četrtega dneva napovedi dalje. Na diagramih RMSE se vidijo enodnevne periode, ki bi utegnile biti povezane z enodnevnim zamikom posameznih simulacij. Z večjim številom simulacij bi bile te manj medsebojno korelirane in bi tudi vrednosti na diagramih RMSE bile manjše.

Rezultati potrjujejo, da je velikost domene bistvenega pomena za razvoj napak. Z naraščanjem velikosti domene modela se napake povečujejo. Pri tem imata pomembno vlogo dva faktorja: notranja

variabilnost modela in stranski robni pogoji. Napake se praviloma širijo proti vzhodu v odvisnosti od hitrosti povprečnega toka in lokacije zahodnega in vzhodnega roba domene. Povprečne hitrosti napak, ocenjene iz naklona območij večjih vrednosti napak, so med 6° na dan in 20° na dan. Podobne so tudi hitrosti pri gnezdenju modela WRF samega vase, velikosti napak so bistveno manjše, razlikuje pa se tudi njihova oblika.

Vir:

Žagar, N., L. Honzak, R. Žabkar, G. Skok, J. Rakovec, and A. Ceglar, *Uncertainties in a regional climate model in the mid-latitudes due to the nesting technique and the domain size*. Journal of Geophysical Research: Atmosphere, Vol. 118, 6189-6199, 2013



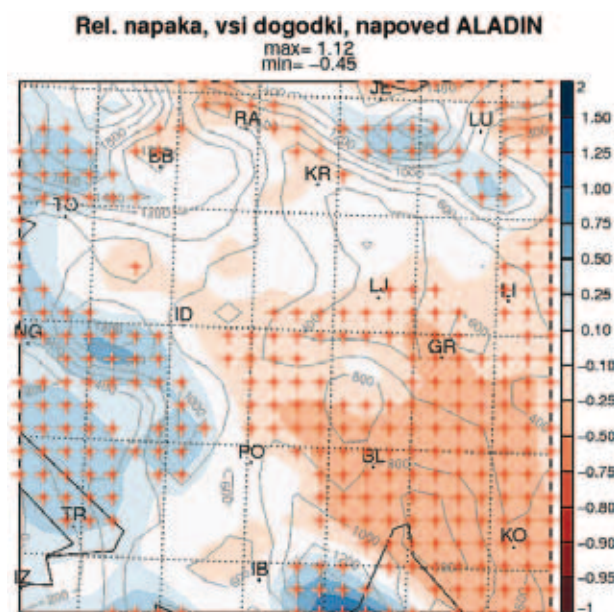
Slika 2. Hommoellerjevi diagrami RMSE zonalne in meridionalne komponente vetra (m/s) na 300 hPa in temperature (°C) na 500 hPa pri zemljepisni širini 45°N. Prikazani so vsi eksperimenti prve skupine na domeni QCh.

# Sinoptično-statistična analiza napak napovedi padavin prognostičnega modela ALADIN-SI v izbranih vremenskih situacijah

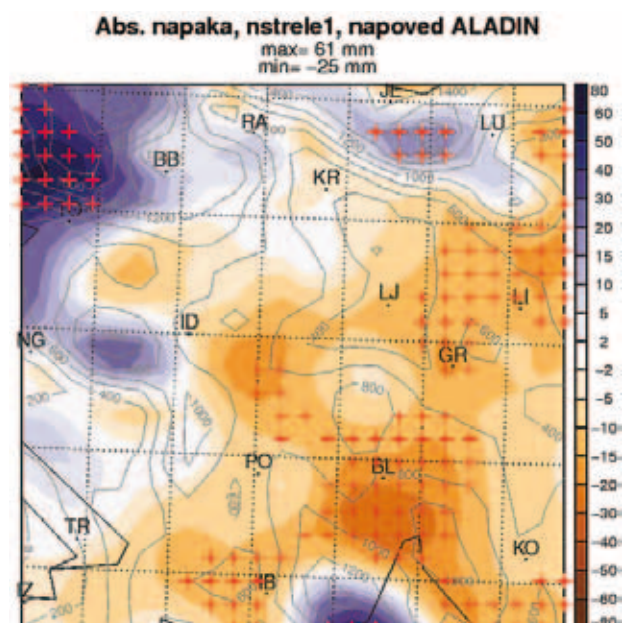
Blaž Šter

Količina padavin je eden izmed najpomembnejših produktov modelov za napovedovanje vremena. Zaradi zapletenih fizikalnih procesov povezanih z nastankom padavinskih delcev, padavine sodijo med najtežje napovedljive meteorološke spremenljivke. Ob veliki časovni in prostorski spremenljivosti so tudi meritve padavin velik izziv. V diplomskem delu je predstavljena sinoptično–statistična analiza porazdelitve napak napovedi 24-urnih padavin modela ALADIN-SI za območje zahodne polovice Slovenije (območje SLOZ) za obilnejša deževja v hladnem delu leta od oktobra 2011 do konca februarja 2014. V tem času je nastanek padavin pogojen s procesi na sinoptični prostorski ravni. Ker je zračni tok zaradi reliefa preoblikovan, so pomembni tudi procesi na mezo skali.

Dogodki so vključeni glede na količino izmerjenih in napovedanih padavin v 24-urah. V analizo je vključenih 58 dogodkov z intenzivnimi padavinami. Padavinske postaje, iz katerih so pridobljene meritve, so neenakomerno porazdeljene po prostoru. Meritve so interpolirane na pravilno mrežo z ločljivostjo 4 km s pomočjo metode kriging, ki je standardna metoda interpolacije meritev na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO). Napovedi 24-urnih vsot padavin na mreži so primerjane z interpoliranimi meritvami. Zaradi pomanjkanja padavinskih postaj je predvsem v hribovitem svetu potrebna previdnost pri interpretaciji rezultatov. Mreža meritev je posebno redka na jugu Slovenije okoli Snežnika. Sinoptične lastnosti napak opisujejo trije indeksi: striženje vetra, orografska komponenta toka v spodnji troposferi



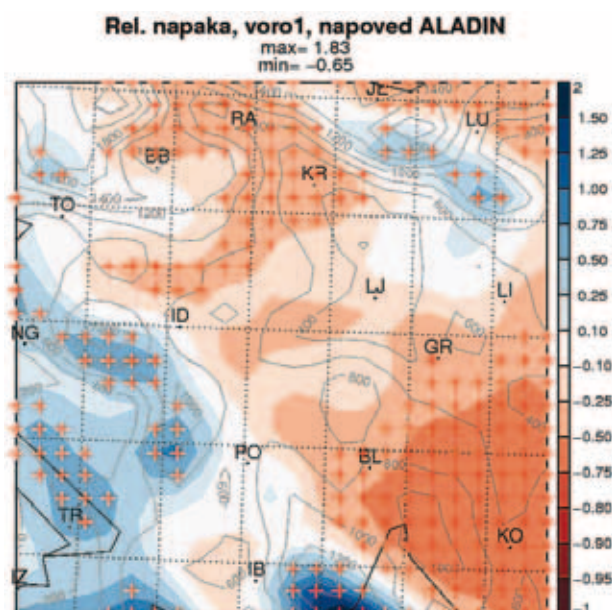
Relativna napaka 24-urne napovedi padavin za vse dogodke. Z rdečimi križci je označeno območje kjer je odklon statistično značilen (stopnja značilnosti 5 %). Na karti so označeni tudi nekateri kraji, s črto deli državne meje, obala in izohipse modelskega reliefa. (Ker je število dogodkov dovolj veliko  $N=58$ , se statistično značilen odklon ujema z večjim odstopanjem nad 0.25 %. Predvsem na območju podcenjevanja padavin pa je statistično značilen odklon tudi v delu manjšega odstopanja med -0.1 in 0.25 %.)



Absolutna napaka 24-urne napovedi padavin ob konvektivnem ozračju (razred s številom strel 1200-6400). (Ob izraziti konvekciji je posebno veliko precenjevanje padavin na privetrni strani Julijskih Alp, kjer napaka dosega vrednosti tudi nad 50 mm. Podcenjevanje padavin ni tako izrazito, v vzhodnem delu absolutna napaka dosega vrednosti do -25 mm.)

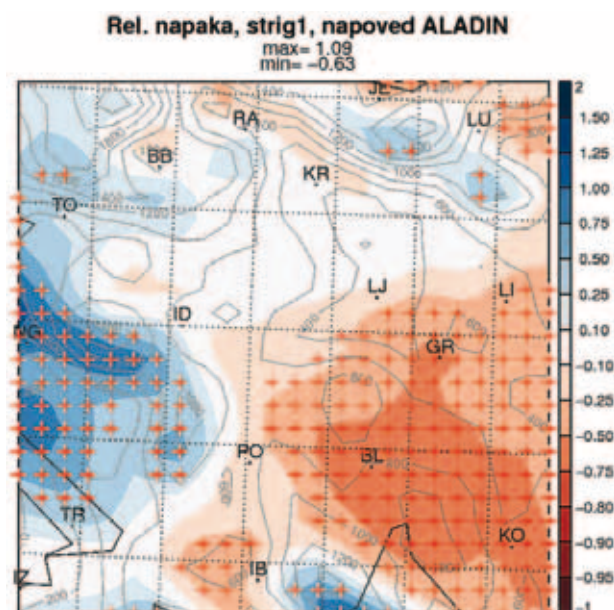
in intenziteta konvekcije. Za izračun indeksov so uporabljene analize modela ALADIN-SI in meritve števila strel pridobljenih iz spletne strani [www.blitzortung.org](http://www.blitzortung.org). Dogodki so glede na velikost indeksa razdeljeni v tri razrede. Za posamezni indeks in razred so predstavljene relativne in absolutne napake, definirane kot razlika med 24-urnimi padavinami med 6. in 30. uro napovedi, ki se začne ob 00 UTC in meritvami v enakem obdobju. Zanesljivost rezultatov je preverjena z Wilcoxonovim statističnim testom. Ugotovljeno je, da se napoved povprečnih količin v večini primerov dobro ujema z meritvami, razlike v

količini se pojavijo v posameznih podobmočjih. V vseh razredih, ne glede na indeks, model precenjuje padavine v privetrju alpsko-dinarske pregrade in podcenjuje padavine v njenem zavetrju. Napaka je največja ob močnem striženju vetra in ob močnem vetru pravokotno na alpsko-dinarsko pregrado. V posameznih razredih lahko napoved dvakratno preceni padavine, v povprečju pa je napaka večinoma v mejah od  $\pm 25\%$  do  $\pm 75\%$ . Absolutna napaka je največja ob močno konvektivnih dogodkih. Zaradi redkosti takšnih dogodkov v analizi je statistično značilna le na severozahodu in jugovzhodu Slovenije.



Relativna napaka 24-urne napovedi padavin ob veliki orografski komponenti vetra (razred s hitrostmi 10-18 m/s) na višini 850 hPa.

(Orografska komponenta vetra je v grobem kazalec za orografske padavine, ki prevladujejo kadar je neposredni tok zraka na pregrado zelo močan. Na karti najdemo dve veliki območji s statistično značilnim odstopanjem. Zlasti opazno je precenjevanje padavin pred glavno pregrado in še bolj podcenjevanje na zavetrni strani pregrade. Pas statistično značilne napake je v zavetrju razdeljen na dva dela. Odstopanje je v obeh delih veliko, približno v intervalu od 0.5 do 0.75. Območja s statistično značilnim odklonom najdemo večinoma le na privetrnih pobočjih. Odklon obsega interval od 0.5 do 0.75. Podobna razporeditev napake je prav tako v privetrju in zavetrju Kamniško-Savinjskih Alp.)



Relativna napaka 24-urne napovedi padavin ob velikem striženju vetra (razred s hitrostmi 24-32 m/s) v plasti med 500 in 925 hPa.

(Ob velikem striženju vetra na območju Primorske in Notranjske se odstopanja še povečajo glede na statistiko za vse dogodke. Napaka ima izrazito dipolni značaj. Na jugovzhodnem delu SLOZ najdemo veliko območje z negativnim odklonom, kjer model podcenjuje padavine za več kakor polovico (relativna napaka od -0.5 do -0.75). Na zahodu SLOZ je območje pozitivnega odklona, ki je po površini manjše, relativna napaka dosega do 1.1. Območje z izrazitim precenjevanjem padavin se nahaja na pobočju Trnovskega gozda in deloma na Krasu. To sta tudi edini večji območji, kjer je odstopanje modela od meritev statistično značilno.)

# Prvi poskus določitve jakosti padavin iz radarskih meritev v dvojni polarizaciji v Sloveniji

Primož Ribarič

V diplomski nalogi sem analiziral kakovost prvih poskusnih polarimetričnih meritev z vremenskimi radarji v Sloveniji, opravljenih z radarjem na Pasji ravni. To je nov, drugi vremenski radar v Sloveniji, na katerem se operativne meritve izvajajo na vsakih 10 minut v horizontalni polarizaciji od januarja 2014. Prve testne meritve v dvojni polarizaciji pa so se izvajale med padavinskimi dogodki od januarja do junija 2016. Ovrednotil sem lahko le meritve polarimetričnih količin  $K_{dp}$  (specifična diferenčna faza) in  $\rho_{hv}$  (križno-polarni korelacijski koeficient), diferencialne odbojnosti  $Z_{dr}$  pa ni bilo mogoče vključiti v študijo zaradi neizvedene relativne kalibracije med horizontalnim in vertikalnim kanalom. Zaradi težav z nadgradnjo radarskega programja Vaisala IRIS/Radar je bila testna faza končana sredi junija 2016.

## Klasično (nepolarimetrično) radarsko merjenje padavinskih delcev

Vremenski radar je radiolokacijska naprava, kjer antena v ozek prostorski kot oddaja kratke pulze EMV (elektromagnetnega valovanja) v ozračje in meri od sipalcev odbito EMV. Pulzi imajo časovno dolžino  $\tau$  običajno okoli 1  $\mu$ s in se ponavadi ponavljajo vsako 1 ms. V časih med zaporednimi pulzi sprejema odbito valovanje iz ovir v ozračju. Razdaljo med radarjem in oviro dobimo iz časovnega zamika med oddanim in prejetim pulzom  $t$ :

$$r = ct/2 \quad (1)$$

Radarska enačba povezuje oddano moč EM pulza  $P_{odd}$  z močjo prejetega od sipalcev nazaj sipanega (odbitega) signala  $P_{oddb}$  za vse vrste sipalcev:

$$P_{spr}(r) = \left(\frac{c\tau}{2}\right) \left[\frac{P_t G_0^2 \lambda^2}{(4\pi)^3}\right] \left[\frac{\pi \theta_3^2}{8 \ln 2}\right] \frac{\eta_{oddb}}{r^2} \quad (2)$$

kjer je  $\eta_{oddb}$  volumska gostota odbojnih sipalnih presekov sipalcev ( $\sigma_{oddb}$ ) v ozračju,  $G_0$  dobitok antene,  $\lambda$  valovna dolžina EMV v pulzu,  $\theta_3$  pa razpolovna širina glavnega antenskega snopa ( $1/2 \approx -3$ dB, od tod indeks 3).

Ker imamo opravka z množico sipalcev z ekvivalentnim premerom  $D$ , je prostorninska gostota odbojnih presekov sipalcev:

$$\eta_{oddb} = \frac{1}{V} \sum \sigma_{oddb} \xrightarrow{V \rightarrow 0} \int_0^\infty \sigma_{oddb}(D) N(D) dD \quad (3)$$

Z  $N(D)$  smo označili številsko gostoto padavinskih delcev - hidrometeorjev ( $n$ ) na enoto premera:

$$n = \frac{\partial N_1}{\partial V} \quad N(D) = \frac{\partial n}{\partial D} \quad (4)$$

kjer  $N_1$  označuje število padavinskih delcev.

V radarski enačbi nosi bistveno vlogo odbojni sipalni presek  $\sigma_{oddb}$  (odbojni sipalni presek je sipalni presek v smeri nazaj proti anteni), ker ni odvisen le od porazdelitve sipalcev po obliki in velikosti, temveč tudi od same vrste padavinskih delcev znotraj merjenega volumna. Če je vodna kapljica preprosta sferična dežna kapljica s premerom, mnogo manjšim od valovne dolžine vpadnega valovanja, velja zanjo Rayleighova teorija sipanja. Tedaj je odbojni presek  $\sigma_{oddb}$  v zvezi s šesto potenco premerov kapljic  $D$ :

$$\sigma_{oddb} = \left(\frac{\pi^5}{\lambda^4}\right) |K_w|^2 D^6 \quad (5)$$

Clausius-Mossotijev faktor  $K_w$  je kompleksna količina, odvisna od kompleksnega lomnega količnika kapljice. Njegova kvadratna absolutna vrednost za vodo je na mikrovalovnem frekvenčnem področju, v katerem deluje vremenski radarji (X,C,S), skoraj konstantna:

$$|K_w|^2 \approx 0,91 - 0,93 \quad (6)$$

za led pa konstantna:

$$|K_l|^2 = 0,18 \quad (7)$$

V radarski meteorologiji vpeljemo (radarsko) odbojnost kot volumsko gostoto  $D^6$ :

$$Z \equiv \frac{1}{V} \sum_V D^6 \quad \xrightarrow{v \rightarrow 0} \quad \int_0^{\infty} D^6 N(D) dD \quad (8)$$

Ker agregatnega stanja hidrometeorjev ne poznamo, privzamemo, da imamo opravka s kapljicami. Tedaj je to ekvivalentna odbojnost  $Z_e$ :

$$Z_e \equiv \frac{|K|^2}{|K_w|^2} Z \quad (9)$$

Merjeno odbojnost izrazimo s prostorninsko gostoto sipalnih presekov (za množico sipalcev v izbranem volumnu zraka na razdalji  $r$ ):

$$Z_e = \frac{\lambda^4}{\pi^5 |K_w|^2} \int_0^{\infty} \sigma_{\text{odb}}(D) N(D) dD \quad (10)$$

Ta definicija je uporabna za kakršenkoli tip sipalcev, ne glede na izbiro radarja (eno-polarizacijsko ali dvojno-polarizacijsko). Odbojnost običajno izražamo v enotah  $dBZ$ , ki je definirana kot:

$$dBZ \equiv 10 \log \frac{Z}{1 \text{ mm}^6/\text{m}^3} \quad (11)$$

Če vstavimo odbojni sipalni presek (5) v radarsko enačbo za padavinske sferične delce (2), se ta glasi:

$$P_{\text{spr}}(r) = \left( \frac{c \tau}{2} \right) \left[ \frac{P_{\text{odd}} G_0^2}{\lambda^2 (4\pi)^3} \right] \left[ \frac{\pi \theta_1 \varphi_1}{8 \ln 2} \right] \frac{\pi^5 |K_w|^2}{r^2} Z_e(r). \quad (12)$$

Pri čemer smo predpostavili, da imamo opravka z vodnimi kapljicami. Ekvivalentna odbojnost za ledene hidrometeorje je bistveno manjša od ekvivalentne odbojnosti za vodne kapljice:

$$Z_e(\text{led}) \equiv \frac{|K_l|^2}{|K_w|^2} Z \approx 0,20 \approx -7,0 \text{ dB} \quad (13)$$

To je znan problem nepolarimetričnih meritev, viden na vertikalnih prerezih volumskih meritev kot svetli

pas (angl. bright band). Nahaja se na območju taljenja ledenih padavinskih delcev tik pod 0-to izotermo, ker se površina padavinskih delcev omoči, odbojnost pa poveča za 7 dB.

Vodnost oblačne mase  $M$ , je vodnost, ki predstavlja količino v kapljice kondenzirane vodne pare in predstavlja mero pri tem sproščene latentne toplote, ki je glavni vir ojačitve vzgona in moči nevihtnih sistemov ter se spreminja z višino. Če predstavimo porazdelitev kapljic po velikosti in številski gostoti z  $N(D)$ , in označimo gostoto vode z  $\rho_w$ , je vodnost enaka:

$$M = (\pi \rho_w / 6) \int_0^{\infty} D^3 N(D) dD. \quad (14)$$

Že z nepolarimetričnim radarjem lahko izračunamo *VIL* (angl. »Vertically Integrated Liquid«) – to je vsebnost vode v ozračju, točneje v troposferi, v vertikalnem stolpcu nad izbrano točko na tleh (iznašla sta jo Clark in Greene leta 1972):

$$VIL = \int_0^{h_{\text{max}}} M(h) dh \quad (15)$$

Ker je gostota vode  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ , je višina stolpca nad enotsko ploskvijo  $1 \text{ m}^2$ , izražena v mm, številsko enaka vrednosti, izraženi v enoti  $\text{kg/m}^3$ ,  $M$  pa je vodnost oblaka. Če privzamemo Marshall-Palmerjevo eksponentno porazdelitev kapljic po velikosti:

$$\begin{aligned} N(D) &= N_0 \exp(-\Lambda D) \\ \Lambda(R) &= 4,1 R^{-0,21} \text{ mm}^{-1} \\ N_0 &= 8 \times 10^3 \text{ m}^{-3} \text{ mm}^{-1} \end{aligned} \quad (16)$$

lahko vodnost  $M$  (v anglosaški literaturi  $W$ ) izrazimo neposredno z odbojnostjo  $Z$ , njej recipročno relacijo pa poznamo kot  $Z$ - $M$  ( $Z$ - $W$ ) relacijo:

$$Z = 20465,5 \times M^{7/4} \quad [\text{mm}^6/\text{m}^3] \quad (17)$$

$M$  je v enotah  $\text{g/m}^3$ . V dokumentaciji Vaisala IRIS/Radar je priporočena vrednost koeficienta 20000 za tekoče padavine in 10-krat manjša vrednost 2000 za sneg.

Radarska jakost padavin  $R$  je masni tok hidrometeorjev skozi horizontalno ploskev.

$$\begin{aligned} R &= (\pi/6) \int_0^{\infty} D^3 N(D) w_{\infty}(D) dD \\ [ \text{kg/m}^2 \text{ s} ] &= [ \text{mm/s} ] \end{aligned} \quad (18)$$

Lahko jo izračunamo iz izmerjene odbojnosti, če predpostavimo Marshall-Palmerjevo porazdelitev kapljic po velikosti in pa potenčno odvisnost terminalnih hitrosti kapljic od premerov (Atlas in Ulbrich):

$$w_{\infty}(D) \approx a' D^{b'} \quad a' = 386,6, \quad b' = 0,67. \quad (19)$$

Enačbo malo preoblikujemo z uvedbo značilnega premera  $D_*$  in značilne hitrosti  $w_*$ :

$$w_{\infty}(D) = \left(\frac{D}{D_*}\right)^{b'} w_* \quad (20)$$

Privzemimo, da vzgornik v oblaku lahko zanemarimo. Jakost padavin (18) je povezana z odbojnostjo (8) s potenčno zvezo:

$$R = N_0 \rho_w w_* \frac{\pi \Gamma(4+b')}{6 D_*^6} \left(\frac{Z}{6! N_0}\right)^{\frac{3+b'}{6}}, \quad (21)$$

ki jo krajše zapišemo z:

$$Z = a R^b \quad (22)$$

kjer so jakosti padavin v mm/h oz. kg/m<sup>2</sup>h, odbojnosti pa v mm<sup>6</sup>/m<sup>3</sup>. Če vnesemo v (21) parametre iz (19) in (16), dobimo Marshall-Palmerjevo Z-R relacijo za stratiformne padavine:

$$Z = 200 R^{1,6}. \quad (23)$$

Zveza je nelinearna. Največji delež k izračunu prispevajo večje kapljice. Druge Z-R relacije, prav tako potenčne, upoštevajo porazdelitve, ki bolje opisujejo spekter kapljic pri večjih premerih. Dodatno napako pa pridobimo s slabo določeno terminalno hitrostjo delcev, zlasti tistih z manjšimi premeri. Ker vzgornika ne moremo meriti, ga zanemarimo, s tem pa precenimo dejanske padavine. Na ARSO se uporablja nekoliko modificirana Joss-Waldvoglova Z-R relacija:

$$Z = 250 R^{1,5}. \quad (24)$$

Izbrana je bila zato, ker Joss-Waldvoglovo Z-R relacijo uporablja švicarska meteorološka služba. Ker so podnebne razmere za nastanek in razvoj padavin v Sloveniji zelo podobne, je njena uporaba pri nas smiselna.

Največjo napako pa povzročata nepoznavanje agregatnega stanja padavinskih delcev. Na območjih svetlega pasu se jakosti padavin, izračunane s Z-R relacijo na ARSO, navidezno povečajo približno za faktor 5.

## Polarimetrično radarsko merjenje padavinskih delcev

Sodobni dvojno-polarizacijski radarji hkrati oddajajo in merijo v horizontalni in vertikalni polarizaciji (H in V), t. im. STAR mode (Simultaneous Transmission and Reception). Odbojna sipalna koeficienta, ki prispevata obema odbojnostima (H in V), sta  $\sigma_{\text{oddb}}^{\text{hh}}$ ,  $\sigma_{\text{oddb}}^{\text{vv}}$  in ju izrazimo s sipalnimi koeficienti v sipalni matriki  $\mathbf{S}$  za en sipalec ali množico sipalcev na razdalji  $r$  od radarja:

$$Z_{h,v} = \frac{\lambda^4}{\pi^5 |K_w|^2} \int_0^{\infty} \sigma_{\text{oddb}}^{\text{hh,vv}}(D) \frac{\partial n}{\partial D} dD \quad (25)$$

$$\sigma_{\text{oddb}}^{\text{hh,vv}}(D) = 4\pi |S_{\text{hh,vv}}(D)|^2$$

Električno poljsko jakost radarskega pulza razstavimo v obe komponenti v polarizacijski ravnini (v Jonesov vektor):

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} E_h \\ E_v \end{bmatrix} \quad (26)$$

Spremembo polarizacije od sipalca nazaj sipanega (odbitega) valovanja  $E$  pa zapišemo s sipalno matriko  $\mathbf{S}$  (Jonesova matrika):

$$\begin{bmatrix} E_h^{\text{spr}} \\ E_v^{\text{spr}} \end{bmatrix} = \frac{e^{ikr}}{r} \mathbf{S} \begin{bmatrix} E_h^{\text{vp}} \\ E_v^{\text{vp}} \end{bmatrix} \quad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_{\text{hh}} & S_{\text{hv}} \\ S_{\text{vh}} & S_{\text{vv}} \end{bmatrix} \quad (27)$$

Prvi spodnji indeks predstavlja bodisi horizontalno (H) bodisi vertikalno (V) polarizacijo sprejetega signala ( $E_{\text{spr}}$ ), drugi spodnji indeks pa predstavlja horizontalni oziroma vertikalni polarizirani signal na vpadnem električnem polju na sipalcu ( $E_{\text{vp}}$ ). Elementi matrike  $S_{ij}$  povezujejo obe komponenti vpadnega električnega polja z odbitimi (sipanim) električnim poljem. Enotne elementov matrike so metri.

Elemente matrike najlažje razumemo, če EM valovanje zadene sferične vodne kapljice premera  $D$ , saj vpadnega EM valovanja ne depolarizirajo in je zato sipalna matrika diagonalna:

$$S_{\text{hh}} = S_{\text{vv}} = S_{\text{sfera}}(D) \quad S_{\text{hv}} = S_{\text{vh}} = 0. \quad (28)$$

V tem primeru neposredno uporabimo definicijo sipalnega preseka, kjer je sipalni koeficient  $S$  neposredno povezan z odbojnim sipalnim presekom:

$$\sigma_{\text{oddb}}(D) = 4\pi |S_{\text{sfera}}|^2. \quad (29)$$

V splošnem primeru pa lahko torej koeficiente sipalne matrike izrazimo z odbojnimi preseki pri različnih kombinacijah vpadne in sipane polarizacije:

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\sqrt{4\pi}} \begin{bmatrix} \sqrt{\sigma_{hh}} & \sqrt{\sigma_{hv}} \\ \sqrt{\sigma_{hv}} & \sqrt{\sigma_{vv}} \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Pri matričnih elementih smo zaradi poenostavitve opustili člene valovne faze ( $e^{i\phi}$ ). Matrični elementi so zaradi faze kompleksna števila.

Tako npr. horizontalno polarizirana komponenta el. poljske jakosti  $E_{spr}$  na sprejemniku lahko vsebuje dva prispevka. Prvi je prenosorazmeren oddani el. poljski jakosti v isti, to je H polarizaciji, drugi pa v njej pravokotni (ko-polarni), oddani el. poljski jakosti v V polarizaciji. V slednjem primeru gre za pojav depolarizacije, to je, da sipanje generira tudi pravokotno glede na vpadno polarizirano EM valovanje.

Poleg odbojnosti in radialne hitrosti sipalcev merimo ali pa izračunamo z dvojnopolarizacijskim radarjem še sledeče količine:

*Diferencialna odbojnost* je razmerje med magnitudama signalov iz obeh kanalov sprejemnika (H in V):

$$Z_{dr} = 10 \log_{10} \left( \frac{Z_h}{Z_v} \right). \quad (31)$$

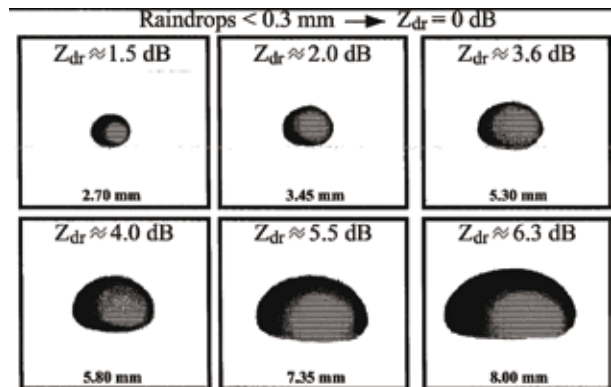
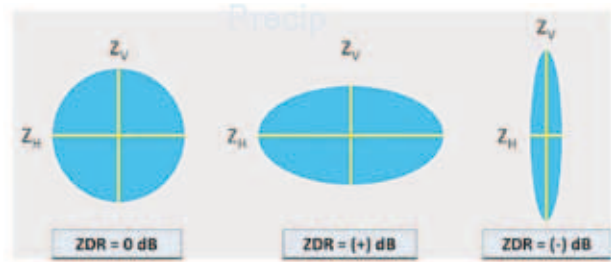
Vrednosti  $Z_{dr}$  pri dežju so ponavadi med 1 in 5 dB, manjše kapljice so bolj sferične oblike, večje pa so bolj sploščene (slika 1),  $Z_{dr}$  suhih snežink so okoli 0 dB, mokre in taljene snežinke dosegaajo višje vrednosti, v primeru toče so vrednosti  $Z_{dr}$  med -1 in 1 dB (višje vrednosti pri talečih zrnih toče).

*Diferenčni fazni zamik*  $\Phi_{dp}$  je fazni zamik, ki nastane med horizontalno in vertikalno polariziranimi pulzi/valovi vzdolž poti radarskega žarka:

$$\Phi_{dp} = \Phi_{hh} - \Phi_{vv}. \quad (32)$$

Povzročajo ga razlike v hitrosti gibanja EM valov (med hitrostjo H in V faze valov) med prehajanjem skozi padavinske in ostale delce v ozračju, ki pa imajo pester nabor oblik in velikosti.

Radialnemu gradientu diferenčnega faznega zamika pravimo specifična diferenčna faza  $K_{dp}$ . V homogenem dežju je diferenčni fazni zamik monotono naraščajoča funkcija z razdaljo s konstantno vrednostjo na enoto razdalje in  $K_{dp}$  [ $^{\circ}/\text{km}$ ] je konstantna. Tukaj je  $K_{dp}$  neposredna mera za količino mase vode na odseku razdalj od radarja ( $r_1$  in  $r_2$ ).  $K_{dp}$  predstavimo kot gradient enosmerne faznega zamika (od tod  $\frac{1}{2}$  v definiciji):



Slika 1. Diferencialna odbojnost in oblika sploščenosti kapljic (zgoraj) in tipične vrednosti  $Z_{dr}$  za različne velikosti kapljic (spodaj). Naveden je horizontalni premer.

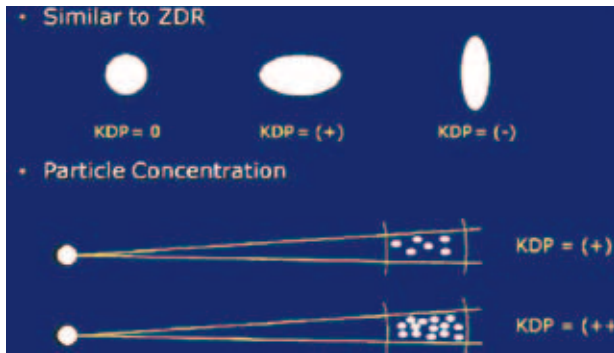
$$K_{dp} = \frac{1}{2} \frac{d}{dr} \Phi_{dp} = \frac{\Phi_{dp}(r_2) - \Phi_{dp}(r_1)}{2(r_2 - r_1)}. \quad (33)$$

Tipične vrednosti  $K_{dp}$  so za suho točo okoli  $0^{\circ}/\text{km}$ , za sneg med  $-1$  in  $+0,5^{\circ}/\text{km}$  in za dež od  $0$  do  $5^{\circ}/\text{km}$ . Višji  $K_{dp}$  nakazuje prisotnost večjih kapljic, lahko pa tudi večjo koncentracijo kapljic v volumnu (slika 2).

*Križno-polarni korelacijski koeficient*  $\rho_{hv}$  predstavlja stopnjo korelacije med odbitima H in V signaloma na določenem volumnu na razdalji  $r$  od radarja (zvezdica zaznamuje konjugirano kompleksno količino):

$$\rho_{hv} = \frac{\langle S_{vv} S_{hh}^* \rangle}{\sqrt{[\langle |S_{hh}|^2 \rangle] [\langle |S_{vv}|^2 \rangle]}}. \quad (34)$$

Majhne razlike med odbitima H in V pulzom pričakujemo pri suhem snegu in dežju, tedaj lahko vrednosti korelacije presežejo 0,97. V primeru mešanice padavin, raznovrstnosti delcev so vrednosti nižje – ponavadi v pasu od 0,8 in 0,97. Večje razlike pa povzročajo predvsem nemeteorološki dejavniki, tedaj padejo vrednosti pod stopnjo 0,8.



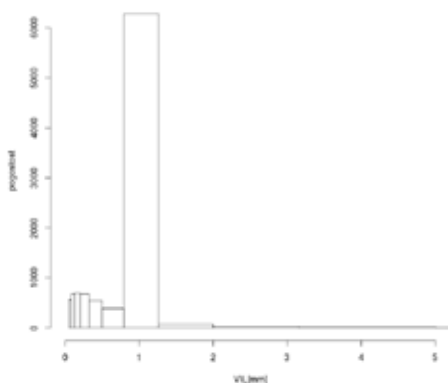
Slika 2. Primer vpliva različnih orientacij in številskih gostot kapljic na specifično diferenčno fazo  $K_{dp}$ .

### Primerjava polarimetričnih radarskih padavin z nepolarimetričnimi in z dežemernimi izmerki

Za analizo so bili izbrani padavinski dogodki spomladi 2016, ko je bila višina taljenja dovolj nad višino radarja (nad okoli 1500 m. n. m.), s čimer smo se izognili svetlemu pasu v odbojnostih. Za razločevanje med stratiformnimi in konvektivnimi padavinskimi oblaki sem si pomagal z operativnimi radarskimi meritvami količine VIL (količina tekoče vode v vertikalnem stolpcu ozračja). Območja z vrednostmi VIL nad 1,6 mm sem okarakteriziral kot konvektivne padavinske oblake in jih nisem obravnaval. Pokazalo se je, da konvektivnih padavinskih oblakov v tem obdobju ni bilo veliko (slika 3).

Izkaže se, da je zveza med jakostjo padavin in  $K_{dp}$  prav tako potenčna kot Z-R relacija. Bistvena prednost pa je, da je skoraj linearna. Za izračun jakosti padavin iz  $K_{dp}$  sem uporabil potenčno R- $K_{dp}$  relacijo s parametroma  $a$  in  $b$  za C-pasovne vremenske radarje, po zgledu iz avstrijske študije (F. Teschl in dr., 2008. Simulation of polarimetric radar variables in rain at S-, C- and X-band wavelengths. Adv. Geosci., 16 (2008), 27-32):

$$R = a K_{dp}^b; \quad a = 18,77 \quad b = 0,769. \quad (35)$$



Slika 3. Histogram vrednosti VIL na lokacijah postaj. Razvidno je, da v obdobju april – junij 2016 ni bilo veliko konvekcije, saj je vrednosti nad pragom 1,6 mm zelo malo.

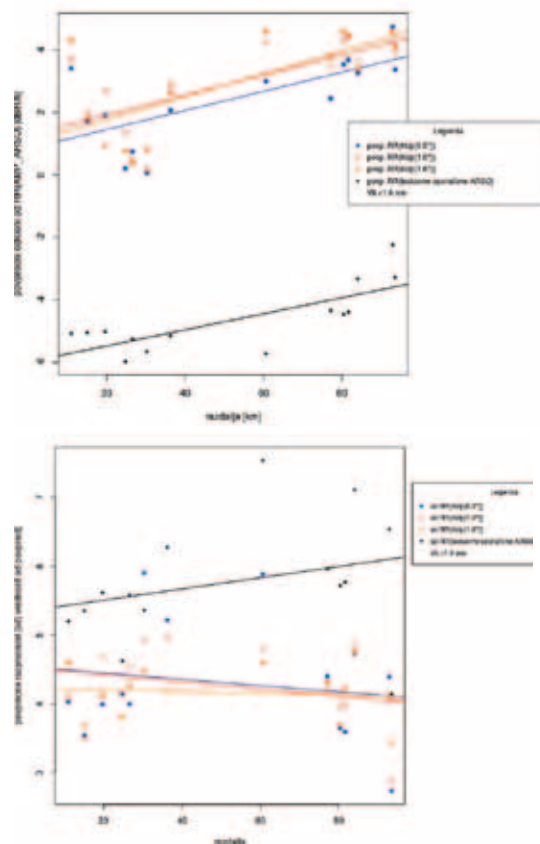
Zaradi podobnih podnebnih razmer in tipov radarjev sta omenjena parametra smiselna tudi na območju Slovenije. Izračune sem primerjal z operativnimi radarskimi meritvami jakosti padavin ter oboje primerjal z meritvami jakosti padavin na izbranih samodejnih postajah merilne mreže ARSO.

Akumulacije padavin  $RA$  [mm] so kvantizirane linearno v manj znanih enotah dBR, ki so definirane podobno kot dBZ:

$$dB R = 10 \log_{10} \left( \frac{R[\text{mm}]}{1 \text{ mm}} \right) \quad (36)$$

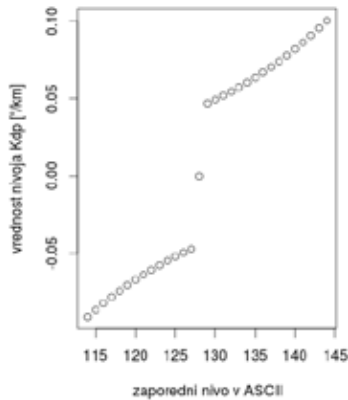
Jakosti padavin pa imajo enoto dBR/h. Nato sem iz nizov meritev izračunal histograme meritev in histograme odklonov radarskih meritev od dežemernih meritev na AMP (samodejnih meteoroloških postajah). Ugotovil sem, da so jakosti padavin  $R(K_{dp})$  sistematsko precenjene glede na meritve AMP (slika 4).

Glavni vir napak je verjetno slabo določena 8-bitna kvantizacija vrednosti  $K_{dp}$  v radarskem programu Vaisala IRIS, saj je okoli vrednosti  $K_{dp} = 0$  °/km vrzel, kjer  $K_{dp}$  ni mogoče kvantizirati (slika 5).



Slika 4. Odvisnost povprečnih odklonov (zgoraj) in SD (spodaj) med jakostmi padavin  $dBR(K_{dp})$  in  $dBR_{AMP}$  v odvisnosti od razdalje od radarja. Uporabil sem  $K_{dp}$  pri prvih treh elevacijah. Za primerjavo sem uporabil tudi odklone med operativnimi enopolarizacijskimi  $R(Z)$  in  $dBR_{AMP}$  izračunanih iz odbojnosti pri prvi elevaciji (črna barva). Opazimo kar sistematično preseganje za približno 5,5 dBR/h.

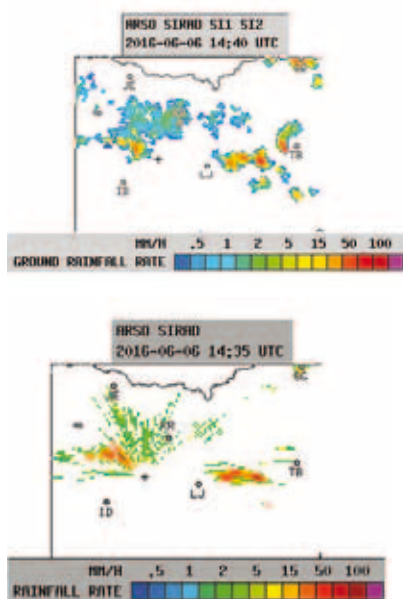




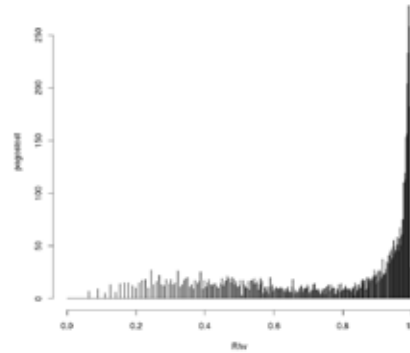
Slika 5. Kvantizirani 8-bitni razredi  $K_{dp}$  v programu Vaisala IRIS okoli razreda 128, kjer je  $K_{dp} = 0.0$ . Preskok je očiten.

Pokazalo se je, da so  $K_{dp}$  v sistemu Vaisala IRIS/Radar naknadno iterativno izboljšane tudi z meritvami diferencialnih odbojnosti  $Z_{dr}$ , ki pa niso kalibrirane. Radarske slike  $K_{dp}$  so hkrati pokazale, da so na območjih intenzivne orografije vrednosti  $K_{dp}$  onesnažene, kar je verjetno posledica napak (ali pa napačnih nastavitvev) v dopplerjevem filtriranju polarimetričnih količin (slika 6).

Zaradi nezmožnosti opravljanja dvojnopolarizijskih meritev od 22. 6. dalje, ni bilo mogoče priti do bistveno večjega niza meritev, ki bi omogočil zanesljivejšo statistiko vsaj pri močnih stratiformnih padavinah. Dobljeni rezultati kažejo na nekoliko manjši razsip (standardni odklon) odklonov radarskih padavin, izvedenih iz  $K_{dp}$ , v primerjavi z izvedenimi iz  $Z$  po standardni Z-R relaciji. To je edini otipljiv rezultat.



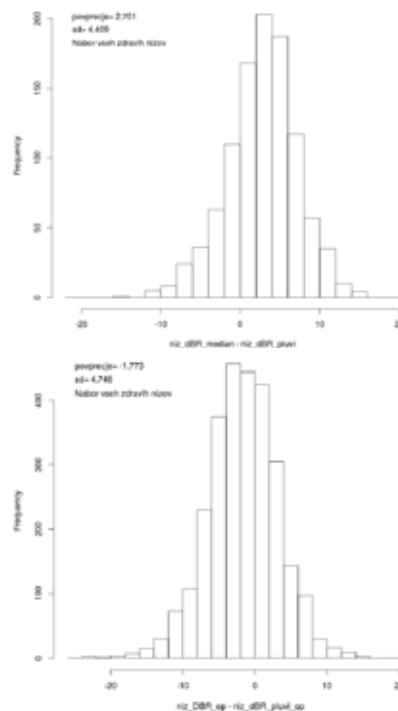
Slika 6. Prikaz PPI (elevacija=1,0°) izvedenih  $R(K_{dp})$  (spodaj) in primerjava z operativnimi talnimi jakostmi padavin (vertikalno korigiranih) (zgoraj), sestavljenih iz obeh radarjev. Onesnažena območja so na območju intenzivne orografije. PPI – meritev ali prikaz radarskih količin pri konstantni elevaciji antene (ang. »Plane Position Indicator«)



Slika 7. Histogram točkovnih vrednosti na lokacijah vseh postaj AMP. Na grafu se lepo vidi, da vrednosti dosega semiempirični maksimum za dober dvojnopolarizijski radar.

Edina dvojnopolarizijska količina, ki daje pričakovane rezultate, je korelacijski koeficient  $\rho_{hv}$ . Dosega teoretični semi-empirični maksimum 0,998 (slika 7).

Zaradi premajhnega niza meritev in števila postaj ni bilo mogoče zanesljivo določevati parametrov  $R-K_{dp}$  relacije z regresijskimi metodami. Da meritve  $K_{dp}$  niso povsem napačne, kažeta tudi histograma odklonov med  $R(K_{dp})$  in  $R_{AMP}$  ter  $RR$  in  $R_{AMP}$ . Analiza, ki je bila narejena za 11 dogodkov s stratiformnimi padavinami kaže, da  $R(K_{dp})$  sistematično precenjuje jakosti padavin, medtem ko jih operativne nepolarimetrične  $R(Z)$  sistematično podcenjujejo (slika 8).



Slika 8. Dvojno polarizacijske meritve jakosti padavin  $R(K_{dp})$  precenjujejo jakosti padavin, v primerjavi z enopolarizijskim klasičnimi operativnimi meritvami  $RR$ . Primerjava s točkovnimi vrednostmi radarskih količin na lokacijah vseh AMP. Oba histograma so integralne meritve  $RR$  vseh nizov.

# Objektivna opredelitev podnebnih regij Slovenije

Katja Kozjek

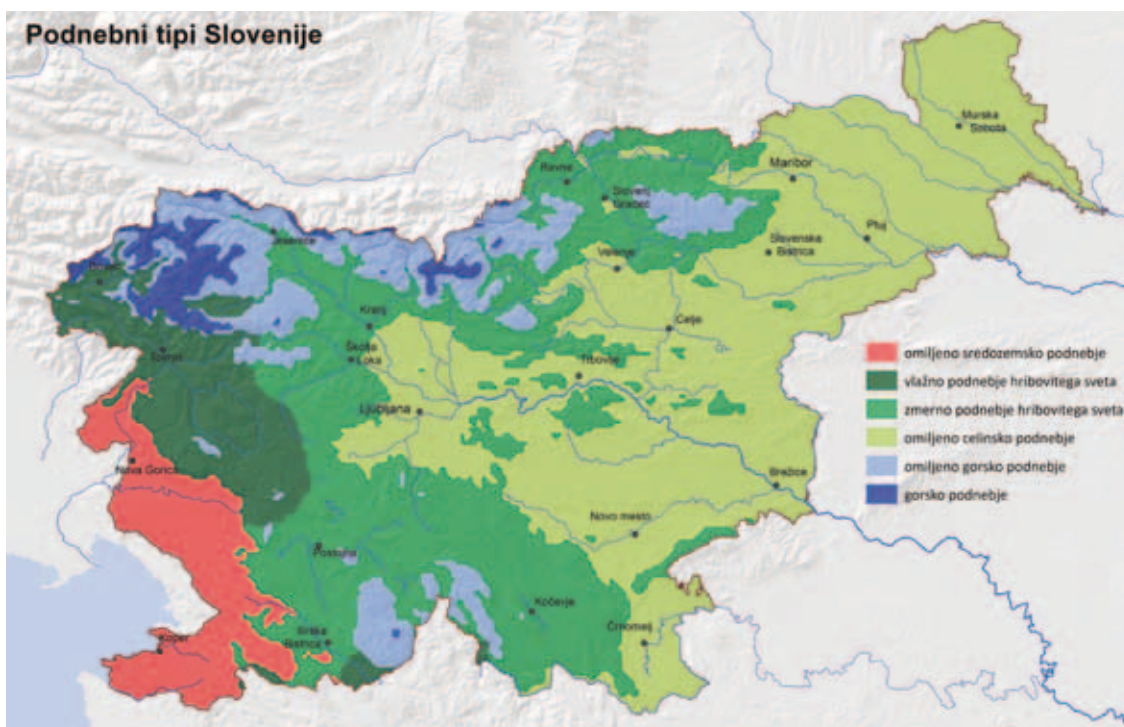
V magistrski nalogi sem karseda objektivno, samo z uporabo podnebnih podatkov, s statističnimi metodami razvrščanja v skupine, določila podnebne regije Slovenije. Uporabljeni so bili podnebni podatki v pravilni mreži za zadnje tridesetletno referenčno obdobje 1981-2010.

S predhodno analizo podatkov sem določila ključne podnebne spremenljivke na podlagi katerih sem opredelila podnebne regije. Razvrščanje sem izvedla s kombinacijo dveh statističnih metod. Najprej sem na podatkih izvedla faktorsko analizo, ki ji je sledilo razvrščanje v skupine po metodi voditeljev. S faktorsko analizo se je število začetnih spremenljivk z 31, zmanjšalo na štiri spremenljivke oz. faktorje. Ti faktorji so predstavljali nove spremenljivke, ki sem jih uporabila pri razvrščanju v skupine.

Ugotovila sem, da na območju Slovenije najbolj smiselno in reprezentativno razvrstitev predstavlja razvrstitev v šest podnebnih skupin oz. regij (slika 1). S takšno razvrstitvijo dobimo primorsko regijo, zelo namočeno regijo severozahodnega dela dinarsko-alpske pregrade, dvignjeno regijo dinarsko-alpskega

sveta, regijo visokogorja, suho regijo nižinskega sveta vzhodne in osrednje Slovenije ter višjo in malo bolj namočeno regijo osrednje Slovenije. Za te podnebne regije sem predlagala naslednja imena: omiljeno sredozemsko podnebje, vlažno podnebje hribovitega sveta, zmerno podnebje hribovitega sveta, omiljeno celinsko podnebje, omiljeno gorsko podnebje, gorsko podnebje.

Celotno analizo sem ponovila še na podatkih za obdobje 1961-1990 in dobljeno razvrstitev primerjala z razvrstitvijo iz prvotno obravnavanega obdobja. Ugotovila sem, da sta si razvrstitvi precej podobni med seboj. Meje med regijami so se le malo spremenile, najbolj v regijah, ki so si najbolj podobne in je prehod med njimi zelo neizrazit. Analizirala sem še spremembe podnebja v vsaki posamezni regiji med obema obdobjema. Ugotovila sem, da je znotraj vsake od 6 regij prišlo do precejšnjih podnebnih sprememb. Temperatura se je v vseh regijah zvišala, količina padavin znižala, v nekaterih regijah pa je prišlo tudi do sprememb padavinskega režima. Podnebje znotraj regij se torej v času spreminja, medtem ko se sama opredelitev regij v času le malo spreminja.



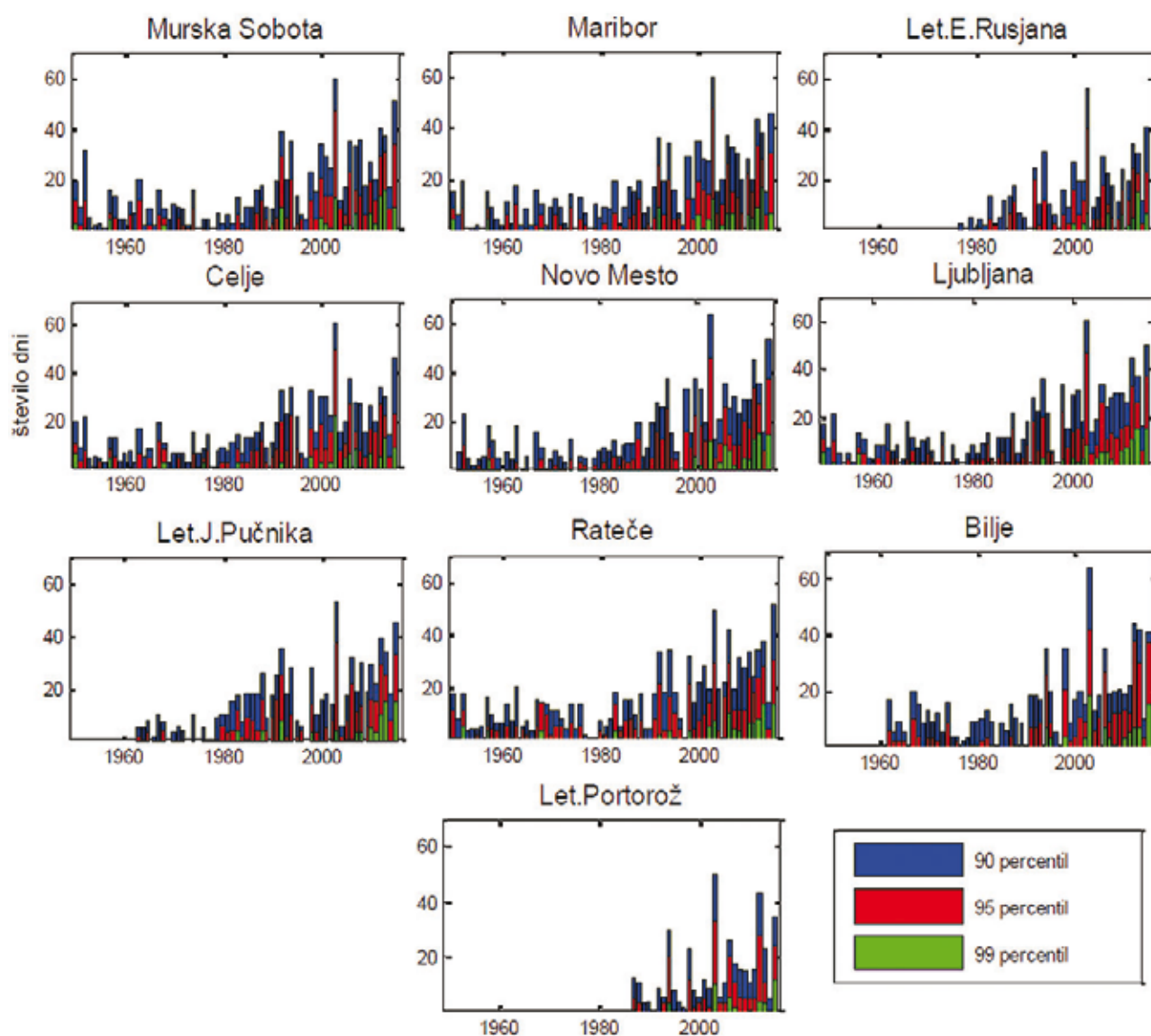
Slika 1. Podroben prostorski prikaz razvrstitve območja Slovenije v šest podnebnih regij s predlaganimi imeni za regije.

# Detekcija in vpliv vročinskih valov v Sloveniji

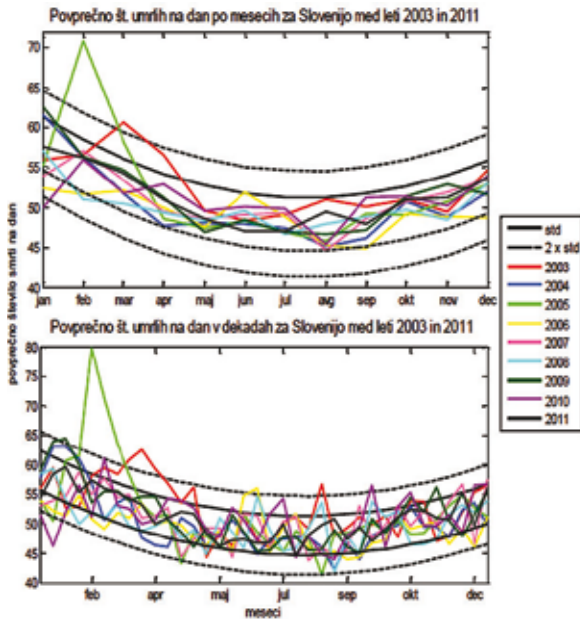
Neža Ključevšek

Operativne meteorološke službe vedno bolj uporabljajo t.i. vročinske indekse za detekcijo vročinskih valov in izdajanje opozoril. Tovrstnih izračunov v Sloveniji do sedaj ni bilo. Posledice sprememb splošne cirkulacije na regionalno in lokalno vreme se med drugimi kažejo v povečanem številu vročinsko napornih dni. Magistrsko delo tako analizira vročinske indekse, ki bi bili primerni za uporabo pri nas. Izbrani indeksi so se

izkazali kot koristni drugje v zmernih geografskih širinah severne poloble in v Avstraliji. Indeksi so uporabljeni na večletnih nizih meritev na 10-ih meteoroloških postajah v Sloveniji. S tem so določene biometeorološke značilnosti različnih krajev in je preverjena hipoteza, da Slovenijo lahko razdelimo na 3 značilne regije: primorsko, celinski del in gorski svet. Pridobljeni rezultati, čeprav odvisni od izbire indeksa, niso potrdili hipoteze. Tradicionalni indeksi,



Slika 1. Število dni nad izbranimi mejnimi vrednostmi percentilov za indeks EHF.



Slika 2. Potek povprečnega števila umrlih na dan po mesecih (zgoraj) in po dekadah (spodaj) za različna leta. Parabola, ki najbolje opiše potek smrti po mesecih, je označena s črnimi črtami in sicer s sklenjeno črto interval enkratne standardne deviacije, in s črtno črto parabola, ki je za dvakratno vrednost standardne deviacije odmaknjena od povprečnega kvadratnega prilagajanja.

ki upoštevajo vpliv temperature, relativne vlage in vetra, ponujajo razdelitev Slovenije na celinski del z obalo in visoke gore. Podatki kažejo, da obstaja trend naraščanja števila vročinsko napornih dni od leta 1980. Od takrat se je število vročinsko napornih dni povečalo za okoli štirikrat.

Učinek vročinskega vala se pogosto opisuje s pomočjo povečanega števila smrti v vročinsko napornem obdobju. Delo analizira podatke o smrtnosti v obdobju 2003-2011 in njihovo korelacijo z vročinskimi indeksi. Statistično značilna korelacija med vročinskimi indeksi in smrtnostjo v posameznih statističnih regijah Slovenije ni najdena. Morebitni razlog je majhno število umrlih (okoli 55 na dan v državi). Tudi korelacija izračunana na krajšem obdobju, v vročinsko najbolj napornem avgustu 2003, ni pokazala statistično značilne povezave med številom umrlih in visokimi vrednostmi katerega koli izmed obravnavanih vročinskih indeksov.

## Spremenljivost agrometeoroloških parametrov v Sloveniji v obdobju 1951–2013

Gal Oblišar

Večina kmetijske pridelave poteka na prostem in je zato močno odvisna od podnebnih razmer. Zaradi antropogenih vplivov na podnebje in posledičnih podnebnih sprememb se je kmetijstvo prisiljeno nanje tudi prilagoditi. V Sloveniji, majhni deželi Srednje Evrope, razpeti med Alpe, Jadransko morje in Panonsko nižino, pričakujemo podobne spremembe podnebja kot v srednji Evropi, in sicer bolj vroča poletja z manj padavinami ter milejše zime, višek padavin pa se bo prestavil v jesenski čas. Že nakaj desetletij so opazni trendi bolj zelenih zim, pogostejših suš, daljših vegetacijskih obdobjev ter intenzivnejših in pogostejših vročinskih valov.

V magistrskem delu, opravljenem pod mentorstvom prof. dr. Lučke Kajfež Bogataj, so bile ovrednotene spremembe agrometeoroloških spremenljivk v obdobju 1951–2013. Analizirali smo povprečne, najvišje in najnižje dnevne temperature zraka,

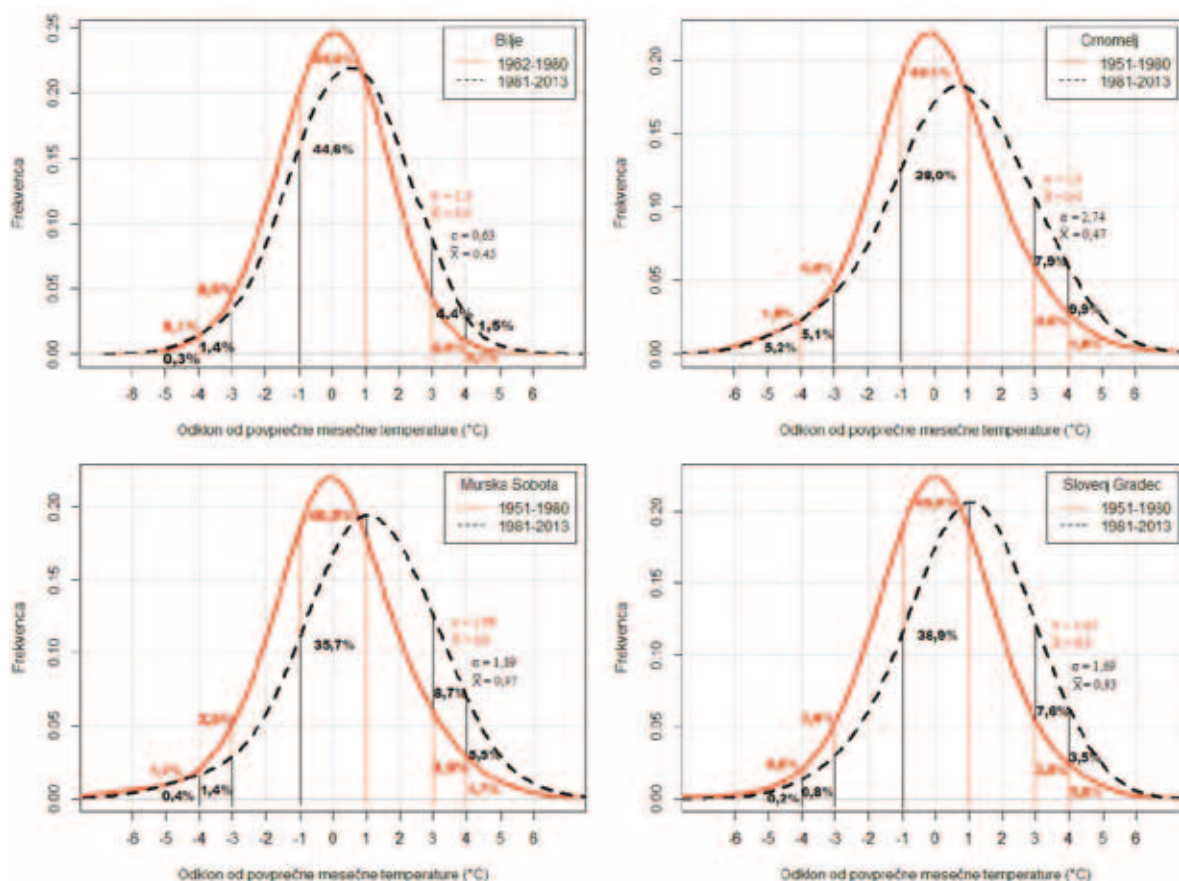
vegetacijsko dobo in temperaturne vsote pri dveh temperaturnih pragovih, in sicer 5 °C in 10 °C. Primerjali smo variabilnosti padavinskih vzorcev z uporabo SPI indeksa v 1 in 6 zaporednih mesecih ter frekvenčno porazdelitev povprečnih temperatur. Vse spremenljivke smo analizirali za deset meteoroloških postaj, ki so enakomerno porazdeljene na področju Slovenije. Nize meritev pa smo razdelili v dve dolgoletni obdobji, in sicer 1951–1980 in 1981–2013 ter ju med seboj primerjali.

Med obema preučevanima obdobjema smo ugotovili statistično značilne spremembe v večini analiziranih spremenljivk. Povprečna temperatura zraka v Sloveniji se je v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem zvišala za 1,0 °C. Najvišjo razliko smo ugotovili v zahodni Sloveniji oz. zahodno od vrhov Dinaridov. Trend ogrevanja je tako najvišji ob morju (0,51 °C/10 let), v preostalem delu Slovenije pa se

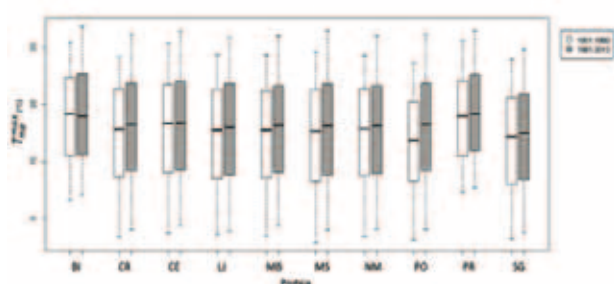
giblje med 0,43 in 0,46 °C na desetletje (slika 1). Podobne spremembe so tudi pri najvišjih in najnižjih temperaturah. Ugotovljeno je bilo tudi povečanje variabilnosti razporeditve povprečnih temperatur, ki je najbolj očitno v vzhodnem delu Slovenije, najmanj pa v krajih ob morju (slika 2).

Zaznali smo podaljšanje vegetacijske dobe in zvišanje temperaturnih vsot pri različnih temperaturnih pragovih. Dolžina vegetacijske dobe se v Sloveniji

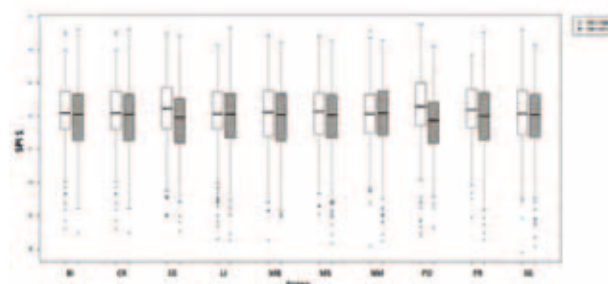
povečuje s trendom med 1 in 8 dnevi na desetletje. Največje podaljšanje vegetacijske dobe je bilo zaznано na jugozahodu države, najmanjše pa na skrajnem severu in jugu države. Ugotovili smo tudi povečanje variabilnosti padavinskih vzorcev po vsej Sloveniji, razen na severu države. Obravnava mesečnih padavinskih vzorcev je pokazala, da se variabilnost najbolj povečuje v zahodni polovici države (slika 3). Tu je bilo v zadnjem obdobju zaznано povečanje števila bolj sušnih in hkrati zelo namočenih mesecev.



Slika 1. Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur za Bilje (levo zgoraj), Dobljče pri Črnomlju (desno zgoraj), Mursko Soboto (levo spodaj) in Šmartno pri Slovenj Gradcu (desno spodaj), za obdobji 1951–1980 (rdeča) ter 1981–2013 (črtkana).



Slika 2. Okvirji z ročaji za Bilje (BI), Dobljče pri Črnomlju (CR), Celje (CE), Ljubljano (LJ), Maribor (MB), Mursko Soboto (MS), Novo mesto (NM), Postojno (PO), Portorož (PR) in Šmartno pri Slovenj Gradcu (SG), ki predstavljajo porazdelitev mesečnih najvišjih temperatur zraka (°C) za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni).



Slika 3. Okvirji z ročaji za Bilje (BI), Dobljče pri Črnomlju (CR), Celje (CE), Ljubljano (LJ), Maribor (MB), Mursko Soboto (MS), Novo mesto (NM), Postojno (PO), Portorož (PR) in Šmartno pri Slovenj Gradcu (SG), ki predstavljajo mesečni standardiziran padavinski indeks - SPI1 za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni).

# Uporabnost meritev razelektritev v ozračju za spremljanje in napovedovanje neviht

Luka Ravnik

## Uvod

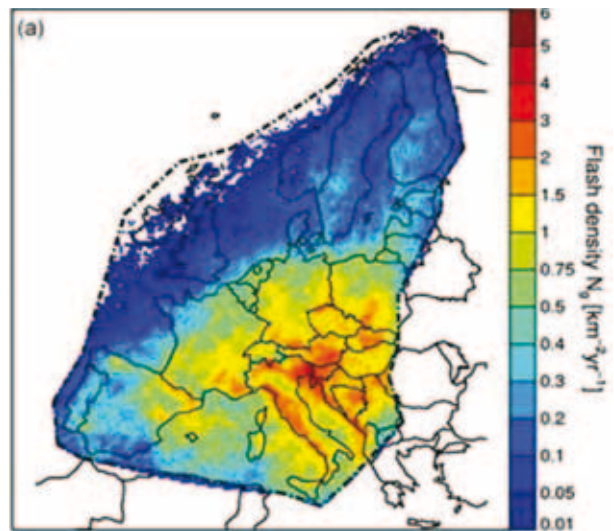
Nastanek in razvoj nevihtnih sistemov predstavlja pri napovedovanju vremena še vedno veliko težavo. Slovenija je v samem Evropskem vrhu letnega števila razelektritev (strel) na ploskovno enoto (slika 1). Nevihte in spremljajoči pojavi (veter, nalivi, toča, udari strel) vsako leto povzročijo veliko materialne škode in predstavljajo potencialno nevarnost tudi za ljudi.

Pojem nevihte zajema različne ravni zapletenosti pripadajočih oblačnih sistemov, od enoceličnih neviht do večceličnih konvektivnih sistemov na srednji prostorski skali (od nekaj 100 do okoli 1000 km).

Za napovedovanje nastanka neviht in spremljanje njihovega nadaljnjega razvoja se v praksi uporablja kombinacija numeričnih izračunov stanja ozračja in meritev ozračja (radar, sateliti). Pri tem uporabljamo strelomerne podatke za odkrivanje razelektritev (in s tem pojava nevihte) ter deloma lokacijo.

Napovedovanje neviht lahko razdelimo na več faz:

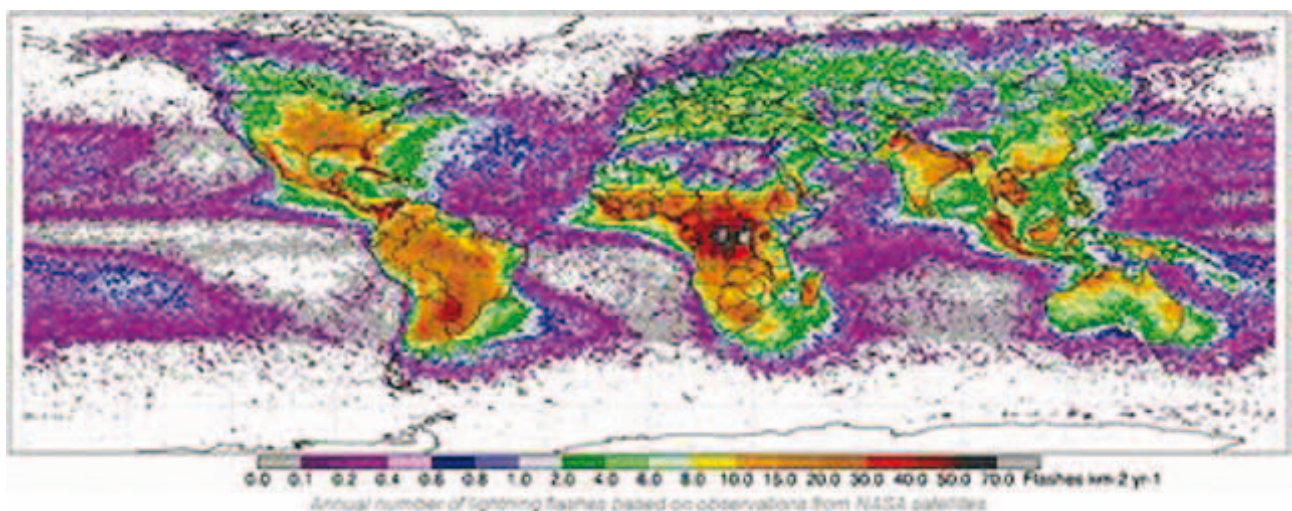
- oceno parametrov ozračja, ki pogojujejo konvektivno nestabilnost ozračja (vertikalni profil temperature, vlage in vetra; mezo in sinoptični vplivi, vpliv tal: relief, vlažnost, albedo, itd.),
- zaznavo prvih območji globoke konvekcije z opazovanji, satelitom in radarjem,



Slika 1a. Letna pogostost razelektritev na območju Evrope.

- spremljanje nastanka, razvoja in gibanja aktivnih nevihtnih sistemov (radar, satelit, zaznava strel).

Prav pri zadnji točki bi lahko strelomerne podatke nudili dodatne podatke o dinamiki nevihtnih sistemov, saj je pojav strele povezan z dinamiko in mikrofiziko oblačnega nevihtnega sistema.



Slika 1b. Letna pogostnost razelektritev po svetu dobljena iz satelitskih meritev.



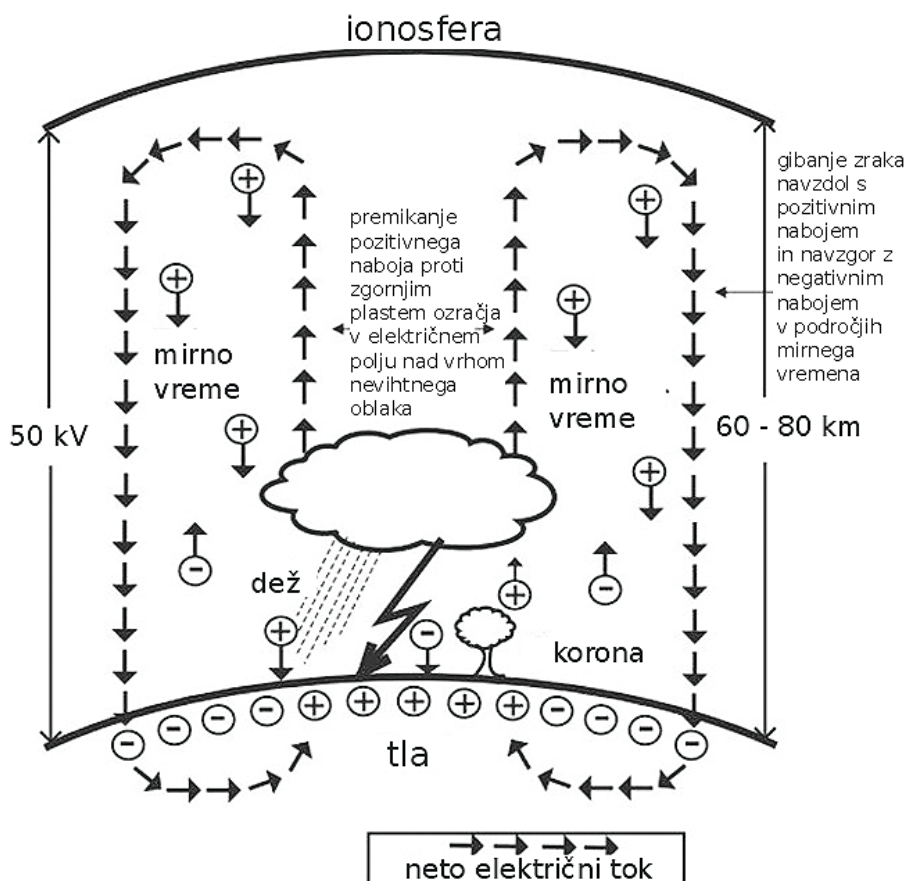
Slika 2. EUCLID mreža po Evropi.1981–2013.

## Namen in izvedba dela

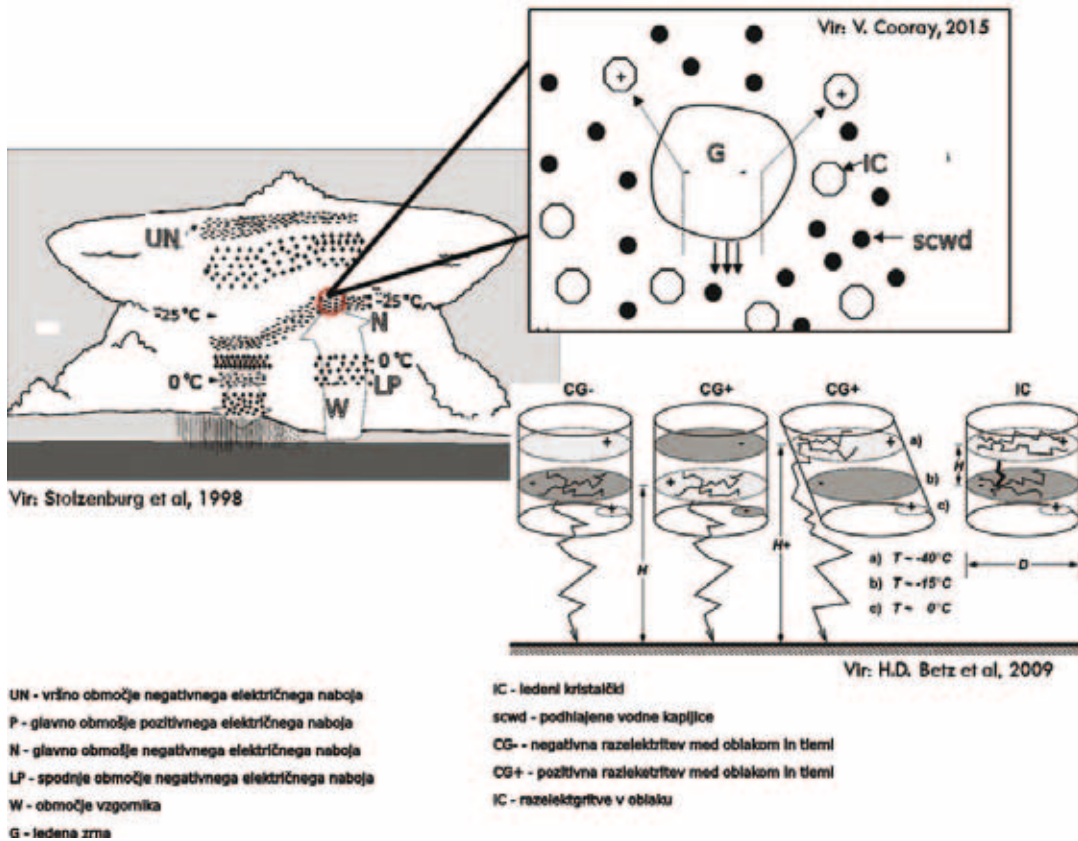
Namen mojega magistrskega dela je bil proučiti uporabnost strelomernih podatkov za spremljanje nevihtnih procesov v ozračju. Osnova za idejo je bila obstoječa teorija elektrike v ozračju, elektrifikacije

oblakov, pojavov razelektritev ter znanstvena literatura (članki) s področja in-situ in daljinskih raziskav razvoja nevihtnih sistemov ter uporabnosti strelomernih podatkov.

V zadnjih letih so bili objavljeni članki na temo opaženih značilnih »hitrih« porastov v časovnih vrstah števila razelektritev pri posameznih sledenih nevihtah (angl. lightning jumps). Vzrok za pojav teh skokov še ni popolnoma pojasnjen, nakazuje pa se možnost uporabe za kratkoročno (reda velikosti 10 min) napovedovanje stopnjevanja intenzitete nevihtnega dogajanja v spremljani nevihti (lahko pa tudi kot diagnostični parameter trenutnega stanja v nevihti). V magistrskem delu sem na izbranih primerih neviht želel preveriti morebitne značilnosti v časovnih vrstah strelomernih podatkov, ki bi jih lahko povezal z intenzivnejšim dogajanjem v nevihti in tudi s pojavi pri tleh (toča, naliv ...). Zanimalo me je, kakšno informacijo nosijo strelomerni podatki. Znotraj večletnega obdobja sem izbral primere neviht, jim na osnovi radarskega polja VIL (angl. vertically integrated liquid) določil časovno pot in pripadajoče časovne vrste strelomernih podatkov (število razelektritev v zaporednih 2-minutnih intervalih, vrsta razelektritev, jakost in smer električnega toka, itd.). Poleg strelomernih podatkov sem nevihtni poti določil tudi poteke nekaterih radarskih polj (vsota polja VIL na območju nevihte, maksimalna vrednost VIL, radarsko



Slika 3. Shema električnega tokokroga v ozračju.



Slika 4. Prikaz malo bolj razdelane električne sheme oblaka (levo). Konceptualna shema ločevanja električnega naboja (desno zgoraj). Različne električne dipolne sheme in najbolj pogosta pripadajoča vrsta razelektritev (desno spodaj).

določena »višina« oblaka, največje radarske odbojnosti na območju nevihte).

## Podatki

Podatke o razelektritvah sem pridobil iz merilne mreže EUCLID (EUropean Cooperation for LIghtning Detection), katere član je tudi EIMV (Elektroinštitut Milan Vidmar) s svojo merilno mrežo SCALAR (Slovenski Center za Avtomatsko Lokalizacijo Atmosferskih Razelektritev). Merilniki mreže EUCLID so postavljeni po vsej Evropi (slika 2), podatki pa se zbirajo v centrali na Dunaju



Slika 5. Prepletenost nevihtne dinamike in spremljajočih električnih pojavov.

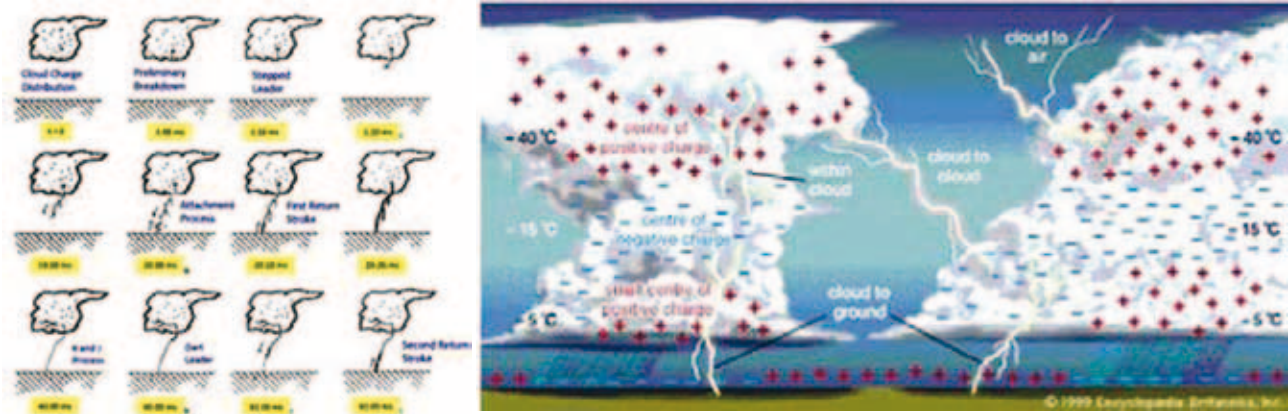
pod okriljem avstrijskega dela mreže ALDIS (Austrian Lightning Detection and Information System). Med ARSO in EIMV je že od vsega začetka utečen operativni tok strelomernih podatkov na podlagi vsakoletne pogodbe. Podatki so plačljivi.

## Ozračje, nevihte in elekrika

V ozračju obstaja električni tokokrog, ki si ga lahko v grobem predstavljamo, kot ploščati kondenzator, katerega plošči sta na eni strani ionosfera, na drugi pa zemeljsko površje (slika 3). Tudi ob sončnem vremenu skozi ozračje teče električni tok, ki za celotno ozračje znaša okoli 1 kA. Meritve kažejo, da omenjeni »kondenzator« ostaja nabit ( $U \sim 250$  kV,  $C \sim 0.7$  pF,  $R \sim 200$   $\Omega$ ). Zato je potrebna energija, ki jo po trenutno sprejeti teoriji zagotavljajo nevihte.

Procesi elektrifikacije (ločevanja naboja) v oblakih so neposredno povezani z dinamiko in mikrofiziko konvektivnih sistemov. Do sedaj je bilo na temo elektrifikacije oblakov po svetu narejenih že veliko raziskav (laboratorij, *in-situ*) in predlaganih veliko teorij. Ob tem ostaja še veliko odprtih vprašanj na katera je težko dobiti odgovor, ker je sistem, ki ga preučujemo, oddaljen in kompleksen.





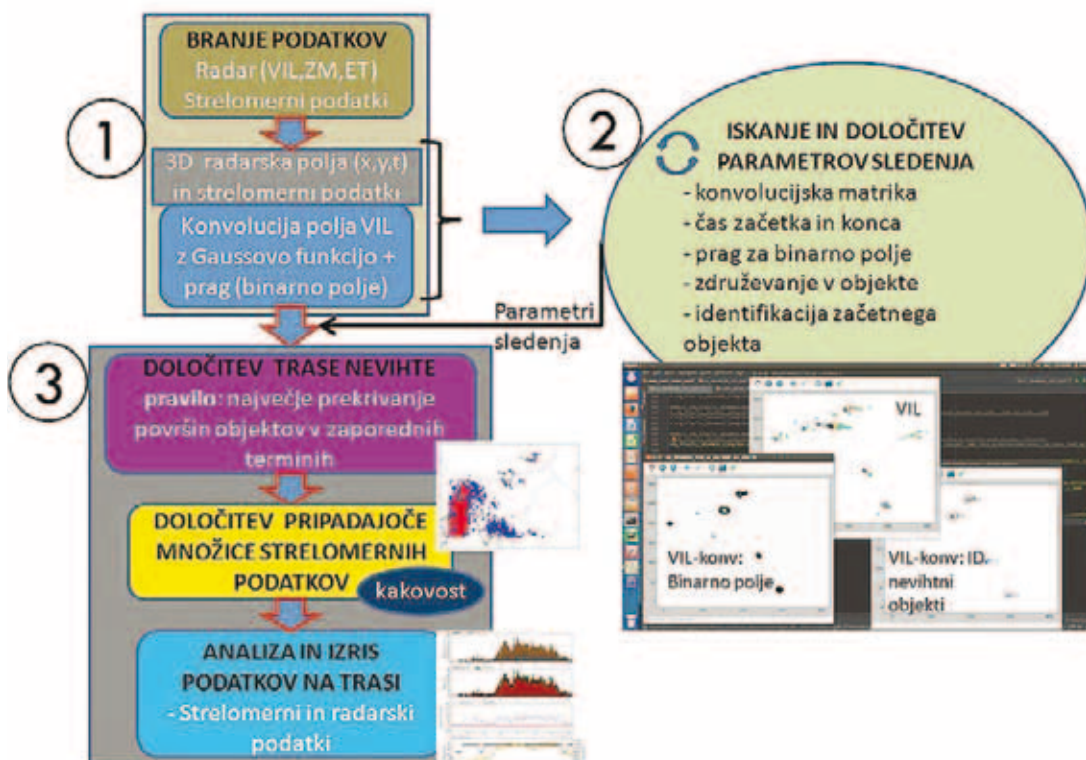
Slika 6. Shematski prikaz poteka najpogostejše vrste razelektritev oblak-tla, to je negativna navzdol-usmerjena strela (levo) in različne vrste razelektritev v ozračju: oblak-tla, znotraj oblaka, med oblaki, oblak-zrak (desno).

Odrpta vprašanja so še predvsem na področju mehanizmov ločevanja naboja in začetnih procesov pri proženju razelektritev. Meritve z baloni in s spustnimi sondami v nevihtnih oblakih so namreč zaznale en velikostni red manjše vrednosti električne poljske jakosti od prebojne vrednosti za zrak ( $3 \cdot 10^6$  V/m). Tako ostaja odprto vprašanje kako pride do začetne dovolj visoke ionizacije zraka v bližini električno nabitih hidrometeorjev in drugih oblačnih delcev.

Več je znanega o električni strukturi nevihtnih oblakov. Najbolj pogosta slika električnega naboja v oblaku je v grobem dipolna, z območjem negativnega naboja v srednjih plasteh oblaka in območjem pozitivnega naboja v zgornjih plasteh oblaka. Pogosto obstaja

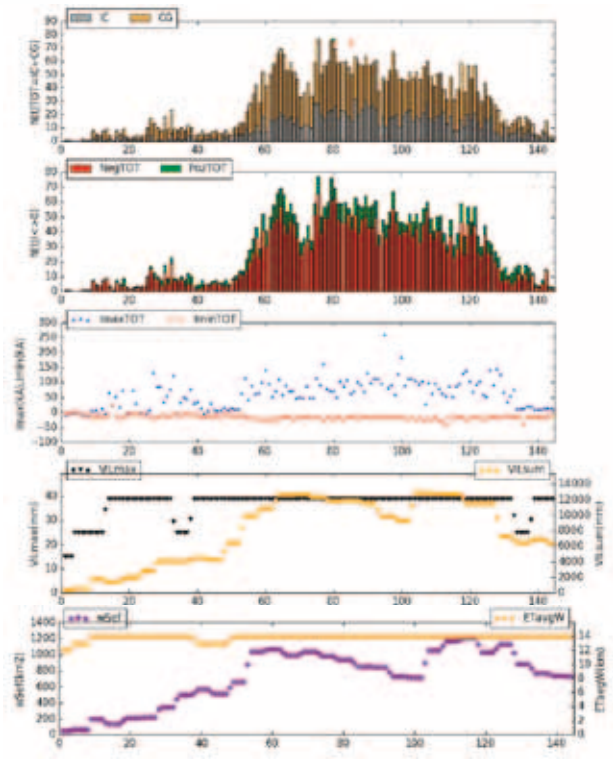
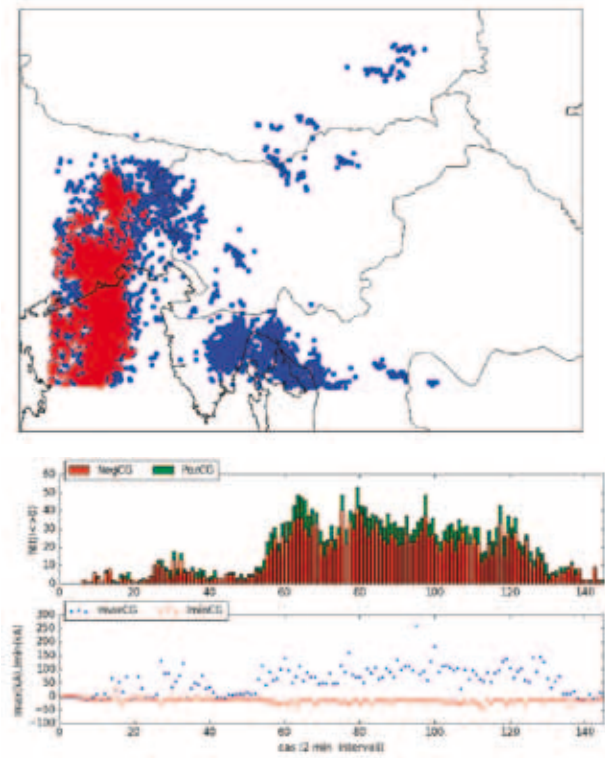
še nekoliko manjše območje pozitivnega naboja v spodnjem delu oblaka. Manj pogosta električna shema nevihtnega oblaka pa je obrnjen dipol, kjer so predznaki naboja ravno obrnjeni. Bolj podroben pogled v oblak razkrije še več manjših (velikostni red 100 m) območij električnega naboja obeh predznakov. Na podlagi dosedanjih raziskav in meritev lahko povzamemo glavne makroskopske električne značilnosti nevihtnega oblaka (slika 4):

- značilen čas za nastanek prebojnih vrednosti električnega polja je okoli 30 min,
- procesi ločevanja električnega naboja se odvijajo pri temperaturah med 0 in  $-40$  °C,

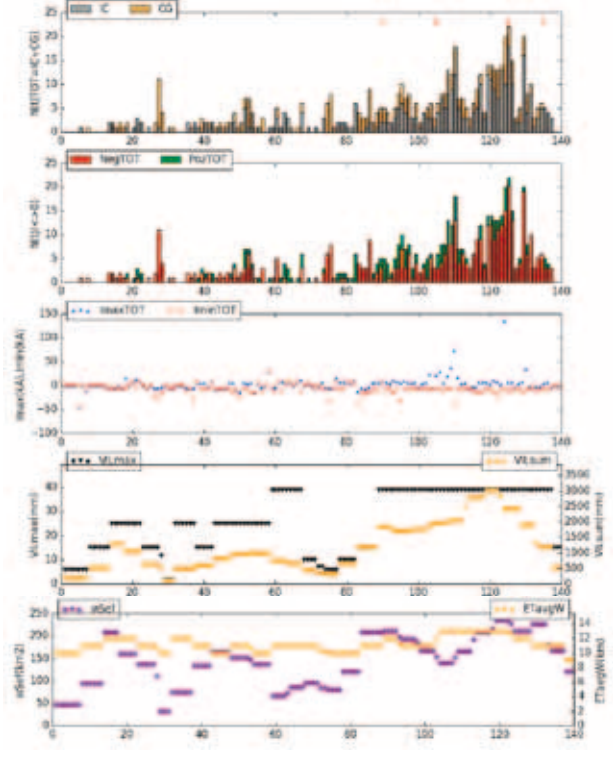
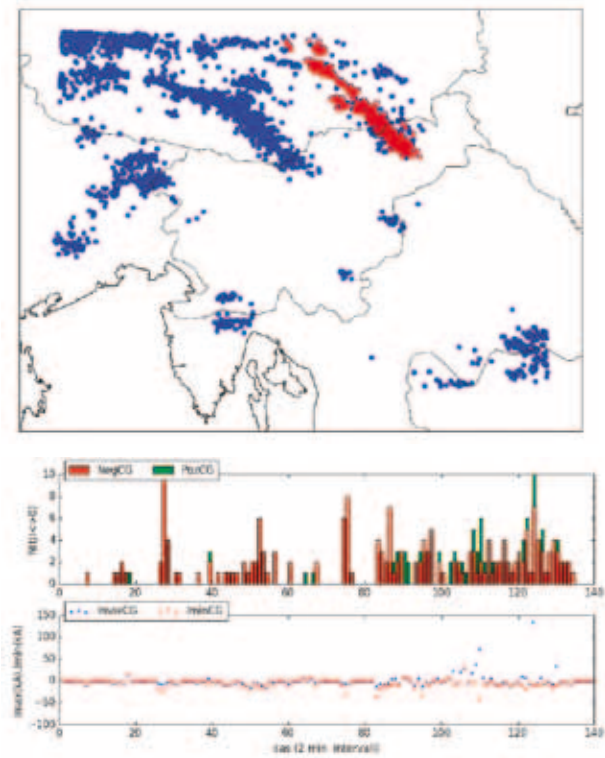


Slika 7. Koraki algoritma za sledenje in določitev nevihtnih tras.

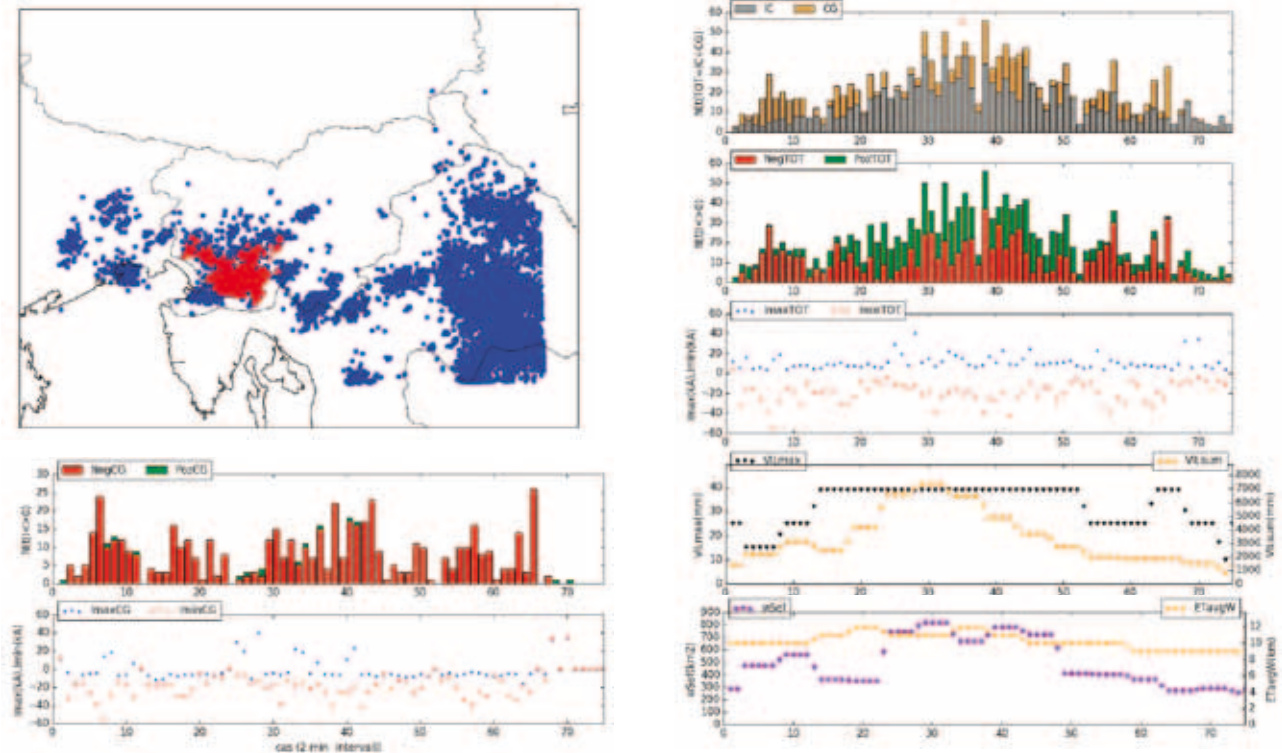
### Analiza primerov – P1 (7.11.2013)



### Analiza primerov – P5 (23.6.2014)



## Analiza primerov – P9 (27.6.2016)



Slika 8. Primeri analize nevihtnega sistema. Spodnji levi del slike prikazuje množico vseh razelektritev (modro) in množico razelektritev, ki pripadajo določeni trasi (rdeče). Desni del slike prikazuje grafe časovnih serij za strelomerne in radarske podatke.

- glavno območje negativnega naboja se nahaja med  $-5$  in  $-52$  °C,
- glavno območje pozitivnega naboja se nahaja nekaj km nad glavnim območjem negativnega naboja,
- spodnje območje pozitivnega naboja se nahaja na višini izoterme okoli  $0$  °C,
- nastanek močnega električnega polja je povezan s pojavom oblačnih in padavinskih delcev v trdi obliki (ledeni kristalčki, ledena zrna sodre ali toče).

Radarske in satelitske meritve nevihtnih sistemov kažejo na povezavo med značilnostmi vzgornika (jakost in razsežnost vzgornika, velikost delcev, vrsta delcev, prisotnost podhlajenih vodnih kapljic in vodne pare ter ledenih kristalčkov, temperatura zračne mase) ter mikrofiziko ločevanja in prenosa naboja med trkajočimi se delci (elektrifikacija). Dinamika v nevihtnih oblakih se pri tleh izraža z izrednimi vremenskimi pojavi, kot so toča, nalivi, močan veter, strele. Elektrifikacija oblaka pa je prav tako povezana z dinamiko procesov v nevihti. Strelomerni podatki torej nosijo informacijo o stanju in razvoju procesov v nevihti (slika 5).

## Razelektritve

Poznamo več vrst razelektritev glede na lokacijo začetka in konca strele: oblak-tla, znotraj oblaka, med oblaki, oblak-zrak (slika 6). Merilni sistemi so do nedavnega zaznavali le razelektritve oblak-tla (*angl. cloud-to-ground: CG*), v zadnjih letih pa so na voljo tudi podatki o razelektritvah znotraj oblakov ali med oblaki (*angl. cloud-to-cloud: CC*). Razelektritve pa ločimo tudi po mestu začetka ionizacije: pri tleh ali v oblaku, ter ali je električni tok usmerjen navzdol ali navzgor.

Razelektritev je v resnici množica dogodkov, od katerih je večina skritih znotraj oblaka, v primeru razelektritve oblak-tla pa ioniziran zračni kanal postane viden. Razelektritve oblak-tla predstavljajo po grobi oceni okoli 25 % vseh razelektritev (oblak-tla, oblak-oblak, Od teh je okoli 90 % »negativnih navzdol-usmerjenih«, kar pomeni, da se razelektritev prične znotraj negativno nabitega območja v oblaku in se ob udaru pretoči negativni naboj proti tlam.

Zaznava razelektritev temelji na meritvah elektromagnetnega polja v območju radijskih frekvenc (od nekaj kHz do več 100 MHz). Obstaja več vrst merilnih tehnik za detekcijo in določitev mesta udara:

magnetno določanje smeri (*angl. magnetic direction finding* – MDF), primerjava časov zaznave električnega pulza (*angl. time of arrival* - TOA) in interferometrična metoda. Meritve so zahtevne, saj se podproces, ki so del razelektritev, odvijajo tudi na skali mikrosekund. Značilnosti časovnih vrst merjenega elektromagnetnega signala pa so odvisne od vrste razelektritve, razdalje do merilnika, itd.

Časovna vrsta elektromagnetnega sevanja vsebuje mnoge značilnosti od katerih so nekatere že poznane in jih lahko pripišemo določnemu podprocesu razelektritve, nekatere pa so še predmet raziskav. V zadnjih letih so v uporabi tudi visokofrekvenčne merilne mreže (*angl. lightning mapping array* - LMA) s pomočjo katerih lahko znanstveniki preučujejo začetne faze razelektritve, ki so skrite v oblaku.

### **Sledenje izbranih neviht in analiza strelomernih časovnih vrst**

Za določitev množice razelektritev, ki pripadajo izbrani nevihti, sem izdelal algoritem (programsko okolje Python) s pomočjo katerega sem določil časovno traso nevihtnega sistema v prostoru. Največja težava je bila v časovnem in prostorskem okviru določiti kaj še predstavlja »isti« nevihtni sistem in kaj je nov nevihtni sistem (nevihte nastajajo, se cepijo, se združujejo, odmirajo, ...).

Algoritem sem osnoval na izbiri začetnega časovnega termina, izbiri izoliranega nevihtnega objekta ter na prekrivanju »nevihtnih« objektov (določenih na časovnih poljih VIL) v zaporednih časovnih intervalih (slika 7). Tako sem dobil časovno traso izbranega nevihtnega objekta v prostoru. Na dobljeni trasi sem izrisal časovne nize strelomernih in radarskih podatkov (primeri na sliki 8).

### **Zaključek**

Magistrsko delo sem sestavil iz dveh delov. Prvi del je bil pregled teorije, od osnov meteorologije preko termodinamike in nehidrostatičnih konceptov razvoja neviht do atmosferskih razelektritev. Drugi del je bil izdelava algoritma za sledenje neviht in obravnava posameznih primerov na osnovi strelomernih in radarskih podatkov.

Pri nekaterih nevihtah so časovni nizi strelomernih podatkov kazali značilne vrhove in poraste, drugod pa teh vrhov ni bilo. Tendence strelomernih podatkov so se v večini primerov ujemale s tendencami radarskih podatkov. V nekaterih primerih je pojav večje toče (>3 cm) sovpadal z vrhovi v strelomernih podatkih (pogostnost razelektritev v enoti časa, jakost in smer toka), pri drugih primerih pa ni bilo očitne povezave. V nekaterih primerih je tendenca naraščanja in prehodnega upadanja bila povezana s pojavom toče, vendar pa pri pojavu največje zabeležene toče na Primorskem v strelomernih in radarskih podatkih ni bilo videti nenavadnih značilnosti.

Sočasen prikaz strelomernih in radarskih podatkov je pokazal na povezavo med njimi in na možnost uporabe strelomernih podatkov kot dodatnega vira informacij o razvoju nevihtnih procesov.

Ponekod v tujini (npr. ZDA, Nemčija) se po eni strani intenzivno ukvarjajo z uporabnostjo sočasne uporabe radarskih, satelitskih in strelomernih meritev, po drugi strani pa gredo raziskave v smeri dodane vrednosti samih strelomernih podatkov za potrebe »nowcastinga«. Raziskave na področju mikrofizike in dinamike nevihtnih procesov ter elektrifikacije oblakov, razelektritev in medsebojnih povezav, bodo v prihodnosti lahko pripomogle k izdelavi aplikativnih orodij za operativno uporabo v prognostičnem procesu.

# Modeliranje vpliva vremena in podnebja na rast in pridelek travne ruše v Sloveniji

Tjaša Pogačar

Vrednost travinja postaja čedalje bolj prepoznana. Pridelki travne ruše najbolj nihajo zaradi vremenskih razmer, največje izpade povzročajo sušna obdobja. Za razumevanje odzivov travnih monokultur in trajnega travinja na različne vplive okolja so raziskave na tem področju nujne, tako poljski poskusi kot uporaba agrometeoroloških modelov.

Analizirali smo podatke o fenološki fazi začetka cvetenja navadne pasje trave (*Dactylis glomerata* L.) v dveh 16-letnih obdobjih (1968–1983 in 1998–2013), v vmesnem času se meritve te fenološke faze na Agenciji RS za okolje namreč niso izvajale. Na vseh 12 lokacijah po Sloveniji se je izkazalo, da je navadna pasja trava v drugem obdobju cvetela prej kot v prvem, in sicer za 7 do 18 dni. Spremembe so se pokazale tudi pri nadaljnji obravnavi 8 lokacij v kombinaciji s povprečno dnevno temperaturo zraka. Korelacije začetka cvetenja in povprečne temperature zraka v enem predhodnem mesecu, dveh ali treh so v drugem obdobju manj izrazite in časovno zamaknjene večinoma za en mesec nazaj.

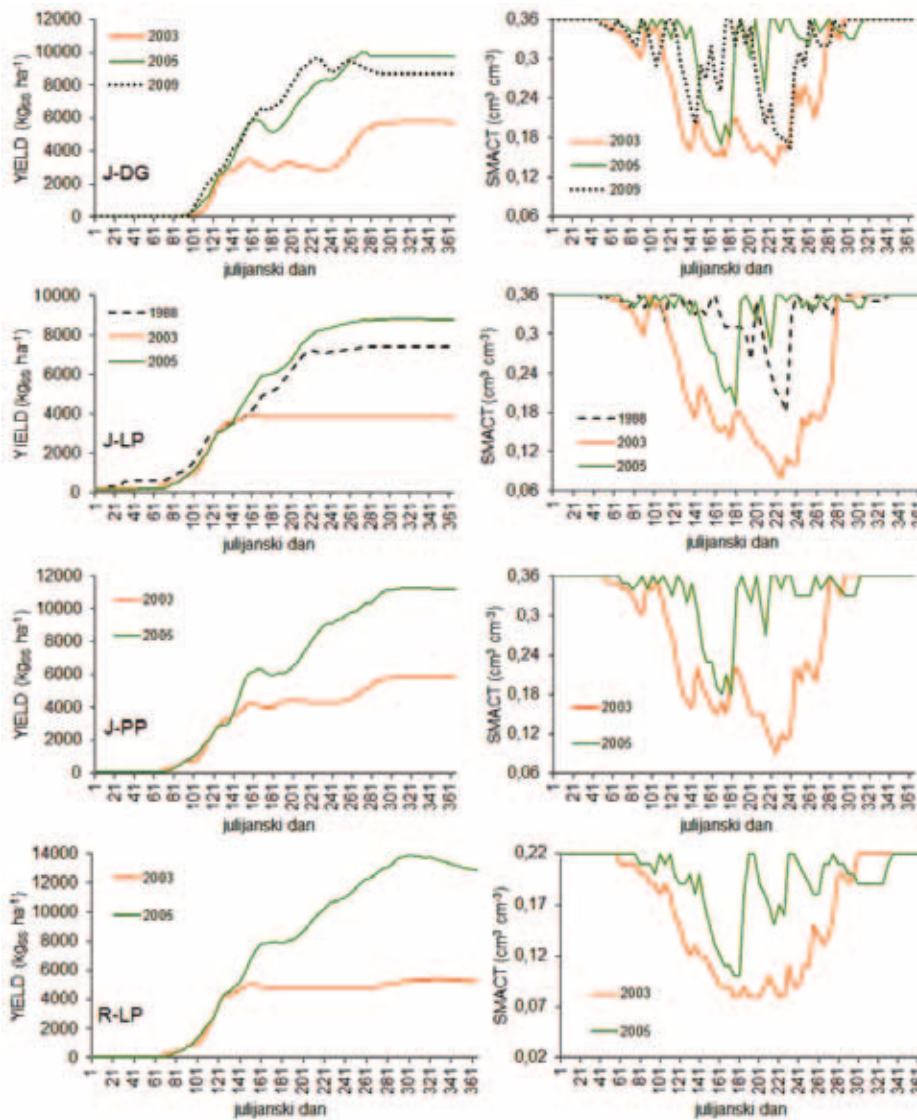
Med vrsto agrometeoroloških modelov, ki simulirajo rast in pridelek travne ruše, se je nizozemski model LINGRA-N (Wolf, 2012) s srednjo zahtevnostjo glede vhodnih podatkov in z dobrimi dosedanjimi rezultati pokazal kot dobra možnost za naše raziskave. Poleg dnevni meteoroloških podatkov potrebujemo še štiri skupine vhodnih podatkov: specifikacije za vsako simulacijo, ekofiziološke podatke o rastlini, pedološke podatke in podatke o gospodarjenju s travno rušo. Dovolj dobre vhodne podatke za umerjanje smo lahko pripravili za dva poskusa na trajnem travinju (S72 v Ljubljani in S9 v Brestanici; Leskošek, 1998) in pet na travnih monokulturah (navadna pasja trava, trpežna ljujka (*Lolium perenne* L.) in travniški mačji rep (*Phleum pratense* L.) v Jabljah in Rakičanu (Verbič, 2014). Z analizo občutljivosti smo izločili 11 manj pomembnih parametrov. Preostalih 26 in datume košenj smo za vsak travniški poskus posebej umerjali na podatkih lihih let v 12 korakih z metodo zmanjševanja korena povprečne kvadratne napake (RMSE) simuliranih vrednosti pridelka suhega zelinja travne ruše glede na izmerjene. Za preverjanje kakovosti modelskih simulacij smo uporabili RMSE (npr. Willmott, 1982; Jegu in sod., 2013) v sodih in vseh letih ter kazalec ujemanja  $d_w$  (Willmott, 1982). Pri tem se je za oba poskusa na travnem travinju (S72 in S9) in za poskus na travniškem mačjem repu v Rakičanu izkazalo, da jih ne moremo dovolj dobro umeriti za uporabo za nadaljnje modeliranje. Najboljši

so rezultati umerjanja za navadno pasjo travo v Jabljah ( $RMSE_{\%} = 12\%$ ,  $d_w = 0,84$ ).

Rast in pridelek travne ruše smo simulirali v 50-letnem obdobju (1964–2013) za štiri različne umeritve modela – za navadno pasjo travo (J-DG), trpežno ljujko (J-LP) in travniški mačji rep (J-PP) v Jabljah ter za trpežno ljujko v Rakičanu (R-LP). Pomembno vlogo pri rasti travne ruše ima vsebnost vode v tleh, med drugim ima zelo velik vpliv na indeks listne površine. Ob majhni količini padavin se predvsem v kombinaciji z visokimi temperaturami zraka pridelek suhega zelinja občutno zmanjša. Kljub temu, da potencialni pridelek ni v nobenem primeru statistično značilno odvisen niti od posameznih meteoroloških spremenljivk niti od njihove kombinacije, lahko na primerih posameznih izstopajočih let zaključimo, da se pridelek zmanjša v izrazito sušnih ali sušnih in vročih letih. V sušnem obdobju se ne morejo v polni meri razrasti korenine, velik je vpliv suše na učinkovitost izrabe sončnega obsevanja: pri J-DG je bilo v letu 2003 prestreženih 59 % fotosintetsko aktivnega sevanja (v letu 2005 72 %), pri J-LP 32 %, pri J-PP 42 % in pri R-LP 27 %.

Rezultati se v sušnih letih ujemajo tudi s primerljivimi raziskavami, dobro pa so se, na primer, v najbolj sušnem letu 2003 pokazale tudi lastnosti posameznih vrst trave. Navadna pasja trava sušo najbolj prenaša, zato se je kljub suši potencialni pridelek občasno nekoliko povečal. Trpežna ljujka sušo najslabše prenaša, zato se po hudem sušnem obdobju niti jeseni potencialni pridelek ni več povečal. Travniški mačji rep v sušnem obdobju miruje in si je nekoliko opomogel v drugi polovici septembra, ko se je povečala vsebnost vode v tleh. Pri potencialnem pridelku se je pokazal statistično značilen ( $p = 0,05$ ) negativni trend za primera J-LP ( $24 \text{ kgSS ha}^{-1}\text{leto}^{-1}$ ) in J-PP ( $29 \text{ kgSS ha}^{-1}\text{leto}^{-1}$ ). Spremenjena spremenljivost se pri simuliranem pridelku suhega zelinja (GRASS) kaže v Jabljah v drugi polovici obravnavanega obdobja s pojavljanjem osamelcev, ki jih v prvi polovici ni bilo. GRASS je bil v Jabljah najmanjši v letih 1992, 1993 in 2003, v Rakičanu pa v letih 1983, 1993, 2003, 2007 in 2013. Prav tako je v teh letih najmanjši modelski faktor za zmanjšanje rasti zaradi suše (TRANRF). Kot kaže analiza časovne vrste, se njegova spremenljivost v drugi polovici obdobja povečuje.

Na osnovi dviga najnižje in najvišje temperature zraka za 1, 2 in 3 °C glede na obdobje 1964–1988 smo predstavili primer simulacije vpliva podnebnih



Slika 1. Potencialni pridelek (YIELD, levo) in volumska vsebnost vode v koreninskem območju (SMACT, desno) za navadno pasjo travo (J-DG), trpežno ljujtko (J-LP) in travniški mačji rep v Jabljah (J-PP) ter za trpežno ljujtko v Rakičanu (R-LP) za suho leto 2003 in povprečno leto 2005 (za J-DG še leto 2009, za J-LP 1988).

sprememb na vspremenljivost in količino pridelka travne ruše (koncentracija CO<sub>2</sub> je bila pri tem po vrsti 360, 540 in 720 ppm). V večini primerov se je mediana pridelka zmanjšala. Rezultati za obdobje 1989–2013 so najbolj primerljivi z različico povišanja temperature zraka za 2 °C. Če ne upoštevamo dviga CO<sub>2</sub> (koncentracija ostane 360 ppm), se pridelki travne ruše še bolj očitno zmanjšajo. Pri vseh treh travnih monokulturah v Jabljah so se pri zvišanju temperature zraka pri pridelku suhega zelinja začeli pojavljati osamelci.

Zavedati se moramo negotovosti, ki jo prinašajo modelski rezultati. Zato potrebujemo čim večje število različnih modelskih simulacij. Za Slovenijo bi bile zelo pomembne simulacije rasti in pridelka trajnega travinja, a ker umerjanje ni bilo uspešno, priporočamo nadaljevanje z različnimi travnimi monokulturami na različnih lokacijah. Velik izziv predstavlja umerjanje za trajno travinje z novejšimi poskusi, če je mogoče z dodatnimi meritvami, z uporabo novih metod umerjanja ali s prilagoditvijo modela.

## Viri

Jego G., Belanger G., Tremblay G.F., Jing Q., Baron V.S. 2013. Calibration and performance evaluation of the STICS crop model for simulating timothy growth and nutritive value. *Field Crops Research*, 151: 65-77

Leskošek M. 199? »Osebni arhiv analize poljskih poskusov za obdobje 1955–1993«. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo (neobjavljeno gradivo v papirni, delno v elektronski obliki)

Verbič J. 2014. »Podatki o pridelku travne ruše«. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije (osebni vir, maj 2014)

Willmott C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63: 1309-1313

Wolf J. 2012. LINGRA-N: Simple generic model for simulation of grass growth under potential, water limited and nitrogen limited conditions. User guide for LINGRA-N. Wageningen, Wageningen University: 65 str.

<http://www.wageningenur.nl/en/Publication-details.htm?publicationId=publication-way-343434373232> (28. mar. 2013)

# Gibanje Rossbyjevih valov v odvisnosti od velikosti modelskega območja regionalnega prognostičnega modela

Eva Bezek, Ahac Pazlar, Vito Švagelj, Urban Strajnar in Aleksandar Vujinović  
študentje meteorologije na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani

Mentorica in soavtorica: Nedjeljka Žagar

## Povzetek

Članek predstavlja rezultate primerjave nekaterih lastnosti Rossbyjevih valov v zmernih širinah v odvisnosti od velikosti modelskega območja. Cilj študije je raziskati, ali se modelirana hitrost troposferskih Rossbyjevih valov nad Atlantikom in Evropo spreminja v odvisnosti od velikosti modelskega območja. V majhnih modelskih območjih Rossbyjevi valovi prihajajo v območje skozi stranske robove, razvoja novih valov vzdolž toka pa ni. Rossbyjeve valove analiziramo s pomočjo Hovmöllerjevih diagramov. Ocenjujemo fazno in grupno hitrost Rossbyjevih valov, njihovo valovno dolžino in fazni zamik med ploskvami 500 in 300 hPa. Rezultati nekoliko subjektivne metode izračuna so pokazali, da se paketi Rossbyjevih valov gibljejo hitreje v večjih modelskih območjih in da se fazna hitrost z zmanjševanjem velikosti modelskega območja nekoliko zmanjšuje.

**Ključne besede:** Rossbyjevi valovi, Hovmöllerjevi diagrami, velikost modelskega območja

## Abstract

*This paper discusses some properties of the Rossby waves in the numerical weather prediction models in relation to the domain size. We investigate whether the speed of the Rossby waves changes as the domain size in the zonal direction becomes smaller. The global channel domain is compared with domains half and quarter its size. In smaller domain, the Rossby waves enter the domain through the lateral boundaries and the domain size allows no developments of new waves. The Hovmöller diagrams are used to estimate the wave phase and group speed in the zonal direction as well as the vertical phase shift. It was found that the wave groups move somewhat faster in the larger domains whereas the phase reduces.*

**Keywords:** Rossby waves, Hovmöller diagram, model domain size

## Uvod

V okviru študija meteorologije na drugi stopnji na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani (UL-FMF) od akademskega leta 2016/2017 izvajajo predmet Meteorološki seminar. Predmet traja en semester, ima eno uro na teden (skupno torej 15 ur) in se osredotoča na samostojno delo študentov. Namen predmeta je priprava študentov na samostojno delo pri magistrski nalogi. Seminarske teme pokrivajo bolj poglobljena znanja o dogajanjih v ozračju in novejši rezultate iz osnovnih področij meteorologije in njej sorodnih področij. Pri delu se študentje spoznajo z uporabo strokovne literature in različnih orodij za obdelavo podatkov in modelskih

rezultatov. Svoje delo redno obravnavnavajo z mentorjem in se učijo kritično razmišljati, sestavljati strokovna poročila in predstavljati rezultate svojega dela v ustni in pisni obliki, samostojno in v skupini.

Prvi Meteorološki seminar je obiskovalo pet študentov. Zaradi različne stopnje študija, ki so jo imeli udeleženci, kar je tipično za majhno študijsko smer, kot je meteorologija, je letošnja tema seminarja vsebovala predmete s 1. stopnje študija (sinoptična meteorologija in klimatologija iz predmetov 3. letnika, dinamična meteorologija 1 in klimatologija) in predmete 2. stopnje študija (numerično modeliranje atmosfere iz 5. letnika). Zastavljeni cilj Meteorološkega seminarja je bil, da študentje

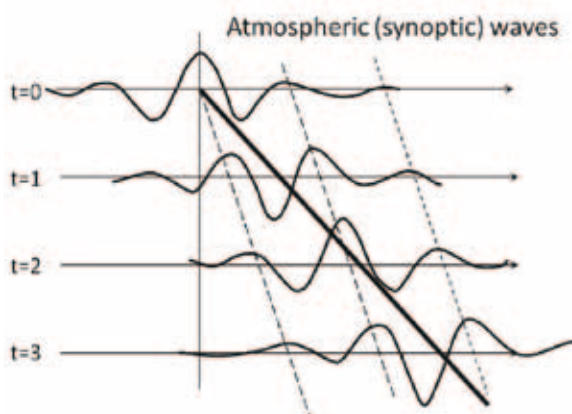
rezultate svojega dela zaključijo s strokovnim člankom za časopis Vetrnica. Pričujoči članek je torej prvi rezultat novega predmeta prenovljenega študija meteorologije na UL-FMF.

## Motivacija in cilj projekta

Rossbyjevi valovi so osnovna transversalna valovanja zračnega toka v zmernih širinah (npr. Hoskins in James, 2014). Rossbyjevi valovi in z njimi povezana kvazi-geostrofska teorija omogočajo razumevanje dinamike ozračja na sinoptičnih in večjih skalah kot tudi razumevanje globalnih povezav na daljavo (telepovezav, ang. teleconnections). Nastanek in razvoj Rossbyjevih valov sta danes relativno dobro pojasnjena in njihove lastnosti so dobro predstavljene v numeričnih modelih splošne cirkulacije.

Osnovne lastnosti valovanja zahodnega toka na različnih višinah v prostem ozračju lahko približno opišemo z ohranitvijo absolutne vrtinčnosti. Bolj kompleksna dinamika Rossbyjevih valov se lahko opiše z ohranitvijo potencialne vrtinčnosti (npr. Hoskins in James, 2014). Baroklini Rossbyjevi valovi v zahodnem toku so pogosto organizirani v t.i. valovnih paketih, ki se razvijajo vzdolž toka. Valovni paketi se gibljejo z grupno hitrostjo, ki je dosti hitrejša od fazne hitrosti, s katero se gibljejo posamezne doline ali grebeni – na splošno z grupno hitrostjo  $20^\circ$  do  $30^\circ$  zemljepisne dolžine na dan (Chang, 1993). Zato na prednjem (vzhodnem) robu Rossbyjevega valovnega paketa prihaja do razvoja novih dolin in grebenov, na zadnjem (zahodnem) robu pa do zamiranja dolin in grebenov. Razvoj novih Rossbyjevih valov vzdolž toka je predstavljen na sliki 1.

Globalni prognostični modeli kot je npr. model ECMWF (European Center for Medium-range Weather Forecasts, <http://www.ecmwf.int>) tovrstno gibanje in razvoj novih valov na zahodnem toku dobro opisujejo.



Slika 1. Razvoj Rossbyjevih valov vzdolž toka. (Vir: Persson, 2016)

Figure 2. Downstream development of Rossby waves. (Source: Persson, 2016)

Mezoskalni (ali regionalni) modeli vremena, kot je npr. model ALADIN, so osredotočeni na procese na skalah od nekaj 100 km do nekaj km. Veliko mezoskalnih procesov je v dobri meri določenih z lokacijo in intenziteto Rossbyjevih valov. Zato lahko že majhne napake v predstavitvi Rossbyjevih valov v območju regionalnega modela (npr. napaka v jakosti ali lokaciji vertikalnega striženja vetra) močno vplivajo na razvoj mezoskalnih procesov oz. kakovost mezoskalne napovedi. V majhnih modelskih območjih prihajajo Rossbyjevi valovi v območje skozi stranske robove in se naprej razvijajo oz. gibljejo s povprečnim tokom.

Povezovanje rešitev regionalnega in globalnega modela (npr. modela ALADIN in modela ECMWF) na stranskih robovih ni matematično brezhibno rešljiv problem. Za potrebe operativne napovedi vremena modeli večinoma uporabljajo metodo relaksacije, ki povezuje rešitvi mezoskalnega in globalnega modela v t.i. relaksacijskem območju. Metoda sklapljanja in razlike med modeloma predstavljata vir napak v mezoskalnem modelu. Žagar in sod. (2013) so predstavili vpliv nenatačnega sklapljanja regionalnih prognostičnih modelov s pomočjo niza numeričnih simulacij na modelskih območjih različne velikosti. Pokazali so, da je spremenljivost toka nad Evropo v manjših modelskih območjih močno znižana v primerjavi s spremenljivostjo v območju, ki objema celoten pas zmernih širin. Torej je v manjših modelskih območjih poleg potencialno manj natančne predstavitve Rossbyjevih valov kot posledice nenatančne sheme sklapljanja na stranskih robovih, poslabšana tudi klimatska sinoptična spremenljivost in tako tudi s tem povezana spremenljivost na mezoskali.

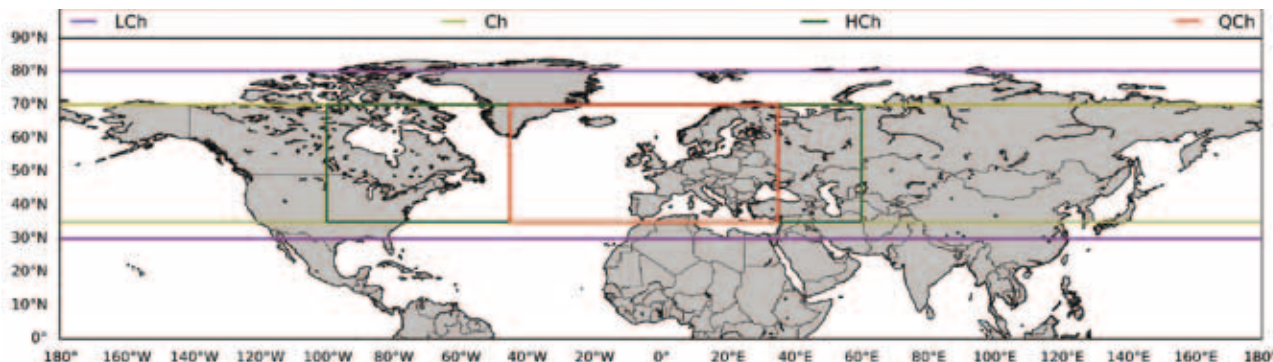
Sedanja študija predstavlja rezultate primerjave nekaterih lastnosti Rossbyjevih valov v zmernih širinah v odvisnosti od velikosti modelskega območja. S študijo želimo potrditi ali ovreči hipotezo, da se hitrost troposferskih Rossbyjevih valov nad Atlantikom in Evropo ne spreminja bistveno v odvisnosti od velikosti območja numeričnega prognostičnega modela. Lahko rečemo, da je to nujno, če naj bi modeli za omejeno območje nad Evropo lahko uspešno napovedovali podrobnosti mezoskalnih procesov.

## Podatki in metoda dela

### Podatki

Pri delu smo uporabili rezultate numeričnih simulacij z modelom WRF (Weather Research and Forecasting Model, <http://www.wrf-model.org>), ki je vgnuzden v analize globalnega modela ECMWF. Horizontalna ločljivost obeh modelov je enaka in sicer  $0.25^\circ$ . Namen ohranjanja ločljivosti je lažja obravnava vpliva velikosti modelskega območja. Analize ECMWF so





Slika 2. Modelska območja numeričnih simulacij: vijolična barva predstavlja Large Channel (LCh), rumena barva Channel (Ch), zelena barva Half Channel (HCh) in rdeča Quarter Channel (QCh). Podrobnosti so podane v besedilu.

Figure 2. Computational domains of the WRF model: purple lines represent Large Channel (LCh), Channel (Ch) is yellow, Half Channel (HCh) green whereas the Quarter Channel (QCh) domain is shown by the red lines. Details are in the text.

rezultat 4D-Var asimilacijskega sistema. Robni pogoji so pripravljene na vsakih 6 ur. Numerični eksperimenti so pripravljene na način, kot je opisano v Žagar in sod. (2013). Uporabljena so štiri modelska območja predstavljena na sliki 2:

1. QCh (Quarter Channel), ki je najmanjše in se razteza med 45°W in 35°E, 35°N in 70°N in tako vsebuje 319 x 139 točk,
2. HCh (Half Channel), ki je zonalno približno dvakrat širše od QCh, in definirana med 100°W in 60°E ter vsebuje 639 x 139 točk,
3. Ch (Channel), ki je globalni kanal v zmernih širinah enake meridionalne dolžine in vsebuje 1439 x 139 točk, in
4. LCh (Large Channel), ki je podobno kot Ch globalni kanal, vendar je v meridionalni smeri razširjeno 5° proti jugu in 10° proti severu tako da vsebuje 1439 x 199 točk.

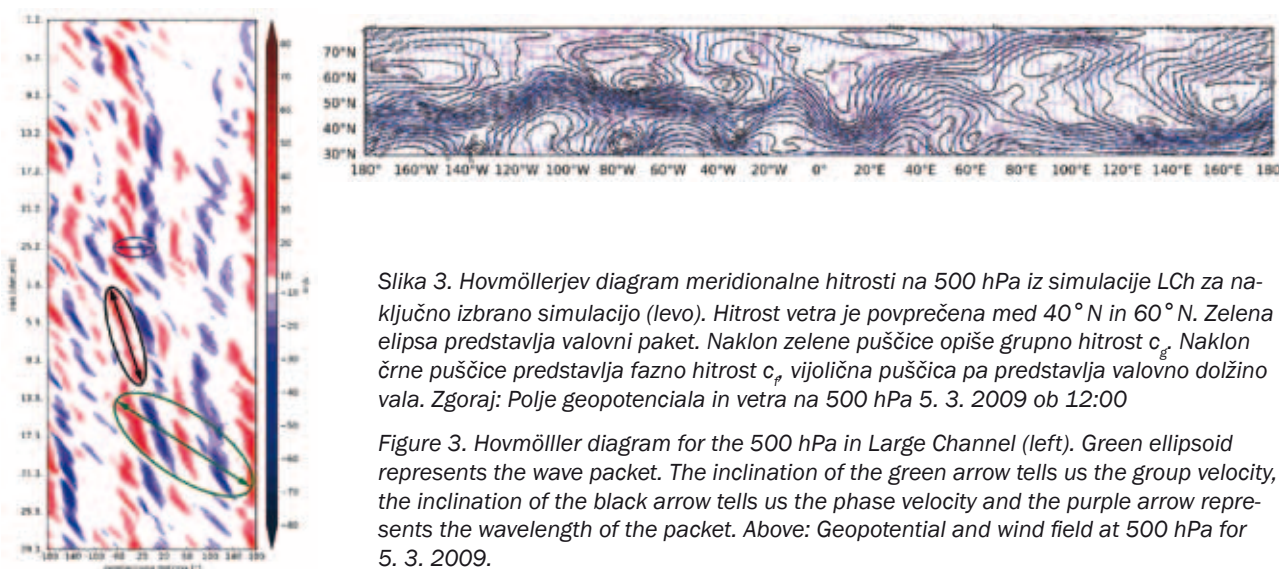
Na vsakem modelskem območju (oz. v vsakem poskusu) je narejeno 10 simulacij pozimi 2009. Prva simulacija v vsakem modelskem območju se je začela

1. januarja 2009, druga simulacija dan pozneje, tretja še en dan pozneje, itd. Vse simulacije so se končale 31. marca. Ker nas ne zanima problem začetnih pogojev, temveč razvoj sinoptičnih valov v različnih modelskih območjih, prvih 2 tednov rezultatov posameznih simulacij nismo obravnavali. Vsaka od 10 simulacij posameznega eksperimenta je obravnavana ločeno. Rezultati izračunov hitrosti pa so povprečeni.

Rezultati simulacij so interpolirani z modelskih vertikalnih nivojev sigma-p modela WRF na standardne nivoje tlaka vsake 3 ure. Obravnavane spremenljivke so komponentne horizontalnega vetra označene z  $u$  in  $v$ , geopotencialna višina in temperatura.

**Metoda dela**

Rossbyjeve valove analiziramo s pomočjo Hovmöllerjevih diagramov. Leta 1948 je Ernest Hovmöller oblikoval diagram, ki ima na osi x



Slika 3. Hovmöllerjev diagram meridionalne hitrosti na 500 hPa iz simulacije LCh za naključno izbrano simulacijo (levo). Hitrost vetra je povprečena med 40° N in 60° N. Zelena elipsa predstavlja valovni paket. Naklon zelene puščice opiše grupno hitrost  $c_g$ , Naklon črne puščice predstavlja fazno hitrost  $c_p$ , vijolična puščica pa predstavlja valovno dolžino vala. Zgoraj: Polje geopotenciala in vetra na 500 hPa 5. 3. 2009 ob 12:00

Figure 3. Hovmöller diagram for the 500 hPa in Large Channel (left). Green ellipsoid represents the wave packet. The inclination of the green arrow tells us the group velocity, the inclination of the black arrow tells us the phase velocity and the purple arrow represents the wavelength of the packet. Above: Geopotential and wind field at 500 hPa for 5. 3. 2009.

zemljepisno dolžino, na osi y pa čas in tako prikazuje časovni in prostorski razvoj izbrane meteorološke spremenljivke. Tovrstni diagrami so se uveljavili kot orodje za predstavitev razvoja Rossbyjevih valov (Hovmöller, 1949; Persson, 2016). Prav te diagrame smo uporabljali tudi mi pri analizi lastnosti Rossbyjevih valov v različnih modelskih območjih.

Primer Hovmöllerjeva diagrama je predstavljen na sliki 3. Na sliki lahko opazimo s črno krivuljo narisano elipso okoli rdeče barve, kjer je po diagonali narisana črna puščica. Naklon te puščice predstavlja oceno fazne hitrosti Rossbyevega vala – v tem primeru okrog  $40^\circ$  v približno šestih dnevih oz. okrog  $7^\circ$  na dan. Z zeleno krivuljo pa je sklenjena elipsa katere glavno polos predstavlja zelena puščica. Naklon te puščice predstavlja grupno hitrost Rossbyevega vala – v tem primeru okrog  $210^\circ$  zemljepisne dolžine v približno šestih dnevih oz. hitrost znaša okoli  $35^\circ$  na dan ali okoli 30 m/s.

Na Hovmöllerjevih diagramih približno določimo valovno dolžino valovanja kot razdaljo med dvema enako predznačenima maksimumoma. Fazni zamik vala po višini lahko določimo z diagrami za različne nivoje. Položimo jih enega prek drugega in tako odčitamo fazni zamik kot razdaljo v stopinjah geografske dolžine, kar lahko naprej pretvarjamo v poljubne enote.

Kot običajno v podobnih študijah, obravnavamo meridionalno komponento horizontalnega vetra, ki jo povprečimo v meridionalni smeri. Razlog za povprečevanje je lokalna spremenljivost toka, ki za opis dogajanj na skali Rossbyjevih valov ni pomembna. Območje povprečevanja je med  $40^\circ\text{N}$  in  $60^\circ\text{N}$ .

Na sliki 3 je predstavljeno polje geopotenciala in vetra v naključno izbranem času na ploskvi 500 hPa na

kateri lahko opazimo tipično število 5-6 Rossbyjevih valov v zmernih širinah.

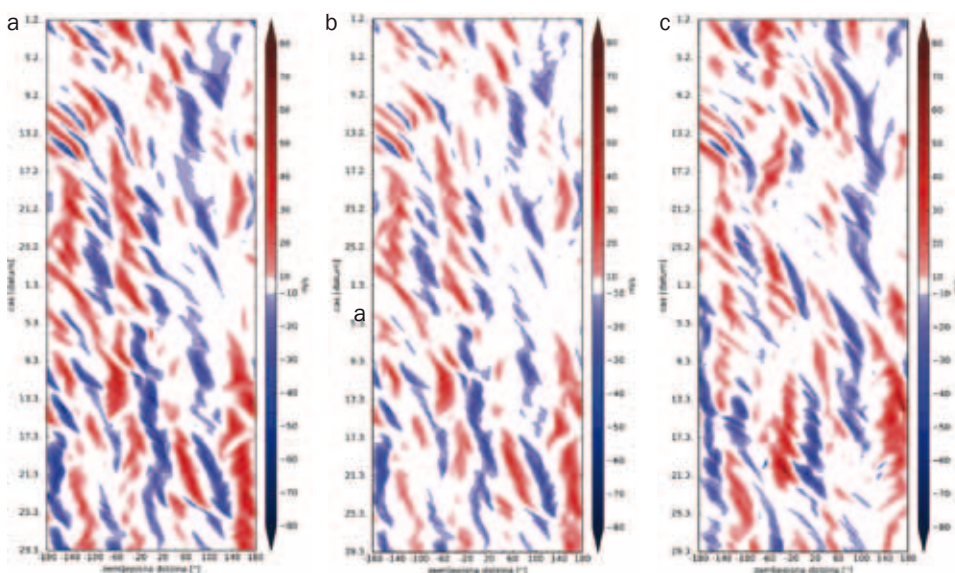
## Rezultati

Rezultate bomo predstavili od večjega modelskega območja proti manjšim.

V modelskem območju LCh imajo Rossbyjevi valovi za razvoj na razpolago celoten pas okoli Zemlje, hkrati pa imajo robni pogoji najmanjši vpliv na modelsko območje oz. obstajajo le meridionalni robni pogoji. Zato lahko dajo različne simulacije precej različen opis valovanj v neki točki v istem terminu. To sicer ni nujno, kot lahko opazimo iz primerjave dveh simulacij na slikah 4a in 4b, ki sta si precej podobni. Z višino se lastnosti Rossbyjevih valov spreminjajo, kot kažeta sliki 4a in 4c. Z uporabo Hovmöllerjevih diagramov na nivojih 300 hPa in 500 hPa so bile izračunane grupna hitrost  $c_g$ , fazna hitrost  $c_r$ , pa tudi fazni zamik valov v vertikalni smeri  $\Delta\varphi$  in tipična valovna dolžina vala  $\lambda$ . Ker se tok spreminja, so vrednosti ocenjene za različne elipse v različnih časih in povprečene. Pri tem prihaja do napake zaradi definicij elips, kar lahko nekoliko vpliva tudi na oceno povprečnih vrednosti.

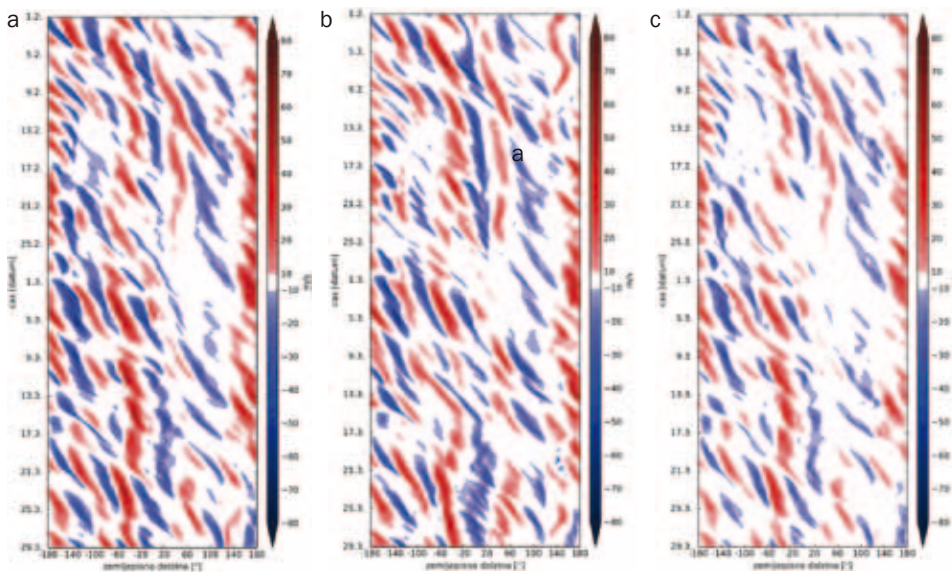
Za nivo 300 hPa so vrednosti fazne hitrosti  $2,5$  kotne stopinje na dan oz.  $c_r = 5,2^\circ/\text{dan}$ , grupna hitrost pa je dosti večja:  $c_g = 26,8^\circ/\text{dan}$ , ter  $\lambda = 74,8^\circ$ . Za nivo 500 hPa so rezultati  $c_r = 6,4^\circ/\text{dan}$   $c_g = 30,7^\circ/\text{dan}$ ,  $\lambda = 74,3^\circ$ . Fazni zamik znaša  $\Delta\varphi = 2,5^\circ/100$  hPa. Ocena napake izračuna, pridobljena kot koren vsote kvadratov odstopanj ocenjenih napak od njihovega povprečja, znaša  $2,1^\circ/\text{dan}$  za fazno hitrost in  $5,1^\circ/\text{dan}$  za grupno hitrost za nivo 300 hPa oz.  $2,2^\circ/\text{dan}$  in  $7,9^\circ/\text{dan}$  za 500 hPa.

Hovmöllerjevi diagrami za modelsko območje Ch za različne simulacije se med seboj vizualno malo



Slika 4. Hovmöllerjevi diagrami za modelsko območje LCh, kot povprečje meridionalne hitrosti med  $40^\circ$  do  $60^\circ\text{N}$  z časovnim korakom 3 ure. Predstavljeni so rezultati (a) prve simulacije na 300 hPa, (b) šeste simulacije za 300 hPa in (c) prve simulacije na 500 hPa.

Figure 4. Hovmöller diagrams for the LCh domain as average meridional wind in the belt  $40^\circ\text{N}$  to  $60^\circ\text{N}$  every 3 hours. (a) first simulation at 300 hPa level, (b) sixth simulation at 300 hPa and (c) the first simulation at 500 hPa.



Slika 5. Kot slika 4, le za modelsko območje Ch.

Figure 5. As in Fig. 4 but for the Ch domain.

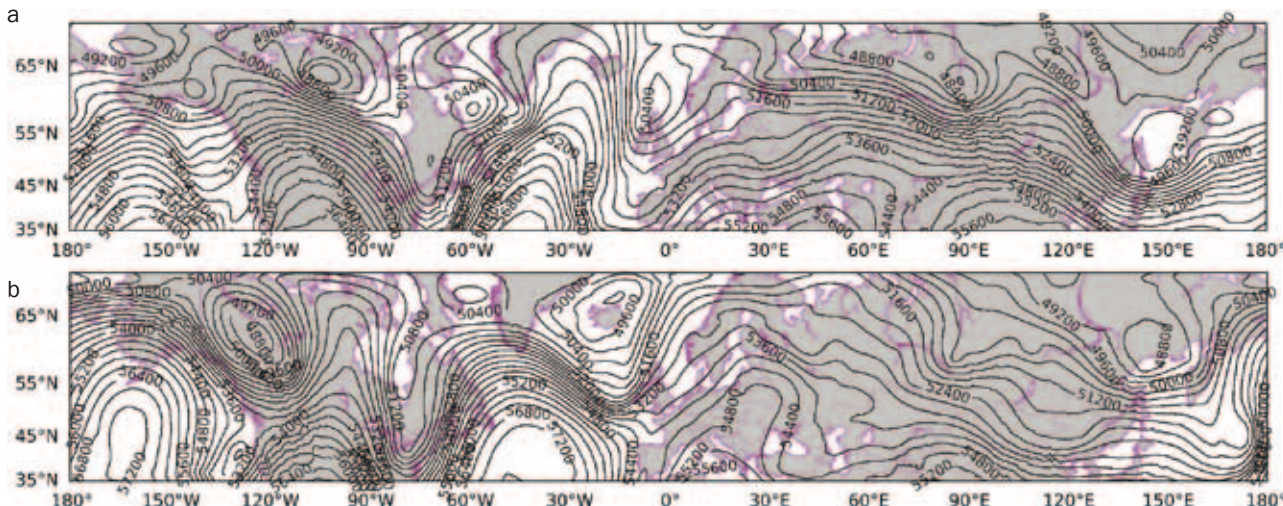
razlikujejo, kar lahko vidimo na sliki 5. Zelo očitna in pričakovana lastnost, ki je iz diagramov razvidna že na prvi pogled, je naraščanje amplitude meridionalne hitrosti z višino. To lahko vidimo iz primerjave slik 5a in 5c. Podobno kot za modelsko območje LCh, so za valovne pakete, ki se pojavljajo na diagramih vseh simulacij v prvih dveh tednih februarja, določeni povprečna grupna ter fazna hitrost, fazni zamik z višino in valovna dolžina. Vsi potrebni podatki za določitev lastnosti so iz diagramov odčitani na ploskvah 500 hPa in 300 hPa za vse simulacije in nato povprečeni.

Rezultati za nivo 300 hPa so  $c_f = 9,8 \text{ }^\circ/\text{dan}$ ,  $c_g = 25,7 \text{ }^\circ/\text{dan}$ , za nivo 500 hPa so vrednosti  $c_f = 8,9 \text{ }^\circ/\text{dan}$ ,  $c_g = 24,7 \text{ }^\circ/\text{dan}$ . Na obeh nivojih je  $\lambda$  okoli 5000 km.

Če ocenjene vrednosti primerjamo z znanimi vrednostmi grupne in fazne hitrosti troposferskih

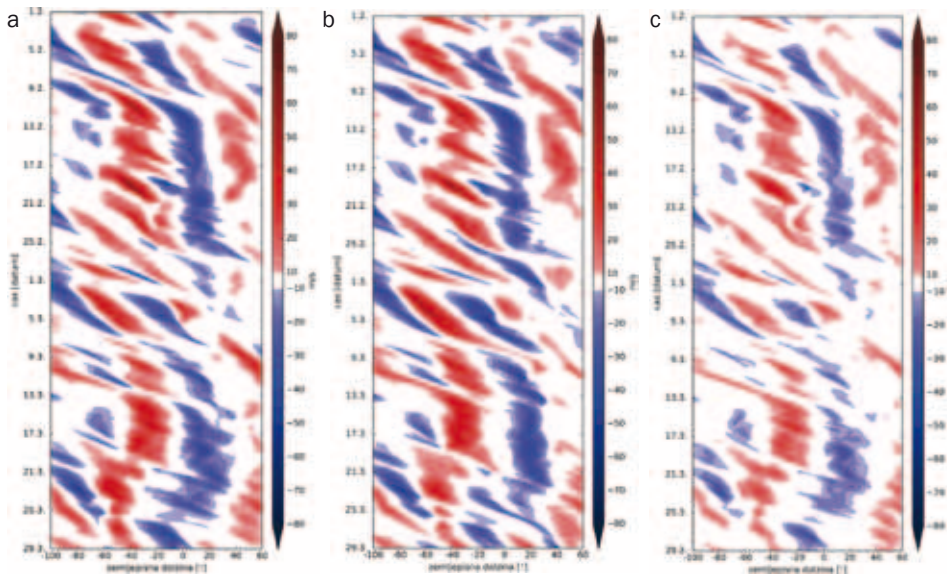
Rossbyjevih valov iz literature vidimo, da se ujemajo. Povprečni fazni zamik z višino proti zahodu na modelskem območju Ch je  $\Delta\varphi = 6^\circ$  zemljepisne širine na 200 hPa vertikalne debeline. Vse simulacije so za analizirano obdobje nakazovale valovno dolžino med 5500 km in 6200 km. Povprečna valovna dolžina tako nakazuje povprečno valovno število 4, kar je predstavljeno s primeroma polj geopotencialne višine na sliki 6. Polji sta predstavljeni za datuma 5. 2. 2009 in 3. 3. 2009, pri katerih so določane valovne dolžine.

Za modelsko območje HCh sta bila izbrana dva Rossbyjeva valovna paketa na ploskvah 300 hPa in 500 hPa. Prvi dogodek je trajal med 3. 2. - 8. 2. 2009 in drugi med 28. 2. - 7. 3. 2009. Za oba dogodka je opravljeno 20 ocen valovnih lastnosti na podlagi katerih so pridobljeni naslednji rezultati: za 300 hPa sta povprečni hitrosti  $c_f = 7,5 \text{ }^\circ/\text{dan}$  in  $c_g = 24,8 \text{ }^\circ/\text{dan}$ , za nivo 500 hPa pa sta vrednosti  $c_f = 6,8 \text{ }^\circ/\text{dan}$  in  $c_g = 25,0 \text{ }^\circ/\text{dan}$ . Na obeh nivojih je  $\lambda$  okrog  $73^\circ$



Slika 6. Polji geopotenciala na ploskvi 500 hPa za prvo simulacijo za (a) 5. 2. 2009 ob 12:00 in (b) 3. 3. 2009 ob 12:00.

Figure 6. Geopotential height at 500 hPa for the first simulation on (a) 5. 2. 2009, at 12 UTC and (b) 3. 3. 2009 at 12 UTC.



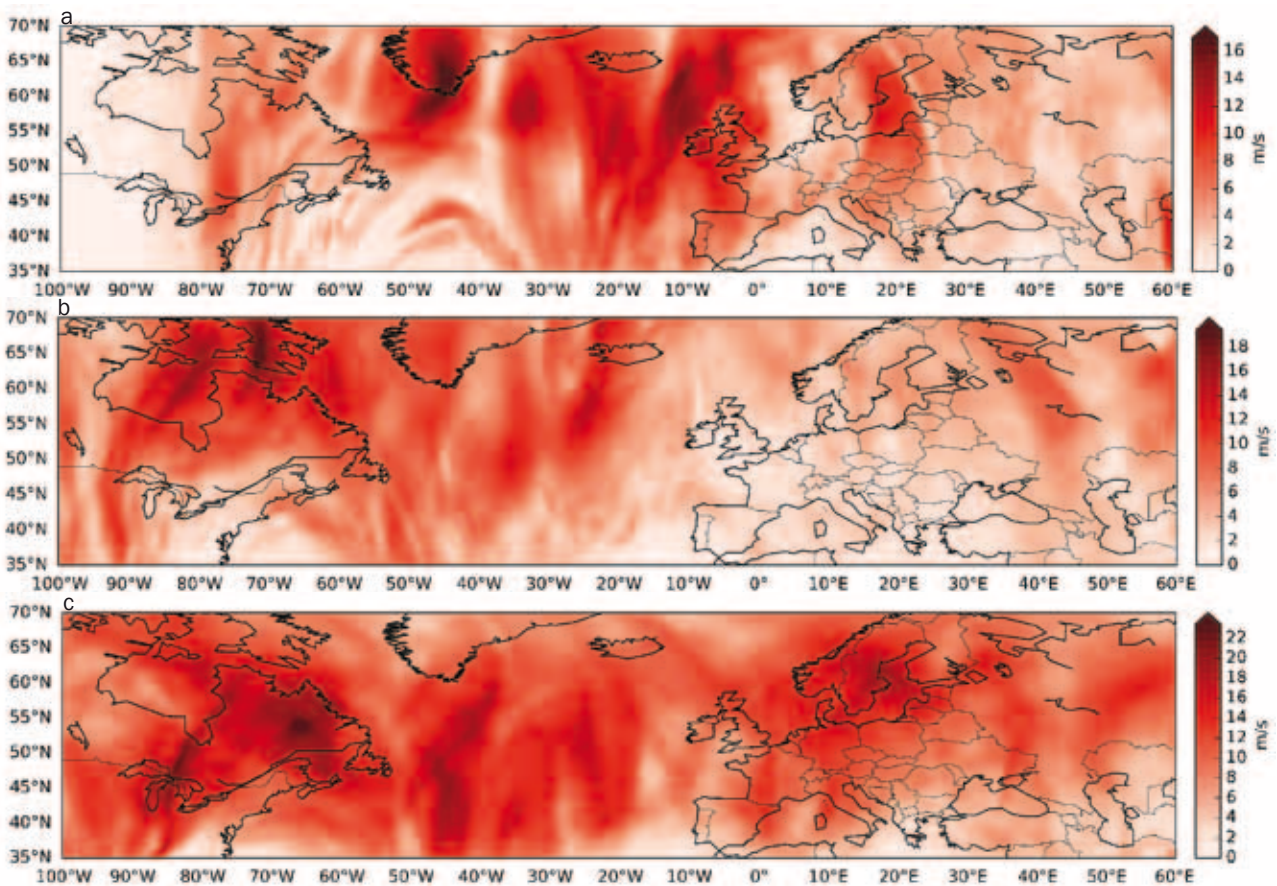
Slika 7. Kot slika 4, le za modelsko območje HCh.

Figure 7. As in Fig. 4 but for the HCh domain.

zemljepisne dolžine. Povprečni fazni zamik z višino je  $\Delta\phi = 3^\circ/200$  hPa proti zahodu. Nekaj simulacij je prikazanih na sliki 7, ki nam pove, da modelsko območje velikosti  $160^\circ$  v zonalni smeri približno predstavi do dva Rossbyjeva valovna paketa. Na sliki 8 je za 5. 2. 2009 na ploskvi 500 hPa prikazana standardna deviacija za meridionalno hitrost za

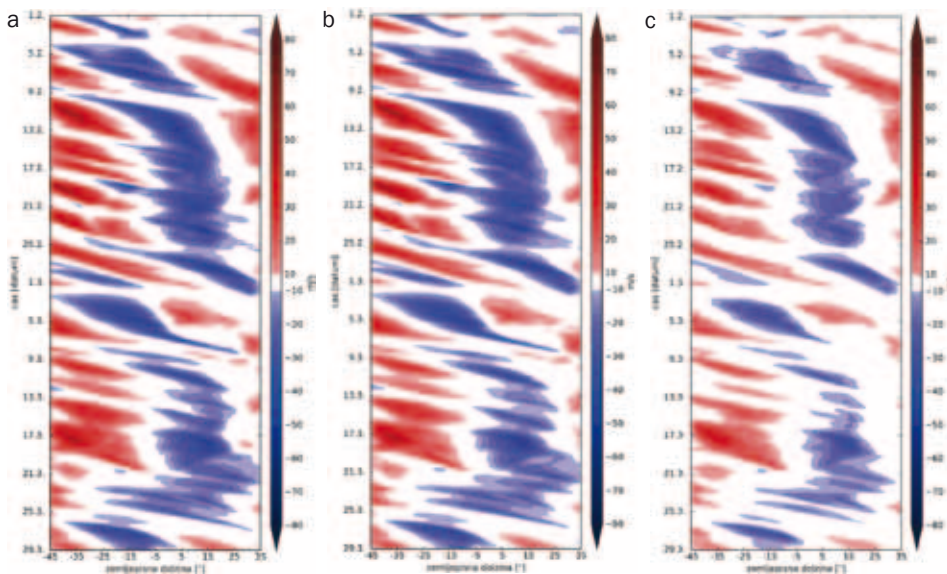
modelska območja HCh, Ch in LCh, vse narisane na velikosti območja HCh.

Siljenje na stranskih robovih na modelskem območju HCh je bolj intenzivno na zahodnem kot na vzhodnem robu območja zaradi zahodnega toka. Zato na tem delu modelskega območja robni pogoji ne dovolijo, da



Slika 8. Raztros ansambla (standardni odklon) v polju meridionalne hitrosti na ploskvi 500 hPa na različnih modelskih območjih 5. 2. 2009 ob 12 UTC. a) Modelsko območje HCh, b) Modelsko območje Ch, in c) Modelsko območje LCh.

Figure 8. Ensemble spread in meridional wind at 500 hPa on 5 February 2009, 12 UTC. Domains a) HCh, b) Ch and c) LCh.



Slika 9. Kot slika 4, le za modelsko območje QCh.

Figure 9. As in Fig. 4 but for the QCh domain.

se razvije notranja dinamika modela različna od tega, kar predpisujejo globalne analize modela ECMWF. Razlike med posameznimi simulacijami opišemo z raztrosom desetih simulacij kot je predstavljeno na sliki 8. Na tej sliki vidimo, da vpliv zahodnega stranskega roba sega do približno  $80^{\circ}$  W. Največje razlike (oz. raztros) med simulacijami na modelskem območju HCh so nad severnih Atlantikom, kjer je območje največje baroklinosti. V ostalih dveh modelskih območjih pa najdemo značilne razlike tudi nad vzhodnim delom Kanade. Na LCh modelskem območju, kjer so meridionalni robni pogoji na severni in južni strani bolj oddaljeni kot na modelskih območjih Ch in LCh, najdemo velike razlike med simulacijami po celotnem modelskem območju. Če bi sliko 8 povprečili v času, bi dobili bistveno različne lokacije in amplitude sinoptične spremenljivosti toka nad severnim Atlantikom in Evropo.

Hovmöllerjevi diagrami za najmanjše modelsko območje QCh so dokaj nezanimivi, ker se pri njej razmere skoraj ne spreminjajo z višino. Na sliki 9, kjer so prikazani Hovmöllerjevi diagrami na 500 hPa in 300 hPa za nekaj simulacij, vidimo, da se z višino znatneje poveča samo amplituda hitrosti. V resnici se slike zelo malo razlikujejo in sicer je položaj nekaterih maksimumov in minimumov z višino vseeno malce zamaknjen, tako da dobimo nekaj faznega zamika z višino. Same strukture pa se ne spreminjajo, kar pomeni, da se tudi fazna hitrost in valovna dolžina ne spreminjata v odvisnosti od višine ali od eksperimenta. Majhne razlike se lahko pojavijo kot posledica metode določanja valovnih paketov. V tem primeru smo poiskali tri primere, na katerih smo računali fazno hitrost in valovno dolžino za vse simulacije na 500 hPa in 300 hPa. Grupne hitrosti pa ne moremo določiti, ker je modelsko območje premajhno za opis Rossbyjevih valovnih paketov v sinoptični skali. Modelsko območje je namreč

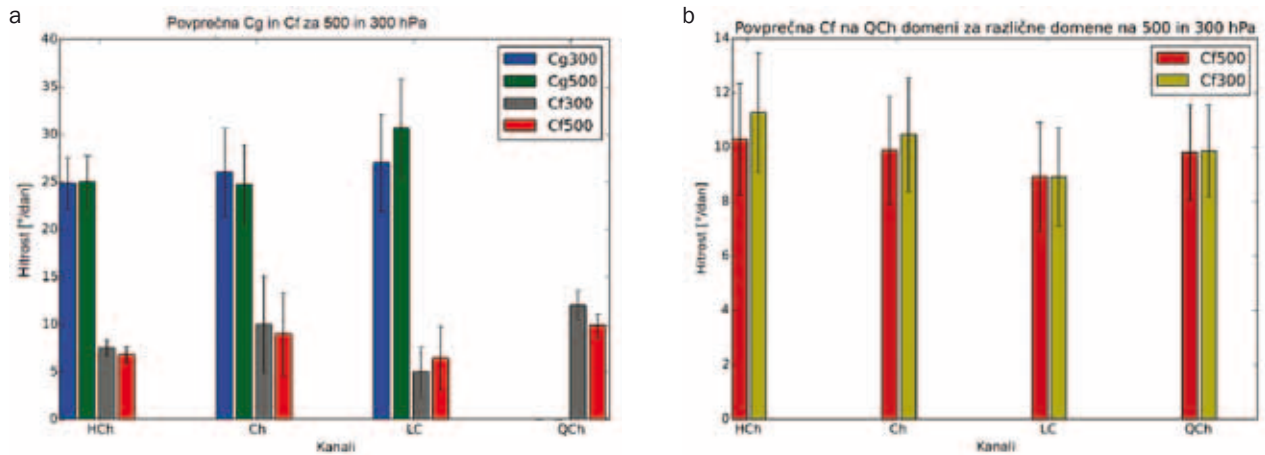
tako majhno, da je njegova velikost v zonalni smeri približno enaka valovni dolžini Rossbyjevih valov. Ocena fazne hitrosti na 300 hPa znaša  $c_r = 5,6^{\circ}/\text{dan}$  z napako okoli  $0,86^{\circ}/\text{dan}$ . Na nivoju 500 hPa pa sta obe vrednosti enaki. Na obeh nivojih je  $\lambda$  okoli  $94^{\circ}$  zemljepisne dolžine.

## Razprava in zaključki

Povprečna ocena grupne in fazne hitrosti v različnih modelskih območjih na dveh ploskvah konstantnega tlaka je zbrana na sliki 10a. Slika nakazuje, da je v modelskem območju LCh na obeh nivojih grupna hitrost nekoliko večja kot v manjših modelskih območjih. To lahko razumemo kot posledico bolj "svobodnega" razširjanja energije valovnih perturbacij v večjem modelskem območju. Istočasno pa je fazna hitrost nekoliko manjša kot v modelskem območju Ch. Podoben trend se pojavlja na sliki 11b, ki primerja fazno hitrost v različnih eksperimentih na modelskem območju QCh. Vendar so ocene tako grupne kot fazne hitrosti obremenjene z napako, ki je večja od razlik hitrosti v različnih eksperimentih in modelskih območjih.

Lahko sklepamo, da smo na podlagi grupne hitrosti Rossbyjevih valov, ki smo jih z nekoliko subjektivno metodo ocenili iz Hovmöllerjevih diagramov, pokazali, da se paketi Rossbyjevih valov v večjih modelskih območjih gibljejo "bolj svobodno" in zato nekoliko hitreje. Dejstvo, da fazna hitrost z zmanjševanjem velikosti modelskega območja pada, lahko pomeni, da njena vrednost postaja vedno bolj določena z fazno hitrostjo Rossbyjevih valov na robovih modelskega območja.

Ugotovili smo, da obstajajo značilne razlike med modelskimi območji in da je dinamika v največjih



Slika 10. (a) Povprečna grupna in fazna hitrost Rossbyjevih valov na nivojih 500 in 300 hPa v različnih modelskih območjih. (b) Fazna hitrost na 500 in 300 hPa za 4 različne eksperimente na modelskem območju QCh.

Figure 10. (a) Estimated Rossby wave phase speed at 500 hPa and 300 hPa in various domains. (b) As in (a) but for the area of the QCh domain.

dveh modelskih območjih, kjer je več prostora za razvoj valov, bistveno drugačna kot v najmanjšem modelskem območju QCh. Rezultati različnih simulacij v območju QCh so med seboj zelo podobni. Nagib valov z višino je v območju QCh najmanjši.

Za bolj zanesljive zaključke bi potrebovali oceno hitrosti Rosbyjevih valov iz analiz ECMWF na različnih modelskih območjih in bolj natančno definiran postopek določanja valovnih paketov na različnih modelskih območjih. Na primer, ročno odčitavanje valovnih paketov bi lahko zamenjali z objektivno metodo, ki definira valovne pakete kot objekte.

## Zahvala

Najlepše se zahvaljujemo sodelavcema Katedre za meteorologijo UL-FMF Blažu Jesenku za pripravo simulacij in procesiranje podatkov na nivoje tlaka ter Maticu Šavliju za pripravo osnovnih skript za procesiranje podatkov.

## Literatura

- Car, A., 2016: Vpliv stranskih robnih pogojev na naraščanje napak napovedi v regionalnih prognozičnih modelih. *Diplomska naloga UL-FMF*, 2016.
- Chang, E.K.M., 1993: Downstream Development of Baroclinic Waves as Inferred from Regression Analysis. *J. Atmos. Sci.*, 50, 2038-2053.
- Hoskins, B. J. in I. N. James, 2014: *Fluid dynamics of the midlatitude atmosphere*. Wiley Blackwell, 2014, 408 str.
- Hovmöller, E., 1949: The Trough-and-Ridge diagram. *Tellus*, 1, 62-66. doi:10.1111/j.2153-3490.1949.tb01260.x.
- Persson, A., 2016: The story of the »Hovmöller diagram« - an (almost) eye witness account. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* doi: 10.1175/BAMS-D-15-00234.1
- Žagar, N., L. Honzak, R. Žabkar, G. Skok, J. Rakovec in A. Ceglar, 2013: Uncertainties in a regional climate model in the midlatitudes due to the nesting technique and the domain size. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 6189-6199, doi:10.1002/jgrd.50525.

# Podnebni tipi Slovenije na podlagi podnebnih povprečij, trendov in spremenljivosti

Katja Kozjek, Mojca Dolinar, Gregor Vertačnik  
katja.kozjek@gov.si

## Povzetek

Motivacija za raziskavo je izhajala iz potrebe po določitvi referenčnih podnebnih postaj, ki bi bile značilne za širšo okolico in bi hkrati čim boljše opisale v zadnjih desetletjih opažene spremembe podnebnih spremenljivk. Eden izmed možnih načinov določitve takšnih referenčnih postaj je regionalizacija območja Slovenije na podlagi značilnosti podnebnih spremenljivk in izračunanih mer spremenljivosti teh spremenljivk (trendi, medletna in meddnevna spremenljivost) za nedavno 50-letno obdobje. Uporabili smo podnebne podatke v pravilni mreži za obdobje 1961–2011. S predhodno analizo podatkov smo določili ključne podnebne spremenljivke, s katerimi smo želeli opredeliti podnebne regije. Regionalizacijo smo izvedli s kombinacijo dveh statističnih metod. Število začetnih spremenljivk smo v nekaterih primerih najprej zmanjšali z uporabo faktorske analize, ki ji je sledilo razvrščanje v skupine po metodi voditeljev (angl. *k-means clustering*), v drugih primerih pa smo razvrščanje v skupine izvedli neposredno na podnebnih spremenljivkah. Regionalizacijo smo najprej naredili za vsak posamezni vidik podnebja posebej: podnebna povprečja, trende, medletno in meddnevno spremenljivost. Ugotovili smo, da daje vsak vidik precej drugačno prostorsko spremenljivost na območju Slovenije. Zato je pomembno, da v končno regionalizacijo vključimo vse obravnavane vidike podnebja, saj vsak predstavlja dodatno podnebno informacijo. Glede na namen uporabe sta nas zanimali dve vrsti regionalizacije: regionalizacija, ki združi vse mere spremenljivosti v času in regionalizacija, ki združi vse podnebne kazalce. Regionalizacija na podlagi mer spremenljivosti bi bila uporabna predvsem za določitev referenčnih podnebnih postaj, saj želimo, da bi ravno te čim boljše opisale spremembe podnebnih spremenljivk. Regionalizacija na podlagi vseh podnebnih kazalcev oziroma vseh podnebnih spremenljivk uporabljenih v študiji (podnebna povprečja in vse tri mere spremenljivosti) pa naj bi optimalno opisala tako značilnosti podnebja kot podnebnih sprememb v Sloveniji. Poleg osnove za določitev referenčnih podnebnih postaj smo z regionalizacijo dobili tudi pomemben vpogled v prostorski vzorec podnebne spremenljivosti na območju Slovenije. Potrebno pa je omeniti, da so bile kljub uporabi objektivnih statističnih metod v nekaterih korakih procesa regionalizacije potrebne strokovno utemeljene subjektivne odločitve.

**Ključne besede:** podnebni tipi, Slovenija, spremenljivost podnebja, trend podnebnih spremenljivk

## Abstract

The motivation for the study came from the need to determine reference climate stations in Slovenia, that would well describe changes of climate variables due to climate change and be representative for the present climate of wider area as well. One way to determine such stations is to make climate regionalization. Long-term mean monthly values, long-term trends, inter-annual and day-to-day variability of seasonal values were the key variables considered in the study. Such regionalization should optimally describe both climate and climate change characteristics since 1961. With gridded values of homogenized time series (period 1981-2011) for key climate variables (air temperature, precipitation and snow cover), covering the entire territory of Slovenia, gridded trends, interquartile ranges and variability of the same key variables over the period 1961-2011, we were able to construct climate regionalization with statistical approach. In some cases *k-means clustering* methodology was applied directly on variables to define regions, while in other cases variables structure was simplified by applying factor analysis before clustering. At first, regionalization was performed separately for climate normals, temporal trends, inter-annual and day-to-day variability. Spatial variability of climate normals, trends, inter-annual and day-to-day variability does not show direct connection to each other, but all of them are very important for climate regionalization as each provides us with a unique climate information. The difference in spatial pattern of all individual aspect of climate (normals, trend and variability) indicated the need to include them all in regionalization.

Regarding the purpose of the study, we were interested in two types of regionalization. The first one being regionalization which focuses on all measures of variability. This regionalization would be applicable for determination of reference climate stations in Slovenia. Second regionalization would take into account all climate variables used in this study (long-term normals, long-term trends, inter-annual variability). Such regionalization should optimally describe both climate and climate change characteristics in Slovenia. Beside the basis for the representative climate stations determination, the regionalization has given us an important insight into the spatial pattern of climate variability of the region. It is worth noting, that despite the fact the regions and the boundaries between them were determined using statistical methods, the approach is not entirely objective. When performing the statistical procedures some subjective decisions were nevertheless made, but are based on expert knowledge of climate characteristics in the Slovenian region.

**Keywords:** : climate types, Slovenia, climate variability, climate trends

## Uvod

Motivacija za raziskavo je izhajala iz potrebe po določitvi referenčnih podnebnih postaj, ki bi bile značilne za širšo okolico in bi čim bolje opisale v zadnjih desetletjih opažene spremembe podnebnih spremenljivk. Referenčne postaje bi imele namreč velik pomen pri racionalizaciji in načrtovanju merilne mreže postaj za dolgoročno spremljanje sprememb podnebja. Eden izmed možnih načinov določitve takšnih referenčnih postaj je regionalizacija območja Slovenije na podlagi značilnosti podnebnih spremenljivk in izračunanih mer spremenljivosti teh spremenljivk (trendi, medletna in meddnevna spremenljivost) za nedavno 50-letno obdobje. Takšna regionalizacija kar se da optimalno opiše podnebne značilnosti in spremembe podnebja, opažene v nedavnem 50-letnem obdobju. Poleg osnove za določitev referenčnih podnebnih postaj pa s takšno regionalizacijo dobimo tudi pomemben vpogled v prostorski vzorec podnebne spremenljivosti na območju Slovenije.

## Podatki

Opredelitev podnebnih regij temelji na podnebnih podatkih Agencije RS za okolje, ki izvaja meritve osnovnega nabora podnebnih spremenljivk na mreži podnebnih postaj. Če želimo opredeliti podnebni tip za vsak košček Slovenije, potem moramo poznati podnebne značilnosti za vsa območja Slovenije. Mreža podnebnih postaj Agencije RS za okolje je preredka, da bi neposredno na podlagi teh podatkov lahko v podnebne regije razvrstili celotno Slovenijo. Danes imamo na voljo podnebne podatke za vse glavne podnebne spremenljivke v pravilni kilometrski mreži (Dolinar, 2016), ki pokriva celotno Slovenijo (20916 točk), zato je bilo mogoče narediti objektivno razvrstitev in opredelitev podnebnih regij s statističnim pristopom.

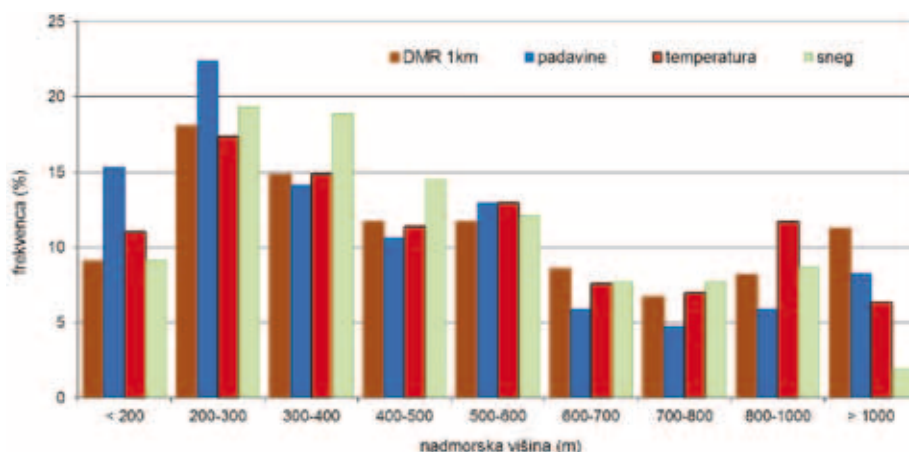
Za računanje vrednosti podnebnih spremenljivk in njihove spremenljivosti v pravilni kilometrski mreži je bila uporabljena metoda Kriging z zunanjim

vplivom (Cressie, 1993), ki upošteva odvisnost podnebne spremenljivke od geografskih spremenljivk in njihovo prostorsko povezanost. V vsaki mrežni točki je bila vrednost spremenljivke izračunana na podlagi vrednosti na okoliških merilnih postajah, nadmorske višine, geografske dolžine in širine mrežne točke ter v nekaterih primerih tudi drugih izpeljanih geografskih spremenljivk (npr. relativna nadmorska višina orografske pregrade v smeri SV za padavine). Vrednosti spremenljivk in njihove mere spremenljivosti na merilnih postajah so bile izračunane na podlagi homogeniziranih časovnih nizov meritev (Vertačnik, 2016). Število postaj s primernimi nizi za prostorsko interpolacijo je bilo za vsako od spremenljivk drugačno (Vertačnik, 2016): 60 za temperaturo zraka, 288 za padavine in 206 za višino novozapadlega snega. Poleg meritev slovenskih meteoroloških postaj so bili za prostorsko interpolacijo uporabljeni tudi podatki obmejnih postaj Italije, Avstrije in Hrvaške. Več o metodah prostorske interpolacije ter lastnostih teh podatkov je zapisano v Bertalanich et al. (2008) in Dolinar (2016). Rezultati prostorske interpolacije so bili preverjeni z metodo navzkrižnega preverjanja (Cressie, 1993). Normalizirana celotna napaka interpolacije (angl. normalised root mean square prediction error - *RMSEr*) je celotna napaka interpolacije (angl. root mean square prediction error - *RMSE*), normalizirana s standardnim odklonom (*SD*) vseh točkovnih meritev, ki predstavljajo vhod v proces interpolacije:

$$RMSEr = \frac{RMSE}{SD}$$

Normalizirana celotna napaka je mera točnosti prostorske interpolacije in je zadovoljiva, kadar so njene vrednosti pod 40 % (Hengl, 2007). V našem primeru so bile še pol manjše in so se gibale med 13 in 14 % za temperaturne spremenljivke, med 12 in 15 % za padavine in med 14 in 16 % za višino novozapadlega snega. Za vse spremenljivke je največja negotovost vrednosti v pravilni mreži na območjih z nadmorsko višino nad 1000 m. Ta območja so namreč zelo slabo pokrita z meritvami





Slika 1. Porazdelitev postaj, ki merijo višino padavine, temperature in sneg, po nadmorski višini v primerjavi s porazdelitvijo terena Slovenije v ločljivosti 1 km po nadmorski višini (DMR 1 km).

Figure 1. The relative frequency distribution of stations measuring precipitation, snow and temperature according to the elevation in comparison with relative frequency distribution of Slovenian terrain in 1 km resolution (DMR 1 km).

(slika 1; Dolinar, 2016; Bertalanič et al., 2008). Pri padavinah je dodaten faktor, ki vpliva na nezanesljivost vrednosti na višjih nadmorskih višinah tudi ta, da so meritve padavin zaradi močnih vetrov lahko podcenjene.

S predhodno analizo podatkov (Kozjek, 2017) smo določili podnebne spremenljivke, s katerimi smo opredelili podnebne regije: temperatura zraka, višina padavin in višina novozapadlega snega. Letni cikel spremenljivk smo opisali z mesečnimi ali sezonskimi povprečji. Poleg podnebnih povprečij ključnih spremenljivk smo izračunali še nekatere mere spremenljivosti teh spremenljivk: dolgoletni trend, kvartilni razmik in povprečna absolutna razlika vrednosti spremenljivk med zaporednima dnevoma. Dolgoletni trendi temperaturnih spremenljivk predstavljajo spremembo temperature v stopinjah Celzija na desetletje. Trendi padavinskih spremenljivk in višine novozapadlega snega predstavljajo spremembo indeksa (razmerje med mesečno vrednostjo in dolgoletnim povprečjem 1961-2011) višine padavin in višine snežne odeje. Kvartilni razmiki (ang. interquartile range, IQR) opisujejo raztros dnevni (dnevna minimalna temperatura v najhladnejšem mesecu (januarju), dnevna maksimalna temperatura v najtoplejšem mesecu (juliju)), sezonskih (sezonska temperatura in sezonska višina padavin) ali letnih (višina novozapadlega snega v sezoni (od avgusta do julija naslednje leto)) vrednosti spremenljivk okoli gladke časovne krivulje, izračunane z metodo LOESS (Cleveland in Devlin, 1988). Kvartilni razmiki predstavljajo mero, s katero opišemo medletno spremenljivost. Pri temperaturnih spremenljivkah so podani v stopinjah Celzija, kvartilni razmiki padavinskih spremenljivk in višine novozapadlega snega pa so brez enote, ker merimo medletno spremenljivost indeksa. Dnevno nihanje oziroma meddnevno spremenljivost opišemo s povprečno absolutno razliko vrednosti spremenljivk med dvema zaporednima dnevoma. Ta razlika temperaturnih spremenljivk je podana v stopinjah Celzija, padavinskih spremenljivk v milimetrih, višine

novozapadlega snega pa v centimetrih. Pri izračunu podnebnih povprečij smo upoštevali 30-letno obdobje 1981–2010, za izračun mer spremenljivosti pa 51-letno obdobje 1961–2011. Nestandardno 51-letno obdobje smo obravnavali zato, ker je bilo takšno obdobje določeno v projektu Podnebna spremenljivost Slovenije (Vertačnik in sod., 2013; Vertačnik, 2016), katerega rezultat so bili homogenizirani časovni nizi spremenljivk. Obravnavane spremenljivke z opisi so zbrani v preglednici 1.

## Metode

Razvrstitev v podnebne regije smo izvedli s kombinacijo dveh statističnih metod. Število začetnih spremenljivk smo v nekaterih primerih najprej zmanjšali z uporabo faktorjske analize, ki ji je sledilo razvrščanje v skupine po metodi voditeljev (ang. k-means clustering), v drugih primerih pa smo razvrščanje v skupine izvedli neposredno na začetnih spremenljivkah.

## Faktorska analiza

Pred nadaljnjo analizo smo podatke standardizirali (npr. Ferligoj, 1989; Kachigan, 1991). Na izbranih spremenljivkah nismo opravili predhodne redukcije, vendar lahko že iz fizikalnih povezav med spremenljivkami sklepamo, da so te med seboj povezane.

Faktorska analiza je ena izmed statističnih metod za redukcijo podatkov, katere glavni namen je opisati kovariančno strukturo začetnih spremenljivk in najti nove skupne značilnosti - nove podnebne spremenljivke oziroma faktorje, ki opišejo prostorsko in sezonsko podnebno spremenljivost Slovenije. Metoda večje število spremenljivk, med katerimi obstaja povezanost, reducira v manjše število neodvisnih spremenljivk oziroma faktorjev in pri



tem ohrani večino informacije, ki jo v sebi skrivajo prvotne spremenljivke. Osnova faktorskega modela je domneva, da med spremenljivkami  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{f}$  in  $\mathbf{u}$  velja zveza:

$$\mathbf{x} = \Lambda \mathbf{f} + \mathbf{u} + \boldsymbol{\mu}$$

kjer je  $\mathbf{f}$  vektor skupnih faktorjev,  $\mathbf{u}$  vektor specifičnih faktorjev, ki vplivajo samo na  $\mathbf{x}$ , pa je matrika

*Preglednica 1. Seznam v študiji uporabljenih spremenljivk. Pri podnebnih povprečjih je upoštevano 30-letno povprečje (obdobje 1981–2010) spremenljivk. Pri povprečnih trendih, kvartilnih razmikih in absolutnih razlikah med zaporednima dnevoma je upoštevano 51-letno povprečje (obdobje 1961–2011) nanizanih spremenljivk<sup>1</sup>.*

*Table 1. List of variables selected for this study. Climate normals are calculated for the period 1981–2010. Mean trends, interquartile ranges and day-to-day differences of the same key variables are calculated for the period 1961–2011.*

Št.	Oznaka	Spremenljivka	Enota
<b>30-LETNA PODNEBNA POVPREČJA</b>			
1	TpovpJAN	januarska povprečna temperatura	°C
2	TpovpFEB	februarska povprečna temperatura	°C
3	TpovpMAR	marčevska povprečna temperatura	°C
4	TpovpAPR	aprilska povprečna temperatura	°C
5	TpovpMAJ	majska povprečna temperatura	°C
6	TpovpJUN	junjska povprečna temperatura	°C
7	TpovpJUL	julijska povprečna temperatura	°C
8	TpovpAVG	avgustovska povprečna temperatura	°C
9	TpovpSEP	septembrska povprečna temperatura	°C
10	TpovpOKT	oktobrska povprečna temperatura	°C
11	TpovpNOV	novembrska povprečna temperatura	°C
12	TpovpDEC	decembrska povprečna temperatura	°C
13	TminJAN	povprečje dnevne minimalne temperature v najhladnejšem mesecu (januar)	°C
14	TmaxJUL	povprečje dnevne maksimalne temperature v najtoplejšem mesecu (julij)	°C
15	deltaT	razlika med maks povprečno letno temperaturo in minimalno povprečno letno temperaturo	°C
16	padJAN	povprečna višina padavin v januarju	mm
17	padFEB	povprečna višina padavin v februarju	mm
18	padMAR	povprečna višina padavin v marcu	mm
19	padAPR	povprečna višina padavin v aprilu	mm
20	padMAJ	povprečna višina padavin v maju	mm
21	padJUN	povprečna višina padavin v juniju	mm
22	padJUL	povprečna višina padavin v juliju	mm
23	padAVG	povprečna višina padavin v avgustu	mm
24	padSEP	povprečna višina padavin v septembru	mm
25	padOKT	povprečna višina padavin v oktobru	mm
26	padNOV	povprečna višina padavin v novembru	mm
27	padDEC	povprečna višina padavin v decembru	mm
28	snegPOM	povprečna skupna višina novozapadlega snega spomladi (marec, april, maj)	cm
29	snegPOL	povprečna skupna višina novozapadlega snega poleti (junij, julij, avgust)	cm
30	snegJES	povprečna skupna višina novozapadlega snega jeseni (september, oktober, november)	cm
31	snegZIM	povprečna skupna višina novozapadlega snega pozimi (december, januar, februar)	cm

<sup>1</sup> Način izračuna posameznih spremenljivk:

Povprečna temperatura je aritmetična sredina dnevni vrednosti, ki so izračunane po formuli:  $T_{pov} = ((T7 + T14 + 2 * T21) / 4)$ . Minimalna in maksimalna temperatura sta izmerjeni v 24-urnem obdobju z začetkom in koncem ob 21. uri po krajevem času. Višina padavin je seštevek dnevni vrednosti padavin, ki so izmerjene ob 7. uri po srednjeevropskem času in pripisane dnevni meritvi. Višina novozapadlega snega je seštevek dnevni vrednosti novega snega, ki so izmerjene ob 7. uri po srednjeevropskem času in pripisane dnevni meritvi.



## 51-LETNI POVPREČNI TRENDI

1	trTempPOM	trend pomladne povprečne temperature	°C/desetletje
2	trTempPOL	trend poletne povprečne temperature	°C/desetletje
3	trTempJES <sup>2</sup>	trend jesenske povprečne temperature	°C/desetletje
4	trTempZIM	trend zimske povprečne temperature	°C/desetletje
5	trTminJAN	trend povprečja dnevne minimalne temperature v najhladnejšem mesecu (januar)	°C/desetletje
6	trTmaxJUL	trend povprečja dnevne maksimalne temperature v najtoplejšem mesecu (julij)	°C/desetletje
7	trDeltaT	trend razlike med maks. povprečno letno temperaturo in minim. povprečno letno temperaturo	°C/desetletje
8	trPadPOM	trend povprečne višine padavin spomladi	%/desetletje
9	trPadPOL	trend povprečne višine padavin poleti	%/desetletje
10	trPadJES	trend povprečne višine padavin jeseni	%/desetletje
11	trPadZIM	trend povprečne višine padavin pozimi	%/desetletje
12	trSnegSEZ	trend skupne višine novozapadlega snega v sezoni (od avgusta do julija naslednje leto)	%/desetletje

## 51-LETNI POVPREČNI KVARTILNI RAZMIKI

1	IQRtempPOM	kvartilni razmik pomladne povprečne temperature	° C
2	IQRtempPOL	kvartilni razmik poletne povprečne temperature	° C
3	IQRtempJES	kvartilni razmik jesenska povprečne temperature	° C
4	IQRtempZIM	kvartilni razmik zimske povprečne temperature	° C
5	IQRtminJAN	kvartilni razmik povprečja dnevne minimalne temperature v najhladnejšem mesecu (januar)	° C
6	IQRtmaxJUL	kvartilni razmik povprečja maksimalne temperature v najtoplejšem mesecu (julij)	° C
7	IQRdeltaT	kvartilni razmik razlike med maks. in minim- povprečno letno temperaturo	° C
8	IQRpadPOM	kvartilni razmik povprečne višine padavin spomladi	brez
9	IQRpadPOL	kvartilni razmik povprečne višine padavin poleti	brez
10	IQRpadJES	kvartilni razmik povprečne višine padavin jeseni	brez
11	IQRpadZIM	kvartilni razmik povprečne višine padavin pozimi	brez
12	IQRsnegSEZ	kvartilni razmik povpr. skupne višine novega snega v sezoni (od avgusta do julija naslednje leto)	brez

## 51-LETNA POVPREČNA ABSOLUTNA RAZLIKA MED ZAPOREDNIMA DNEVOMA

1	dnTpomlad	povprečna absolutna razlika pov. dnevne temperature med dvema zaporednima dnevoma spomladi	° C
2	dnTpoletje	povprečna absolutna razlika pov. dnevne temperature med dvema zaporednima dnevoma poleti	° C
3	dnTjesen	povprečna absolutna razlika pov. dnevne temperature med dvema zaporednima dnevoma jeseni	° C
4	dnTzima	povprečna absolutna razlika pov. dnevne temperature med dvema zaporednima dnevoma pozimi	° C
5	dnPadpomlad	povprečna absolutna razlika višine dnevnih padavin med dvema zaporednima dnevoma spomladi	mm
6	dnPadpoletje	povprečna absolutna razlika višine dnevnih padavin med dvema zaporednima dnevoma poleti	mm
7	dnPadjesen	povprečna absolutna razlika višine dnevnih padavin med dvema zaporednima dnevoma jeseni	mm
8	dnPadzima	povprečna absolutna razlika višine dnevnih padavin med dvema zaporednima dnevoma pozimi	mm
9	dnSnegzima	povprečna absolutna razlika skupne višine novega snega med dvema zaporednima dnevoma pozimi	cm

faktorskih uteži, ki kaže vpliv faktorja  $f$  na  $x$ . Faktorske uteži so korelacijski koeficienti med začetnimi spremenljivkami in na novo izračunanimi skupnimi faktorji (npr. Kachigan, 1991). Če res obstajajo skupni faktorji, bi morale biti faktorske uteži velike, specifični faktorji pa majhni.

Drugi korak faktorjske analize je rotacija, s katero prečistimo strukturo (npr. Fabrigar, 1999). Rotacijo uporabimo takrat, ko skupnih faktorjev ne moremo smiselno interpretirati, če so npr. projekcije iste

spremenljivke precejšnje na več faktorjih ali če imamo splošen faktor (projekcije vseh spremenljivk na prvi faktor so precejšnje). Bistvo rotiranja je namreč, da dobimo vsebinsko pomembne faktorje in čim enostavnejšo faktorjsko strukturo. Rotacija da novo dobljenim faktorjem klimatološki pomen. V tej študiji smo uporabili pravokotno rotacijo "varimax". Zaradi velikega števila raznovrstnih spremenljivk je v nekaterih primerih povezanost med njimi šibka in tudi s faktorjsko analizo nismo uspeli toliko poenostaviti strukture, da bi z razvrščanjem dobili stabilne rešitve,

<sup>2</sup> Izračunani trend jesenske temperature je statistično neznačilen, kar so že pokazali rezultati projekta Podnebna spremenljivost Slovenije (Vertačnik in sod., 2013), zato je bila ta spremenljivka izpuščena iz obravnave.



kar pomeni, da smo pri ponavljanju dobili med seboj precej različne razvrstitve. Zato smo v teh primerih faktorsko analizo izpustili in izvedli razvrščanje v skupine kar na začetnih spremenljivkah. Te rešitve so bile stabilnejše.

## Razvrščanje v skupine

Razvrščanje v skupine je postopek združevanja enot. Enote razvrstimo v skupine po načelu podobnosti – znotraj posamezne skupine so enote, ki so si glede na vnaprej določen kriterij podobne, znotraj različnih skupin pa enote, ki so si glede na ta kriterij različne (Rencher, 2002). Naš cilj so bile skupine, znotraj katerih so združene točke mreže s podobnimi vrednostmi podnebnih spremenljivk. Te skupine predstavljajo podnebne regije.

Razvrščanje smo izvedli po nehierarhični metodi voditeljev (MacQueen, 1967), ki zmore v skupine razvrščati večje število enot. Metoda priredi enote najbližjemu voditelju in poišče centroide (težišča) tako dobljenih skupin. Centroidi postanejo novi voditelji in tem so zopet prirejene najbližje enote. Postopek iterativno ponavljamo do trenutka, ko se nova množica voditeljev ne razlikuje od množice voditeljev, dobljene v prejšnjem koraku. Začetno množico voditeljev lahko določimo naključno, lahko pa voditelje maksimalno razpršimo med proučevanimi enotami. To storimo tako, da za prvega voditelja izberemo enoto, ki je v središču vseh enot, nato za drugega najbolj oddaljeno enoto od prvih dveh voditeljev itd. Čim boljšo razvrstitev poizkušamo dobiti tako, da postopek ponovimo večkrat, z različnimi začetnimi množicami voditeljev.

Pri metodi voditeljev je potrebno predhodno določiti število skupin, v katere želimo razvrstiti enote. Izbira števila skupin je pogosta težava pri razvrščanju v skupine, saj je dobra izbira nemalokrat nejasna. Obstaja več statističnih kriterijev za določitev primerne števila skupin. V tej raziskavi smo uporabili kriterij Calinskega in Harabasza (Calinski in Harabasz, 1974), ki je pravzaprav kriterij razmerja varianc. Calinski in Harabasz sta določila indeks:

$$VRC_k = \frac{SS_B N - k}{SS_W k - 1}$$

kjer je  $SS_B$  varianca med skupinami,  $SS_W$  varianca znotraj skupin,  $k$  število skupin in  $N$  število opazovanj. Varianca med skupinami je definirana kot

$$SS_B = \sum_{i=1}^k n_i \|m_i - m\|^2$$

kjer je  $k$  število skupin,  $m_i$  centroid skupine  $i$ ,  $m$  povprečje podatkovnega vzorca in  $\|m_i - m\|^2$  evklidska razdalja med dvema vektorjema. Varianca znotraj skupin je definirana kot:

$$SS_W = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in c_i} \|x - m_i\|^2$$

kjer je  $k$  število skupin,  $x$  je podatkovna točka,  $c_i$  je  $i$ -ta skupina,  $m_i$  je centroid skupine  $i$  in  $\|x - m_i\|^2$  evklidska razdalja med dvema vektorjema. Dobro definirane skupine imajo veliko varianco med skupinami ( $SS_B$ ) in majhno varianco znotraj skupin ( $SS_W$ ). Večji kot je indeks  $VRC_k$ , boljša je razporeditev podatkov. Za določitev optimalnega števila skupin maksimiziramo  $VRC_k$  glede na  $k$ . Optimalno število skupin je rezultat, ki ima največjo vrednost kriterija Calinski-Harabasz.

## Vmesni rezultati

Regionalizacijo smo najprej izvedli za vsak posamezni vidik podnebja posebej: podnebna povprečja, trendi, medletna in meddnevna spremenljivost.

Kot smo že omenili, v nekaterih primerih s predhodno uporabo faktorske analize pri razvrščanju v skupine nismo dobili stabilne rešitve, temveč rešitve, ki so močno odvisne od začetne izbire voditeljev. V teh primerih, ki vključujejo trende, kvartilne razmike in povprečno absolutno razliko med zaporednima dnevoma, smo razvrščanje v skupine izvedli na začetnih spremenljivkah. Pri podnebnih povprečjih, kjer imamo opravka z največ, kar 31 spremenljivkami, pa smo prvotno strukturo poenostavili s faktorsko analizo.

V nadaljevanju za vsak posamezni vidik podnebja prikazujemo graf kriterija Calinskega in Harabasza, ki nakazuje optimalno število podnebnih regij in prostorski prikaz pripadajočih regij. Najvišje vrednosti kriterija Calinskega in Harabasza (optimalna izbira za število skupin) so na grafu označene z rdečo točko. V nekaterih primerih je poleg rdeče na grafu tudi oranžna točka, ki predstavlja razvrstitev, ki kaže ponovno naraščanje vrednosti kriterija, ko povečujemo število skupin in lahko prav tako kaže na dobro izbiro števila skupin. Pod slikami sledijo opisi glavnih značilnosti regij, ki so povzeti po analizi kvartilnih diagramov. Kvartilni diagrami prikazujejo razpršenost vrednosti vsake spremenljivke znotraj posamezne regije. Zaradi velikega števila izračunanih diagramov jih v tem članku ne prikazujemo.

## Trendi

Obravnavali smo 51-letne trende (obdobje 1961-2011) sezonske povprečne temperature, sezonske povprečne višine padavin in povprečne skupne višine novozapadlega snega v sezoni (od avgusta do julija naslednje leto).



Slika 2. Kriterij Calinskega in Harabasza (C&H), ki za najboljšo izbiro števila regij nakazuje štiri regije (levo), prostorski prikaz regionalizacije trendov v štiri podnebne regije (desno).

Figure 2. Calinski-Harabasz criterion, suggesting clustering into four regions (left), classification of long-term trends into four regions (right).

### Regija 1:

- največji upad padavin poleti,
- najmanjši upad padavin pozimi.

### Regija 2:

- največji porast temperature pomladi in poleti,
- brez trenda padavin jeseni.

### Regija 3:

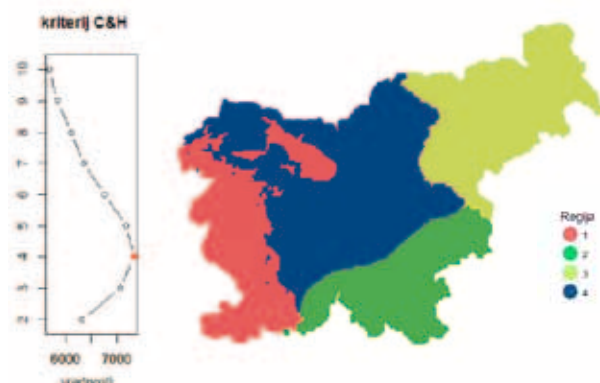
- največji porast zimske temperature,
- najmanjši upad padavin poleti,
- največji upad padavin pozimi,
- največja sprememba amplitude letnega hoda temperature.

### Regija 4:

- najmanjši porast temperature poleti,
- najmanjša sprememba amplitude letnega hoda temperature.

## Medletna spremenljivost

Medletno spremenljivost opredelimo s kvartilnimi razmiki. Obravnavani so kvartilni razmiki sezonske povprečne temperature, sezonske povprečne višine padavin in povprečne skupne višine novozapadlega snega v sezoni (od avgusta do julija naslednje leto) izračunani na 51-letnem (obdobje 1961-2011) časovnem nizu.



Slika 3. Kriterij Calinskega in Harabasza, ki za najboljšo izbiro števila regij nakazuje štiri regije (levo), prostorski prikaz regionalizacije kvartilnih razmikov v štiri podnebne regije (desno).

Figure 3. Calinski-Harabasz criterion, suggesting clustering into four regions (left), classification of inter-annual variability into four regions (right).

### Regija 1:

- najmanjša medletna spremenljivost temperature čez celo leto,
- največja medletna spremenljivost padavin poleti.

### Regija 2:

- največja medletna spremenljivost minimalne temperature najhladnejšega meseca in najmanjša medletna spremenljivost maksimalne temperature najtoplejšega meseca,
- največja medletna spremenljivost pomladne temperature,
- najmanjša medletna spremenljivost padavin pomladi,

### Regija 3:

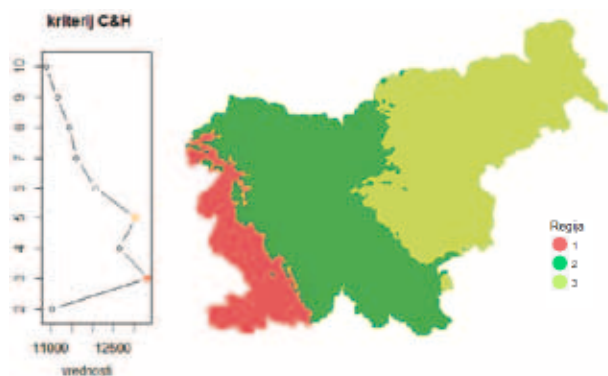
- največja medletna spremenljivost zimske in poletne temperature,
- največja medletna spremenljivost padavin pozimi.

### Regija 4:

- prehodna regija, najmanjša medletna spremenljivost padavin poleti.

## Meddnevna spremenljivost

Meddnevno spremenljivost oz. dnevno nihanje opišemo z absolutno razliko vrednosti spremenljivk med dvema zaporednima dnevoma. Obravnavali smo 51-letna (obdobje 1961-2011) povprečja absolutne razlike temperature, količine padavin in višine novozapadlega snega med dvema zaporednima dnevoma v posamezni sezoni.



Slika 4. Kriterij Calinskega in Harabasza, ki za najboljšo izbiro števila regij nakazuje tri regije (levo), prostorski prikaz regionalizacije dnevnega nihanja v tri podnebne regije (desno).

Figure 4. Calinski-Harabasz criterion, suggesting clustering into three regions (left), classification of variability into three regions (right).

#### Regija 1:

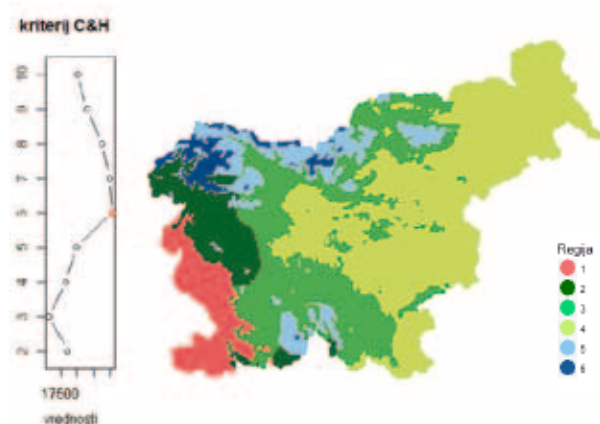
- najmanjša meddnevna spremenljivost temperature čez celo leto,
- največja meddnevna spremenljivost padavin poleti.

#### Regija 2:

- najmanjša meddnevna spremenljivost padavin jeseni in pozimi,
- najmanjša meddnevna spremenljivost višine snežne odeje.

#### Regija 3:

- največja meddnevna spremenljivost pomladne in poletne temperature,
- največja meddnevna spremenljivost padavin pomladi, jeseni in pozimi.



Slika 5. Kriterij Calinskega in Harabasza, ki za najboljšo izbiro števila regij nakazuje šest regij (levo), prostorski prikaz regionalizacije podnebnih povprečij v šest podnebnih regij (desno).

Figure 5. Calinski-Harabasz criterion, suggesting clustering into six regions (left), classification of climate normals into six regions (right).

## Podnebna povprečja

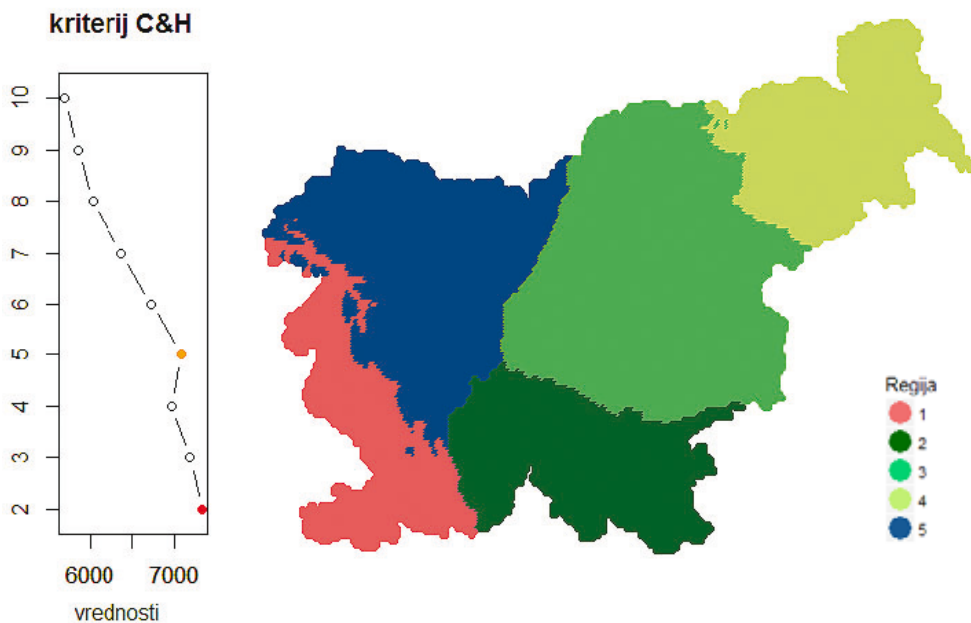
Regionalizacijo podnebnih povprečij smo opravili že v predhodni študiji (Kozjek, 2017). Z analizo podatkov smo določili podnebne spremenljivke, s katerimi smo opredelili podnebne regije: temperatura zraka, višina padavin in višina novozapadlega snega. Letni cikel teh spremenljivk smo opisali z mesečnimi (temperatura, višina padavin) ali sezonskimi (višina novozapadlega snega) 30-letnimi (1981-2010) povprečji.

Ugotovili smo, da na območju Slovenije najbolj smiselno in reprezentativno razvrstitev predstavlja razvrstitev v šest podnebnih regij, za katere smo predlagali naslednja imena pripadajočih podnebnih tipov: omiljeno sredozemsko podnebje (regija 1), vlažno podnebje hribovitiga sveta (regija 2), zmerno podnebje hribovitiga sveta (regija 3), omiljeno celinsko podnebje (regija 4), omiljeno gorsko podnebje (regija 5) in gorsko podnebje (regija 6). Podrobnejši opis regij je v Kozjek (2017).

## Končni rezultati

Glede na namen uporabe sta nas kot končni rezultat zanimali dve vrsti regionalizacije: regionalizacija, ki združi vse mere spremenljivosti v času in regionalizacija, ki združi vse podnebne kazalce. Prva bi bila predvsem uporabna za določitev referenčnih podnebnih postaj, kjer bi spremljali spremembe podnebnih spremenljivk. Regionalizacija, ki združi vse podnebne kazalce oziroma vse podnebne spremenljivke uporabljene v raziskavi (podnebna povprečja in mere spremenljivosti) pa naj bi hkrati optimalno opisala značilnosti podnebja in podnebnih sprememb v Sloveniji. Ko smo ločeno izvedli regionalizacijo za vsak posamezen vidik podnebja, smo opazili, da daje vsak precej drugačno prostorsko spremenljivost na območju Slovenije. Ravno zaradi te razlike v prostorskem vzorcu je pomembno, da v regionalizacijo vključimo vse vidike podnebja, saj vsak predstavlja drugačno podnebno informacijo.

Tako kot pri posameznih vidikih podnebja, smo za končni dve regionalizaciji v nadaljevanju prikazali graf kriterija Calinskega in Harabasza, ki nakazuje optimalno število regij in prostorski prikaz regionalizacije v število regij, ki je bil izbrano s pomočjo kriterija Calinskega in Harabasza. Pod slikami sledijo opisi glavnih značilnosti regij, povzeti po analizi kvartilnih diagramov (ki v tem članku niso prikazani). Na koncu pa so izrisani grafi, ki prikazujejo potek mesečne povprečne temperature, mesečne povprečne višine padavin in sezonske povprečne skupne višine novozapadlega snega čez leto za vsako od regij.



Slika 6. Kriterij Calinskega in Harabasza za najboljšo izbiro števila regij nakazuje dve ali pet regij (levo), prostorska regionalizacija vseh mer spremenljivosti pa je prikazana za pet podnebnih regij (desno).

Figure 6. Calinski-Harabasz criterion suggests clustering into two or five regions (left), classification of all measures of variability is presented for five regions (right).

Pri obeh regionalizacijah smo razvrščanje v skupine z metodo voditeljev izvedli na začetnem naboru spremenljivk, brez faktorске analize.

### Vse mere spremenljivosti v času

Mere spremenljivosti združujejo izračunane povprečne trende 51-letnega obdobja (1961-2011), povprečne kvartilne razmike in povprečne absolutne razlike med zaporednima dnevoma za naslednje spremenljivke: temperatura, višina padavin in višina novozapadlega snega.

Kriterij Calinskega in Harabasza za najboljšo izbiro nakazuje dve skupini, a z razvrstitvijo v dve skupini ne zajamemo dovolj podnebne spremenljivosti predvsem na tako razgibanem območju kot je Slovenija, zato smo za končni rezultat izbrali razvrstitev v pet podnebnih skupin, ki je po kriteriju Calinskega in Harabasza druga najboljša izbira (kar nakazuje oranžna točka na grafu). Regionalizacija v pet skupin je stabilna in smiselno razdeli območje Slovenijo glede na mere podnebne spremenljivosti.

#### Regija 1:

- najmanjša medletna in meddnevna spremenljivost temperature čez celo leto,
- najmanjši porast temperature pozimi,
- največja medletna spremenljivost padavin poleti,
- največja medletna in meddnevna spremenljivost višine snežne odeje (v tej regiji najmanj snega, vsaka sprememba se pozna).

#### Regija 2:

- najmanjši upad padavin pozimi,
- največja medletna spremenljivost pomladne temperature,

- največja medletna spremenljivost minimalne temperature najhladnejšega meseca in najmanjša medletna spremenljivost maksimalne temperature najtoplejšega meseca,
- najmanjša spremenljivost padavin pomladi in pozimi,
- največja meddnevna spremenljivost jesenske in zimske temperature.

#### Regija 3:

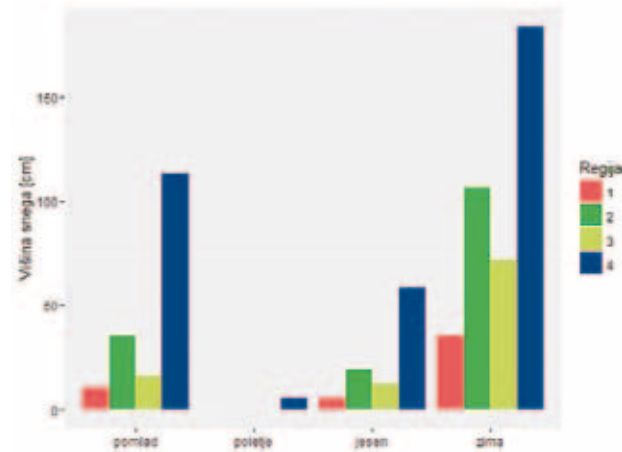
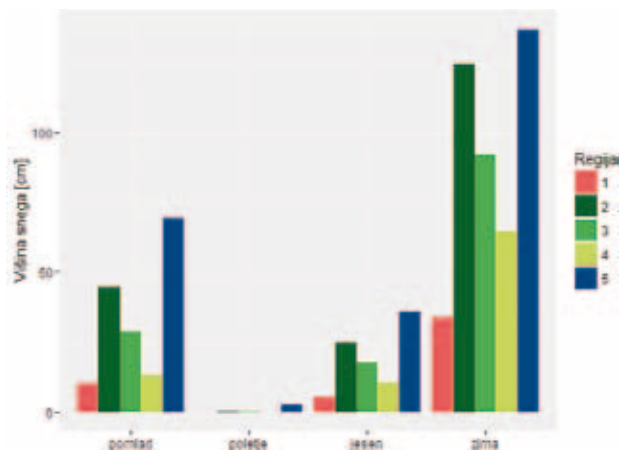
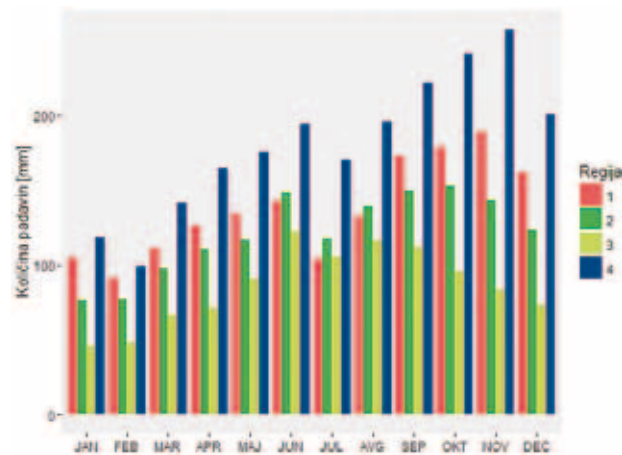
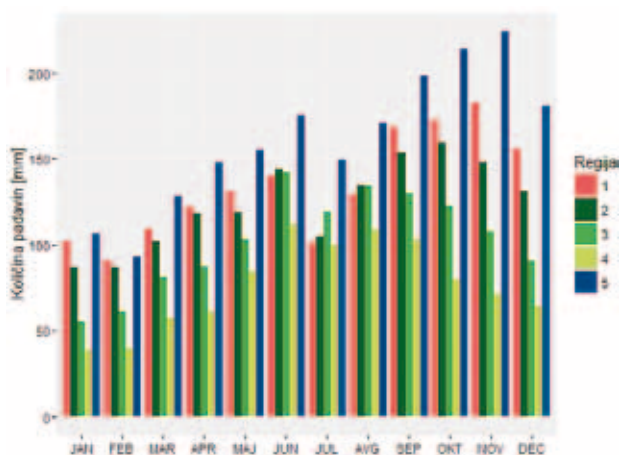
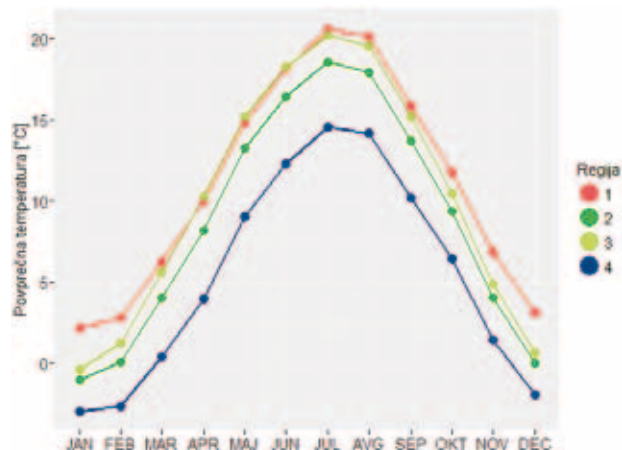
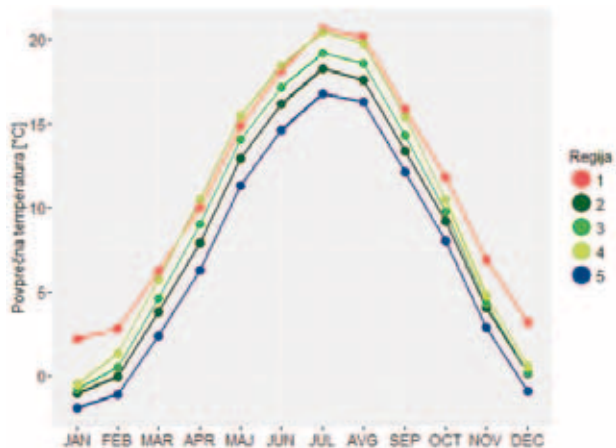
- prehodna regija,
- najmanjši upad padavin jeseni,
- največji porast pomladne in poletne temperature.

#### Regija 4:

- največji porast zimske temperature (močno ogrevanje pozimi),
- največji upad padavin pozimi,
- največja medletna spremenljivost poletne in zimske temperature,
- najmanjša medletna spremenljivost minimalne temperature najhladnejšega meseca in največja medletna spremenljivost maksimalne temperature najtoplejšega meseca,
- največja medletna spremenljivost padavin pozimi,
- največja meddnevna spremenljivost padavin pomladi, jeseni in pozimi (regija z najmanjšo količino padavin).

#### Regija 5:

- največji upad višine snežne odeje (regija z največ snega, po pregradi snežna odeja zelo stabilna, za pregrado zelo nestabilna),
- najmanjša meddnevna spremenljivost padavin čez vse leto.



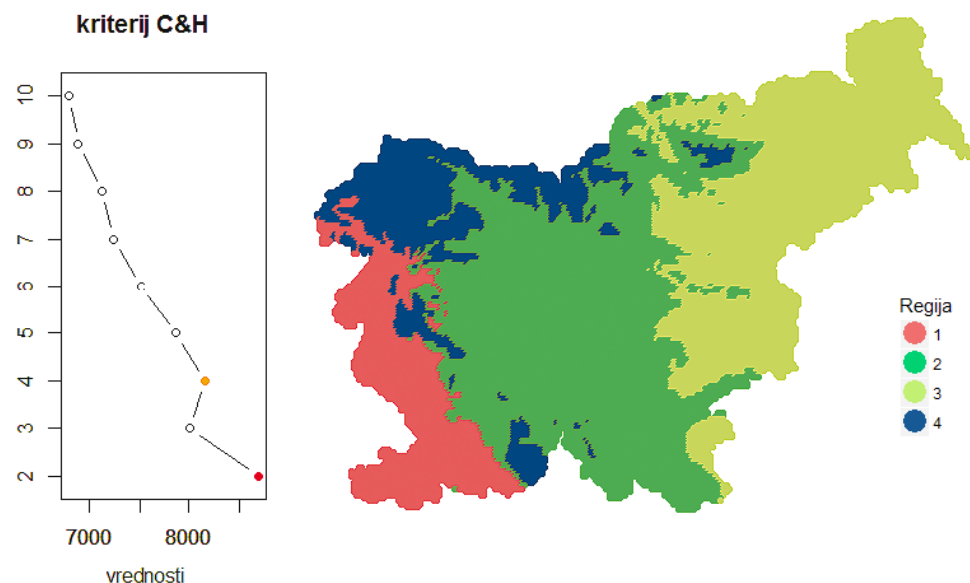
Slika 7. Grafi, ki prikazujejo potek mesečne povprečne temperature (Igoraj), mesečne povprečne vsote padavin (sredina) in sezonske povprečne skupne višine novozapadlega snega (spodaj) za vseh pet regij.

Figure 7. Graphs showing mean monthly temperature (top), mean monthly precipitation sum (middle) and mean seasonally fresh snow accumulation (bottom) for all the five regions.

Slika 8. Kot slika 7, za vse štiri regije razvrstitve ob upoštevanju vseh podnebnih kazalcev.

Figure 8. As Figure 7, for the four regions determined using all climate indices.





Slika 9. Kriterij Calinskega in Harabasz za najboljšo izbiro števila regij nakazuje dve ali štiri regije (levo), prostorska regionalizacija vseh mer spremenljivosti pa je prikazana za štiri podnebne regije (desno).

Figure 9. Calinski-Harabasz criterion suggests clustering into two or four regions (left), classification of all measures of variability is presented for four regions (right).

### Vsi podnebni kazalci

Podnebni kazalci združujejo vse podnebne spremenljivke uporabljene v tej študiji (30-letna podnebna povprečja ter mere spremenljivosti znotraj 51-letnega obdobja (trendi, kvartilni razmiki in povprečne absolutne razlike vrednosti spremenljivk med zaporednima dnevnoma) za naslednje spremenljivke: temperatura, višina padavin in višina novozapadlega snega.

Zaradi istih razlogov kot pri regionalizaciji vseh mer spremenljivosti v času smo se pri razvrščanju vseh podnebnih spremenljivk namesto za razvrstitev v dve regiji odločili za razvrstitev v štiri regije (oranžna točka).

#### Regija 1:

- regija z najvišjo temperaturo čez celo leto (najtoplejša regija),
- najmanjši porast zimske temperature,
- najmanjša medletna in meddnevna spremenljivost temperature čez celo leto,
- največja medletna spremenljivost padavin poleti (enkrat zelo suho, drugič precej namočeno),
- regija z najmanj snega.

#### Regija 2:

- prehodna regija (v vseh značilnostih se prekriva vsaj z eno regijo (najpogosteje z regijo 1).

#### Regija 3:

- regija z najmanjšo količino padavin (najbolj suha regija),
- največji porast poletne in zimske temperature,
- največja medletna spremenljivost temperature čez celo leto (iz leta v leto zelo velike razlike – obratno od regije 2),

- največja medletna spremenljivost padavin pozimi,
- največja meddnevna spremenljivost pomladnih in poletnih temperatur,
- največja meddnevna spremenljivost padavin pomladi, jeseni in pozimi-

#### Regija 4:

- regija z najnižjo temperaturo čez celo leto (najhladnejša regija),
- najmanjši porast maksimalne temperature najtoplejšega meseca,
- največja medletna spremenljivost padavin pomladi in jeseni,
- najmanjša meddnevna spremenljivost padavin pomladi in poleti,
- regija z največ snega in najmanjšo spremenljivostjo višine snežne odeje.

### Sklepi

V raziskavi smo na podlagi podnebnih spremenljivk in izračunanih mer spremenljivosti teh spremenljivk (trendi, medletna in meddnevna spremenljivost) za nedavno 50-letno obdobje določili podnebne regije Slovenije. Uporabili smo podnebne podatke v pravilni mreži za obdobje 1961–2011. Regionalizacijo smo izvedli karseda objektivno z uporabo statističnih metod razvrščanja v skupine.

Spoznali smo, da daje vsak posamezni vidik podnebja (podnebna povprečja, trendi, medletna in meddnevna spremenljivost) precej drugačno prostorsko spremenljivost na območju Slovenije. Zato je pomembno, da so v končno regionalizacijo vključeni vsi obravnavani vidiki podnebja, saj vsak predstavlja dodatno podnebno informacijo.

Poleg osnove za določitev referenčnih podnebnih postaj, ki je bila prvotni namen študije, smo z regionalizacijo dobili tudi pomemben vpogled v prostorski vzorec podnebne spremenljivosti na območju Slovenije. Razvrstitve, osnovane na posameznih merah spremenljivosti, predstavljajo pomembno podlago za različne okoljske študije, kjer enega od dejavnikov predstavlja podnebna spremenljivost.

Potrebno pa je poudariti, da kljub temu, da so bile regije in meje med njimi določene z uporabo objektivnih statističnih metod, so bile znotraj procesa razvrščanja na nekaterih korakih potrebne strokovno utemeljene subjektivne odločitve.

## Viri

- A. C. Rencher, "Methods of Multivariate Analysis (Second Edition)" (John Wiley & Sons, Inc., USA, 2002) Chapter 13: Factor Analysis, str. 438.
- A. Ferligoj, "Razvrščanje v skupine", Metodološki zvezki 4, 9 (1989).
- G. Vertačnik, "Podnebna spremenljivost Slovenije v obdobju 1961–2011: 2 Kontrola in homogenizacija podatkov" Agencija RS za okolje, Slovenija, pp. 120. (2016)
- G. Vertačnik, M. Dolinar, R. Bertalanič, M. Klančar, D. Dvoršek, M. Nadbath, "Podnebna spremenljivost Slovenije: glavne značilnosti gibanja temperature zraka v obdobju 1961-2011", Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje. Ljubljana, (2013).
- J. MacQueen, "Some methods for classification and analysis of multivariate observations", Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics, University of California Press, Los Angeles, str. 281-297 (1967).
- K. Kozjek, M. Dolinar, G. Skok. "Climate classification of Slovenia" (Int. J. Climatol., 2017), spletna objava, DOI: 10.1002/joc.5042.
- L. R. Fabrigar et al., "Evaluating the Use of Exploratory Factor Analysis in Psychological Research", Psychological Methods, 272 (1999).
- M. Dolinar, "Monthly gridded datasets for temperature and precipitation over Slovenia", Proceedings of GeoMLA – Geostatistics and Machine Learning, Belgrade, Serbia (2016).
- N.A.C. Cressie, "Statistics for Spatial Data" 2nd. New York: Wiley, (1993).
- R. Bertalanič, Z. Bihari, H. Dobesch, M. Dolinar et al. "The use of geographic information systems in climatology and meteorology: COST action 719." in O.E. Tveito (ed): Spatialisation of climatological and meteorological information with the support of GIS (Working Group 2). Luxembourg: Office for official publ. of the EC, pp. 36-163. (2007).
- S. K. Kachigan, "Multivariate Statistical Analysis (Second Edition)" (Radius Press, New York, 1991) Chapter 7: Factor Analysis, str. 252.
- T. Calinski in J. Harabasz, "A dendrite method for cluster analysis", Communications in Statistics 3 (1), str. 1–27, (1974).
- T. Hengl, "A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables." EU 22904 EN Scientific and Technical Research series Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (2007).
- W. S. Cleveland in S. J. Devlin, »Locally-Weighted Regression: An Approach to Regression Analysis by Local Fitting«, Journal of the American Statistical Association. 83 (403), str. 596–610 (1988).



Oblika krošnje in nagib drevesnega debla sta dober pokazatelj prevladujoče smeri vetra. Ykkönen, 475 m. Laponska, Finska, 2. junij 2015. Foto: Iztok Sinjur

### SPONZORJI, KI SO OMOGOČILI IZID VETRNICE:



**GVD d.o.o.**  
Gorčičeva 6/1  
1215 Metkovo  
Slovenia - Europe Union  
tel/fax: +386 1 361 24 35  
**RADAR PRODUCT**

**SOLOS**  
REALIZACIJA GRAFIČNIH IDEJ

Solos d.o.o.



Klaro d.o.o.



Slovensko  
meteorološko  
društvo

*Od 1954*