

DVOJNA
številka

12
13



Vetrnica

ISSN 1855-7457

*glasilo Slovenskega
meteorološkega društva*

WWW.METEO-DRUSTVO.SI

19/20



Razprave:

Padavinski gradienti
v alpskih dolinah

Verjetnost ekstremnih nalivov

Snežne obtežbe

Natečaj
za kratke
zgodbe

VSEBINA:

3 UVODNIK

4 V SPOMIN

ZANIMIVOSTI

6 PODNEBNE SPREMEMBE - ODPRTO PISMO

12 100. LETNA KONFERENCA AMERIŠKEGA METEOROLOŠKEGA DRUŠTVA

16 ZANIMIVA OPAŽANJA ŠTIRINAJSTIH LET OPAZOVANJ V DOMŽALAH

IZ ŽIVLJENJA DRUŠTVA

18 INTERVJU: PROF. DR. ANDREJ HOČEVAR

24 INTERVJU: DUŠAN HRČEK

30 PREDSTAVITEV KRATKIH ZGODB, PESMI IN STRIPOV NA TEMO VREMENA

ŠTUDENSKI KOTIČEK

40 POVZETKI MAGISTRSKIH DEL

47 POVZETEK DOKTORSKIH TEZ

67 MOJE ŠTUDIJSKO METEOROLOŠKO POPOTOVANJE: IZKUŠNJE IZ TUJINE

RAZPRAVE

70 PADAVINSKI GRADIENTI V ALPSKIH DOLINAH NA PRIMERU IZBRANIH DOLIN JULIJSKIH ALP

77 ČASOVNO IN PROSTORSKO GLAJENI POVRATNI NIVOJI EKSTREMNIH NALIVOV

86 PROSTORSKA INTERPOLACIJA MAKSIMALNE SNEŽNE OBTEŽBE

NOVOSTI V MEDIJIH

94 UČBENIK: UVOD V METEOROLOGIJO

UVODNIK

Pred vami je obsežna, kar dvojna številka Vetrnice. Poglavitni razlog za to je, da je od izida zadnje številke Vetrnice preteklo kar precej časa. Obljubljenih prispevkov smo imeli veliko, vendar so se tudi zaradi situacije s Covidom19 nabirali z zamudo. Življenje se spreminja, izzivov, življenjskih in profesionalnih, je veliko in dobro se zavedamo, da je težko najti čas za pisanje. Zato smo vsem avtorjem, ki so prispevali k nastanku glasila, hvaležni. Vetrnico oblikujemo skupaj, zato ta prostor izkoriščamo za ponoven poziv piscem, predvsem članom društva. Če želite karkoli podeliti s svojim stanovskimi kolegi ali pa tudi s širšo javnostjo, napišite prispevek. Lahko gre za profesionalni uspeh, izziv, nov pristop ali metodologijo, ali pa prijetno izkušnjo iz profesionalnega življenja. Različnih rubrik v Vetrnici je dovolj in verjamemo da so vaše znanje, izkušnje in doživljaji zanimivi tudi za širšo javnost. Najpomembnejše pa je, da aktivnosti, ki se odvijajo, in znanje, ki se razvija v slovenski meteorološki stroki, ostanejo dosegljivi tudi za zanamce.

Kljub izostanku vodilne teme smo zbrali veliko prispevkov, ki ponujajo zanimivo branje. Našim mladim znanstvenikom je prekipelo in v odprtem pismu so pozvali voditelje naše države k bolj ambiciozni podnebni politiki. Odprto pismo s komentarjem na odzive nanj, boste našli v rubriki Zanimivosti. Letna konferenca Ameriške meteorološke zveze je največji in najbolj množičen meteorološki dogodek na svetu. Najbrž so sanje marsikaterega meteorologa, da bi se udeležil vsaj ene takšne konference. Če že ne v živo, pa lahko utrip letošnje jubilejne, 100. konference, začutite med

branjem vtisov naše članice, ki je bila povabljen v Boston.

V društvu se vseskozi trudimo povečati aktivnost in v ta namen smo v letu 2019 objavili natečaj za krajše zgodbe, pesmi in stripe na temo vremena. Dobili smo zanimive prispevke in izbrana dela nagrajenih avtorjev smo objavili tudi v Vetrnici, v rubriki Iz življenja društva, kjer boste lahko prebrali zanimiva intervjuja z dvema našima dolgoletnima članoma.

Študentski kotiček poleg številnih povzetkov magistrskih in doktorskih nalog ponuja tudi zanimivo branje izkušnje mlade znanstvenice, ki je velik del svoje študijske poti opravila v tujini.

Optimizem vzbuja bogata rubrika Razprave. Kar tri prispevke vsebuje ta številka in vsak od prispevkov prinaša nova znanja o značilnostih podnebja v Sloveniji. Z enim od prispevkov razprav je povezana tudi naslovnica te številke. Z njo nismo imeli namena zbujati nostalgije po obilni snežni odeji, ampak opozoriti, da bomo kljub zmanjševanju snežne odeje še vedno morali upoštevati njene obremenitve pri načrtovanju konstrukcij. Kot kažejo rezultati omenjenega prispevka, so te obremenitve v nekaterih delih Slovenije znatne.

V času od izida zadnje številke sta nas žal zapustila kar dva vidna člana našega društva, ki sta v slovenski meteorologiji pustila viden pečat. Njunemu bogatemu življenju in delu namenjamo prve strani številke, ki je pred vami.

Uredniški odbor

**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, OKTOBER 2020

ISSN 1855-7457

Fotografija na naslovnici: Shutterstock

Tiskana naklada:

Naslov uredništva:

Slovensko meteorološko društvo
Vojkova 1b
SI-1000, Ljubljana
vetrnica.smd@gmail.com



**Slovensko
meteorološko
društvo**
Od 1954



MIRKO KOVAČ
1931–2019

Mirko Kovač se je rodil 18. junija 1931 v vasi Lokavec pri Ajdovščini. Osnovno šolo je obiskoval v Lokavcu, gimnazijo pa je obiskoval v Šempetru pri Novi Gorici. Ker ga je zanimala narava, se je vpisal na študij meteorologije v Ljubljani. Bil je v prvi generaciji študentov, ki so pri nas doštudirali meteorologijo po programu, temelječem na fiziki in matematiki. Diplomiral je leta 1954. Po končanem študiju se je zaposlil na Hidrometeorološkem zavodu in se včlanil v Društvo meteorologov Slovenije, kot se je naše društvo imenovalo takrat.

Mirko Kovač je vse od začetka delovanja Slovenskega meteorološkega društva leta 1954 bil tudi aktivni

član društva. Tudi kot upokojenec je še sodeloval pri aktivnostih društva.

Kot meteorolog je deloval na različnih področjih, največji del kariere je opravil na področju letalske meteorologije, kjer je pustil tudi največji pečat.

Meteorološko kariero je začel v 50-ih letih prejšnjega stoletja kot del prvega moštva letalskih meteorologov, in sicer takrat še na aerodromu Ljubljana-Polje.

Leta 1962 se je začela izgradnja osrednjega slovenskega letališča na Spodnjem Brniku. Mirko je sodeloval pri organizaciji najprej letališke opazovalne postaje in pri pripravi kadrov za opravljanje nalog. Ob začetku delovanja letališča na Brniku, je prevzel vodenje letališke prognostične službe. Sodeloval je tudi pri elaboratih za postavitev letališč v Mariboru sredi 70. let prejšnjega stoletja in Portorožu sredi 80. let prejšnjega stoletja.

S svojim delom je vnašal tudi tehnološke novosti na področju meteorologije. Prvi sprejemnik satelitskih posnetkov je bil po njegovi zaslugi v začetku 80. let prejšnjega stoletja postavljen na letališču Brnik. V tistem obdobju je poskrbel tudi za postavitev TV kamere na začetku vzletno-pristajalne steze in prenos slike po čisto običajnih telefonskih žicah. Takrat je bila to inovativna rešitev, danes pa so spletne kamere vsesplošna praksa in tudi sestavni del inštrumentarija na meteoroloških postajah.

Njegovo strokovno delo je bilo cenjeno tudi izven Slovenije v celotni takratni Jugoslaviji. Mirko je bil izbran za začasnega vodjo meteorološke službe v času Olimpijskih iger v Sarajevu leta 1984.

Pustil je viden pečat tudi pri izobraževanju meteorologov in pilotov. Del kariere je poučeval meteorologijo na tehnični fakulteti, sodeloval je pri strokovnih izpitih in pripravil nekaj publikacij, med drugim knjižico »Vreme v letalstvu« in »Angleško-Slovenski terminološki slovar«.

Hvaležni smo mu za vse, kar je naredil za Slovensko meteorološko društvo in razvoj letalske meteorologije v Sloveniji. Pogrešali bomo njegovo vedrino in ideje.

Andrej Hrabar



ANDREJ PEČENKO
1958—2020

Andrej se je Hidrometeorološkemu zavodu Republike Slovenije pridružil po zaključku študija meteorologije kot pripravnik, avgusta 1983. Po zaključku pripravništva se je zaposlil na Oddelku za prognoze in ves čas delovanja ostal vključen v redno pripravo vremenskih napovedi za javnost.

Do upokojitve je bil eden ključnih sodelavcev meteorološke prognoze, javnosti pa poznan predvsem po svojem več kot tridesetletnem pojavljanju v medijih, ki se je začelo konec osemdesetih let. Delo je opravljal z veseljem in navdušenjem, s humorjem in včasih tudi

s trpkim zavedanjem, da vremenska napoved ni vedno dobra novica. Imel je občutek, kako ljudem to povedati na prijazen in razumljiv način in prav s tem je tudi prirasel k srcu ljudem.

S televizijskimi nastopi je Andrej vstopil v malodane vsak slovenski dom. Postal je Andrej Pečenko, ki ni samo meteorolog, ampak hodi tudi na tržnico in kuha, pa to izvedo vsi. S prijaznim glasom in nalezljivim nasmehom je očaral gledalce. Z občutkom za podajanje zapletenih vsebin na enostaven način in stalno pripravljenostjo na vprašanja novinarjev je postal eden najbolj priljubljenih in prepoznavnih obrazov slovenske meteorologije. S svojim delom v medijih je pomembno prispeval k širjenju rabe vremenskih napovedi ter splošni prepoznavnosti meteorologije v javnosti. S prepoznavnostjo se ni kaj dosti obremenjeval, rad je hodil na televizijo napovedovat vreme in težko mu je bilo, ko tega ni več zmogel.

Skupaj s sodelavci je znatno prispeval k uveljavitvi modernega pristopa k napovedovanju vremena v Sloveniji, ki temelji na modelskih izračunih prihodnjega vremena, in ki mu na Agenciji Republike Slovenije za okolje sledimo še danes.

Pridobil je tudi licenco letalskega meteorologa prognostika in s svojim občasnim delom v oddelku za letalske napovedi sodeloval pri zagotavljanju varnosti zračnega prometa na območju Slovenije.

Eno od strokovnih področij, ki so ga še posebej pritegnili, je bilo napovedovanje nevarnosti požarov v naravi. Prav tako je z bogatim meteorološkim znanjem in izkušnjami prispeval k boljšemu poznavanju povezav med onesnaženostjo zraka in vremenom v Sloveniji.

Februarja 2020 se je predčasno upokojil. Spominjali se ga bomo po predanem in strokovnem delu ter prijetni osebnosti.

Andrejevi sodelavci

Podnebne spremembe – odprto pismo: Zahteva slovenskih raziskovalcev za sprejetje takojšnjih ukrepov za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje

Žiga Zaplotnik, Lina Boljka, Nina Črnivec, Aljoša Slameršak

Slovenski raziskovalci, ki preučujemo vreme, podnebje in podnebne spremembe, že dolgo opozarjamo na grožnjo katastrofalnih podnebnih sprememb. Nedavni izsledki raziskav kažejo na to, da podnebne spremembe ogrožajo življenja več kot milijarde ljudi, povzročajo množično izumrtje živalskih in rastlinskih vrst ter grozijo z nepopravljivo ekonomsko škodo. Navkljub jasnosti znanstvenih svaril ugotavljamo, da Slovenija spada med tiste članice mednarodne skupnosti, ki ne kažejo pripravljenosti, da bi se na grožnjo odzvala z odločnimi ukrepi. Medtem ko je ponekod v Evropi podnebna in okoljska problematika glavna tema političnih razprav, je pri nas še vedno odrinjena na obrobje, kar kaže na to, da se slovenska politika ne zaveda resnosti problema. Pod težo znanstvenih dejstev čutimo breme moralne odgovornosti, da politične odločevalce, gospodarstvenike, sindikate in širšo slovensko javnost opozorimo na posledice nadaljevanja po poti odlašanja in neukrepanja. Zato smo štirje mladi slovenski raziskovalci pripravili Zahtevo slovenskih raziskovalcev za sprejetje takojšnjih ukrepov za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje. Zahtevo je podprlo in sooblikovalo več kot 120 slovenskih strokovnjakov – meteorologov, klimatologov, fizikov, kemikov, biologov, geografov idr. – doma in v tujini. V zahtevi poleg opozorila v javno razpravo podajamo tudi niz predlogov in ukrepov za blaženje podnebne krize in prilagajanje nanjo.

Z gornjimi spremnimi besedami smo 11.11.2019 slovenski vladi in ostalim državnim institucijam ter medijem poslali odprto pismo. Poleg informiranja je bil namen pisma ustvariti dodaten pritisk na odločevalce pred posvetom Podnebni dogovor, ki je nekaj dni zatem potekal v Državnem zboru. Odprto zahtevo smo želeli v čim večjem obsegu objaviti v medijih, saj verjamemo, da imajo mediji poleg vzgoje in izobraževanja, pri ozaveščanju javnosti ključno vlogo in izjemno odgovornost.

Ker je bilo preteklo leto 2019 zaznamovano s svetovnim bojem proti podnebnim spremembam, ni presentljivo, da se je ideja za odprto pismo slovenskih znanstvenikov porodila ravno na enem izmed petkovih podnebnih protestov v Ljubljani. Pobudnik ideje je bil dr. Žiga Zaplotnik z domače Katedre za meteorologijo (Univerza v Ljubljani), pridružili pa so se ostali avtorji pisma, ki so svojo podiplomsko študijsko pot nadaljevali v tujini: dr. Lina Boljka (Colorado State University), Nina Črnivec (Ludwig Maximilian University of Munich) in Aljoša Slameršak (Autonomous University of Barcelona).

Odprto pismo je naletelo na pozitiven in odmeven odziv v medijih, strokovni in širši javnosti. Tako smo bili povabljeni k sodelovanju pri oblikovanju Bele knjige o strokovnem varovanju okolja, kamor smo vključili večino ukrepov iz odprtega pisma. Sledili so številni intervjuji s tiskanimi mediji, ter tudi radijski

in televizijski nastopi. Vsi skupaj smo bili povabljeni v znanstveno redakcijo Radia Študent na razpravo: "Kako bomo blažili podnebne spremembe?", kjer smo med drugim orisali ozadje naše akcije, ki velja za prvo tako obširno povezovanje slovenskih raziskovalcev v boju proti podnebni krizi. Tudi posamično smo aktivno sodelovali pri nadaljnjem ozaveščanju. V nadaljevanju je izpostavljenih nekaj vidnejših dejavnosti.

Žiga se je udeležil novembrske panelne razprave "Družbena odgovornost znanosti za Planet A", ki jo je organizirala Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS). Kmalu zatem je imel v okviru Slovenskega meteorološkega društva na ARSO predavanje "Fizika podnebnih sprememb", ki je zabeležilo rekorden obisk. Nastopil je tudi na Radio Prvi v oddaji "Zeleni januar: podnebne spremembe, vzroki in posledice", podobno je ozaveščal še z udeležbo na Kulturnem maratonu na Gimnaziji Jurija Vege v Idriji.

Lina je za revijo Zarja/Jana pojasnila problem vse hujših vročinskih valov in naraščanja gladine morja – aktualna tematika glede na poplavljanja, ki smo jim bili novembra 2019 priča v severnem Jadranu. Mesec dni kasneje je dodatno pojasnjevala vzroke in posledice katastrofalnih požarov v Avstraliji. Nedavno je imela v Hiši eksperimentov tudi zanimivo poljudno predavanje o podnebni spremenljivosti.

Nina je nastopila v panelu Podnebne spremembe na 4. simpoziju slovenskih raziskovalcev v tujini, ki ga je v sodelovanju z Ministrstvom za izobraževanje, znanost in šport, organiziralo Društvo v tujini izobraženih Slovencev (VTIS). Za spletno postajo Metina lista je posnela znanstveni intervju o študijskem raziskovanju sevanja in oblakov, ki predstavljajo eno največjih neznank podnebnih modelov.

Aljoša je kot strokovnjak za klimatologijo in okoljsko ekonomijo prejel številna povabila na radijska in televizijska snemanja. Zgodbo odprtega pisma je predstavil v pogovoru na Radiu Rai Furlanija Julijska Krajina, skupaj z vodilnimi slovenskimi klimatologi pa je nastopil tudi v oddaji o globalnem segrevanju na Val 202/Frekvenca X.

Prilbližno mesec dni po objavi smo prejeli odgovor ministra za okolje in prostor Simona Zajca, v katerem se nam zahvaljujejo za pobude, se strinjajo s potrebo povečanja aktivnega delovanja proti podnebnim in

okoljskim spremembam, ter zaključujejo z naslednjimi besedami: "V Sloveniji potrebujemo odločno, stabilno, ambiciozno in uresničljivo dolgoročno podnebno politiko kot del učinkovite evropske oziroma svetovne podnebne zgodbe s poudarjenimi vrednotami, kot so: zdravje, zavarovanje, varnost, pripravljenost, upanje, optimizem, zadovoljstvo, uspešnost in priložnost za prehod v trajnostni, podnebno in okoljsko prijazen jutri, tako za sedanje generacije, še zlasti za mlade kot za naslednje generacije."

Celotnega pozitivnega odziva na našo podnebno akcijo, ki smo ga bili deležni v preteklih mesecih in ki se še vedno nadaljuje, smo zelo veseli. Hkrati nam to vliva dodatno voljo za nadaljevanje dobronamernih potez v smeri blaženja podnebnih sprememb in prilagajanja nanje. V nadaljevanju v branje prilagamo odprto pismo!



Slika 1. Petkov podnebni protest v Ljubljani (27.9.2019), ki so se ga udeležili tudi raziskovalci s Katedre za meteorologijo na Fakulteti za matematiko in fiziko (na sliki v tretji vrsti, od leve proti desni): dr. Khalil Karami, dr. Katarina Kosovelj, dr. Žiga Zaplotnik in Nina Črnivec. Foto: Voranc Vogel (Delo).



Slika 3. Nekatere izmed številnih dejavnosti v smeri dodatnega ozaveščanja širše javnosti o problematiki podnebnih sprememb v mesecih po objavi odprtega pisma. Zgoraj levo: naslovnica predavanja Žige Zaplotnika »Fizika podnebnih sprememb« na ARSO (28.11.2019). Zgoraj desno: napovednik predavanja Line Boljka v Hiši eksperimentov (26.2.2020). Spodaj levo: sodelovanje Nine Črnivec na 4. simpoziju slovenskih raziskovalcev v tujini (23.12.2019). Spodaj desno: nastop Aljoše Slameršaka v oddaji »Stopinja in pol: Ko narava ni več naravna« na Val 202/Frekvenca X (9.1.2020).



Slika 2. Avtorji odprtega pisma (od leve proti desni): Žiga Zaplotnik, Lina Boljka, Nina Črnivec in Aljoša Slameršak. Vsi se raziskovalno ukvarjamo s proučevanjem področij meteorologije in klimatologije. (foto: osebni arhiv)

Odprto pismo “Zahteva slovenskih raziskovalcev za sprejetje takojšnjih ukrepov za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje” je bilo objavljeno in komentirano v številnih slovenskih medijih:

- **RTV-SLO (MMC):** Znanstveniki: Slovenija ne kaže pripravljenosti, da bi se na podnebne spremembe odločno odzvala
- **24 ur: Odprto pismo:** Podnebne spremembe ogrožajo življenja več kot milijarde ljudi
- **Dnevnik:** Slovenski raziskovalci pozivajo k odločnemu ukrepanju za blaženje podnebnih sprememb
- **Delo in Sobotna priloga:** Slovenski raziskovalci pozivajo politiko: Sprejmite bolj ambiciozen podnebni načrt!
- **STA Znanost:** Slovenski raziskovalci pozivajo k odločnemu ukrepanju za blaženje podnebnih sprememb
- **Mladina:** Slovenski znanstveniki o podnebnih spremembah: Naša moralna in etična dolžnost je pozvati k ukrepanju
- **Večer:** Znanstveniki pozivajo vlado, državni zbor in državni svet: “Ukrepajte!”
- **Slovenske novice:** Grožnje Pahorju in Šarcu: pred Slovenijo katastrofalne spremembe
- **Finance:** Slovenski raziskovalci: Vlada naj vključi podnebno problematiko v obvezen šolski program
- **Politiks:** Slovenski raziskovalci pozivajo k odločnemu ukrepanju za blaženje podnebnih sprememb
- **TIMES.si:** Slovenski raziskovalci: Vlada naj vključi podnebno problematiko v obvezen šolski program
- **Meteorolog.si (november):** Podnebne spremembe – Odprto pismo
- **Meteorolog.si (december):** Odzivi na Zahtevo slovenskih raziskovalcev za sprejetje takojšnjih ukrepov za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje
- **Zeleni Genij:** Odprto pismo: Podnebne spremembe ogrožajo življenja več kot milijarde ljudi
- **Kvardakadabra:** Zahteva slovenskih znanstvenikov za sprejetje takojšnjih ukrepov za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje
- **Metropolitan:** 120 slovenskih strokovnjakov za odločno ukrepanje pri blaženju podnebnih sprememb
- **Hudo:** Zaskrbljeni slovenski raziskovalci državo pozivajo k sprejetju takojšnjih ukrepov za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanju nanje
- **Svet24:** Slovenija ne kaže pripravljenosti, da bi se na grožnjo podnebnih sprememb odzvala z odločnimi ukrepi
- **Zarja/Jana (november):** Smo pozabili? Ljudje umirajo!
- **Zarja/Jana (december):** Smo v usodnem času za človeštvo
- **ARSO podcast:** Podnebne spremembe - ukrepajmo zdaj!
- **Radio Študent:** Kako bomo blažili podnebne spremembe?
- **Radio Rai Furlanija Julijska Krajina:** Poziv politikom in odločevalcem v Sloveniji za blažitev podnebnih sprememb na podubo štirih mladih slovenskih znanstvenikov



Slika 4. Spremenne simbolične fotografije upodabljajoče vsenavzočo problematiko podnebnih sprememb ob številnih zgoraj navedenih objavah odprtega pisma slovenskih znanstvenikov v medijih.

Zahteva slovenskih raziskovalcev za sprejetje takojšnjih ukrepov za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje

Povzetek

Strokovnjaki, ki raziskujemo vreme, podnebje in vplive podnebnih sprememb, čutimo, da je naša profesionalna in etična dolžnost odločno pozvati Vas, odločevalce, k sprejetju takojšnjih ukrepov za blaženje podnebnih sprememb in prilagajanje nanje. Podnebne spremembe, ki so posledica človeškega delovanja, se namreč že dogajajo, njihove posledice pa bodo v prihodnosti vse hujše. Slovenija ima med državami Evropske unije (EU) eno najslabših podnebnih strategij (Nacionalni energetske in podnebni načrt), ki nikakor ni v skladu z zastavljenimi cilji Pariškega podnebnega sporazuma. Zahtevamo torej, da sprejmete nove, bolj ambiciozne podnebne in okoljske načrte, ki bodo v dolgoročnem interesu prebivalcev Slovenije in vsega sveta. Predlagamo, da takoj uvedete naslednje poglobitvene ukrepe:

- *Spodbudite manjšo porabo energije in nujna vlaganja v večjo energetske učinkovitost stavb in brezogljikno energetske infrastrukturo.*
- *Spodbudite vsesplošno večjo varčnost in spremembo ustaljenih vsakodnevnih navad in razvad - prehranskih, potrošniških in potovalnih.*
- *Vključite podnebno in okoljsko problematiko v obvezen del učnih programov na vseh ravneh izobraževanja.*
- *Spodbudite večjo uporabo javnih prevoznih sredstev z vlaganji v železniško infrastrukturo in z višjimi subvencijami za javni prevoz.*
- *Uvedite davek na ogljik v okviru zelene davčne reforme, ki bo prihodke od davka v celoti in enakomerno vrnila državljanom kot ogljične dividende.*
- *Sprejmite preventivne ukrepe za prilagajanje podnebnim spremembam, ki nam bodo olajšali spoprijemanje z njihovimi posledicami.*

Naša majhnost ali velikost, kot bomo izbrali sami, se bo najbolj odločno kazala v naših dejanjih. Pokažimo, da v Sloveniji imamo znanje, ideje in da lahko vodimo z zgledom.

Spoštovani predsedniki - republike, vlade, državnega zbora in državnega sveta, spoštovane ministric in ministri, spoštovane članice in člani državnega zbora ter državnega sveta!

Še nikoli v zgodovini človeštva vpliv nas, ljudi, na planet in njegovo biosfero ni bil večji, kot je danes. Lahkomiselno smo preoblikovali površje Zemlje in spremenili sestavo njenega tankega sloja ozračja, ki le v spodnjih petih kilometrih omogoča edinstvene pogoje, potrebne za življenje. Kljub številnim opozorilom v preteklih letih poseg človeštva v globalni ekološki sistem ostaja mnogoteran. Svetovna meteorološka organizacija (WMO), Medvladni odbor za podnebne spremembe (IPCC), Agencija RS za okolje (ARSO) ter številne druge organizacije in posamezniki s svojim znanstvenim delovanjem vedno znova dokazujejo, da je človeško delovanje glavni krivec za podnebne in okoljske spremembe. Medtem ko posledice podnebnih sprememb povečini najhujše občutijo države v razvoju, je za večino vzrokov teh odgovoren industrializirani, razviti svet, kamor sodi tudi Slovenija.

Koncentracija toplogrednih plinov v ozračju je nizka, a vseeno ključnega pomena za življenje na Zemlji, saj ti plini preprečujejo delu Zemljinega dolgovalovnega sevanja, da zapusti ozračje. Brez naravnega učinka tople grede, ki ga je že pred skoraj dvema stoletjema odkril francoski matematik Joseph Fourier, bi bila povprečna temperatura na Zemlji pod -20°C ,

človeška noga pa planeta zagotovo ne bi tako neusmiljeno teptala. Že med največjim industrijskim razmahom konec 19. stoletja je švedski kemik in Nobelov nagrajenec Svante Arrhenius opozoril, da bi se Zemlja ob morebitni podvojitvi količine ogljikovega dioksida v ozračju segrela za približno 4°C .

Medtem ko toplogredni plini omogočajo življenje na Zemlji, pospešeno povečevanje njihove koncentracije v ozračju prinaša spremembe v energijski bilanci planeta. Ta že danes v vesolje izseva skoraj 1 W/m^2 manj, kot v povprečju prejme od Sonca. Posledično se naš planet segreva in se bo še naprej - vse dokler izsevana toplota ne bo enaka prejeti. Povezavo med izsevano toploto in temperaturo črnega telesa je uspešno preučeval že naš rojak, fizik Jožef Stefan. Fizika, podkrepljena z matematičnim opisom, numeričnimi simulacijami in meritvami, je torej jasna! Ob trenutni stopnji naših "prizadevanj" se bo do konca stoletja globalna povprečna temperatura povečala za 4°C glede na referenčno obdobje 1986-2005, ki je že tako skoraj 1°C toplejše od predindustrijske dobe, podobno pa bo tudi pri nas v Sloveniji. Za lažjo predstavbo: povišanje temperature za 5°C (od predindustrijske dobe) je enakovredno premiku proti jugu za skoraj 1000 km (npr. iz Ljubljane v Madrid oz. iz Kopra v Atene, Malago ali Tunis), takšna pa je tudi razlika v globalni povprečni temperaturi med ledeno dobo in toplim obdobjem. To pomeni, da bodo že v zadnji tretjini stoletja na območjih, kjer bo živela več kot polovica svetovnega prebivalstva (npr. Kitajsko

nižavje, Indijska podcelina, jugovzhodna Azija, vzhodni del ZDA, nizka ekvatorialna Afrika ter celo osrednji Balkan), v povprečju vsako drugo ali tretje leto pretili smrtno nevarni vlažni vročinski valovi, ki bodo ogrožali celo zdrave odrasle v mirovanju. Preostali, še zlasti otroci in starostniki ter ljudje s srčno-žilnimi in pljučnimi obolenji, pa so za vlažno vročino še občutno dovzetnejši.

Podnebne spremembe pomembno vplivajo tudi na ostale vremenske ekstreme: obdobja suše so dolgotrajnejša, hkrati pa se povečuje število neurij (z možno točo, viharim vetrom) in obilnih padavinskih dogodkov, kar vodi do obsežnejših poplav. Zaskrbljujoč je tudi napovedan dvig morske gladine do enega metra na svetovni ravni do konca stoletja, kar bo ogrozilo obalna območja, predvsem ob izjemnih vremenskih dogodkih. Koncentracija ogljikovega dioksida narašča tudi v oceanih, kar povzroča zakisanje.

Toplejša morska voda in zakisanje pa pomenita izgubo biodiverzitete (npr. zaradi izginjanja koralnih grebenov), ki je opazna tudi na kopnem. Zaradi posledic podnebnih sprememb bo že do leta 2050 razseljenih od 200 do 250 milijonov podnebnih beguncev. Podnebne spremembe prinašajo tudi veliko ekonomsko škodo. Ekonomske izgube bodo ob trenutni stopnji naših "prizadevanj" v državah srednje in južne Evrope, kamor spada tudi Slovenija, v zadnji tretjini stoletja presegle 4 % letnega bruto domačega proizvoda. Hitro razogljichenje energetskega sistema in zmanjšana poraba naravnih virov je neprimerno cenejša pot, ki terja "zgolj" od 1 % do 2 % letnega bruto domačega proizvoda.

Kot raziskovalci, ki se ukvarjamo z merjenjem in opazovanjem Zemlje, njenih oceanov, ozračja, tal in biosfere, razumevanjem njihovih procesov, napovedovanjem vremena in podnebja, čutimo, da je naša moralna in etična dolžnost tokrat še odločneje pozvati vas, odločevalce, k ukrepanju. Od vas pričakujemo, da takoj predlagate zakonodajo, ki bo zagotovila zmanjšanje izpustov v skladu s Pariškim sporazumom, katerega podpisnica je tudi Slovenija. Ta dokument velea, da moramo v izogib nevarnim spremembam omejiti dvig globalne povprečne temperature na 1,5 °C do 2 °C glede na predindustrijsko dobo, sicer tvegamo porušitev že tako krhkega ravnovesja podnebnega sistema. Četudi bi nekatere države izpolnile svoje trenutne zaveze (v preteklosti jih pogosto niso), bo Zemlja do leta 2100 v povprečju še vedno segrela za najmanj 3 °C v primerjavi s predindustrijsko dobo.

Slovenija ni na poti povečanja deleža energije iz obnovljivih virov. Slovenija prav tako od leta 2014 naprej emisije toplogrednih plinov povečuje, namesto da bi jih zmanjševala. Med državami Evropske

Unije (EU) imamo najmanj ambiciozen energetski in podnebni načrt za prihodnost. Medtem ko je Evropski parlament sprejel zavezo o zmanjšanju emisij do leta 2030 za 55 % glede na leto 1990 in ogljično nevtralnost do leta 2050, si je Slovenija zadala cilj do leta 2030 zmanjšati emisije zgolj za 15 % glede na leto 2005 in povečati odstotek energije iz obnovljivih virov na 27 %, izpuste zaradi prometa pa naj bi pri tem celo povečala za 14 %.

Zato zahtevamo, da sprejmete nove, ambicioznejše podnebne načrte, ki bodo v skladu s cilji Pariškega sporazuma in ki bodo v dolgoročnem interesu prebivalcev vsega sveta. Za zmanjšanje emisij nemudoma spodbudite investicije v večjo energetsko učinkovitost stavb in tudi brezogljico energetsko infrastrukturo, npr. v namestitve sončnih elektrarn (najprej na javnih stavbah), v izgradnjo novih črpalnih akumulacij, izgradnjo vetrnih turbin, srednjeročno pa tudi izgradnjo novega bloka Nuklearne elektrarne Krško ter nadgradnjo električnega omrežja. Globalno zelo pomemben del blaženja podnebnih sprememb je tudi sprememba rabe tal, vključno s pogozdovanjem in omejitvijo sečnje gozdov, v Sloveniji pa predvsem s subvencioniranjem trajnostnih navad v kmetijstvu in prehranski politiki.

Spodbudite večjo uporabo javnih prevoznih sredstev s celostnim strokovnim načrtom za prenovo železniške infrastrukture ter z višjimi subvencijami za vse oblike javnega prevoza, čemur bi sledilo tudi izboljšanje povezav in skrajšanje potovalnih časov. Nemudoma opustite subvencioniranje fosilnih goriv, hkrati pa sprejmite industrijsko strategijo in spodbujevalne ukrepe za prehod na krožno, trajnostno ekonomijo.

Po mnenju množice ekonomistov, med njimi 27 Nobelovih nagradencev, je najučinkovitejši ukrep za blaženje podnebnih sprememb obdavčitev ogljikovega odtisa. Davek na ogljik, ki bo z leti strmo naraščal, naj se sprejme v okviru zelene davčne reforme, ki bo prihodke od davka v celoti vrnila državljanom, vsem enako, kot ogljične dividende. Davek na ogljik skupaj z dividendami naslovi tudi različno odgovornost za podnebne spremembe, saj vzpodbuja prakse in nagraduje državljane, ki onesnažujejo manj, hkrati pa stimulira večje onesnaževalce, da spremenijo svoje navade. Davek na ogljik že velja v Švici za energente za ogrevanje, še splošnejše sheme pa že pripravljajo oz. že veljajo tudi v Kanadi ter na Švedskem in Norveškem.

Evropska Unija je davek na ogljik razmeroma učinkovito uvedla s t.i. Evropsko shemo trgovanja s kuponi za emisije ogljikovega dioksida (EU ETS). Od uvedbe leta 2005 pa do leta 2018 je tako skupna količina emisij iz virov, ki so del sheme, upadla za 29 %, emisije iz ostalih virov pa upadajo bistveno počasneje. Slednje potrjuje, da je dolgoročno ključ

do uspešnega zmanjšanja emisij sprememba ekonomske "cenilke". Ta mora pri stroških, ki jih skuša minimizirati, upoštevati tudi ovrednoten ogljični odtis; dolgoročno pa bi bilo potrebno razmisliti tudi o vrednotenju porabe surovin, degradacije tal, proizvodnje odpadkov idr. Davek na ogljik spodbuja lokalno ekonomijo, saj domači izdelki postanejo zaradi dodatnega stroška prevoza relativno ugodnejši od tujih, spodbuja pa tudi vlaganje v razvoj obnovljivih virov energije, ki s tem postajajo cenovno konkurenčni.

Blaženje podnebnih sprememb obenem zahteva tudi manjšo porabo energije, vsesplošno večjo varčnost, spremembo ustaljenih vsakodnevnih navad in razvad – prehranskih (npr. zmanjšanje porabe mesa, zmanjšanje količine živilskih odpadkov), potrošniških in potovalnih - tudi pri nas znanstvenikih. Zato spodbujamo obisk znanstvenih srečanj in delavnic brez letalskih prevozov. Tako v državni upravi kot tudi v gospodarstvu pa je potrebno spodbuditi digitalizacijo in delo od doma. To vodi v zmanjšan obseg dnevnih migracij in v pomembno zmanjšanje prometnih emisij toplogrednih plinov, hkrati pa se zaposlenim podaljša prosti čas in posledično dvigne njihova delovna učinkovitost. Pri uresničevanju teh sprememb sta ključni vzgoja in izobraževanje. Okoljska in podnebna problematika mora zato postati obvezen del šolskih programov na vseh ravneh izobraževanja in prednostno področje na državni ravni. Za uspešno reševanje tako zahtevnega, večplastnega problema, kot so podnebne spremembe, pa je ključno tudi sodelovanje. Zato predlagamo sklic rednih delovnih sestankov predstavnikov znanosti, gospodarstva in državnih institucij, da bomo s skupnimi močmi prišli do najboljših rešitev, osnovanih na zadnjih znanstvenih dognanjih.

Navedli smo le nekaj možnih ukrepov, za katere verjamemo, da bi pripomogli k reševanju podnebne in okoljske krize. V veliki meri gre za razmeroma enostavno izvedljive rešitve, ki že na kratek rok dvigujejo kvaliteto življenja, brez večjih omejevanj oziroma prepovedi, ki bi v ljudeh vzbudile odpor. Poleg ukrepov za blaženje podnebnih sprememb pa je pomembno tudi prilagajanje nanje (za kar celovitih načrtov Slovenija prav tako nima): z izgradnjo nasipov, z dopolnjevanjem, dviganjem in utrjevanjem obrežij,

z načrtovanjem vodohramov, ki se polnijo ob večjih nalivih in praznijo v sušnih obdobjih, z načrtovanjem zdravstvene oskrbe ob vse hujših vročinskih valovih itd. Ti preventivni ukrepi nam bodo olajšali spoprijemanje s posledicami podnebnih sprememb, obenem pa so občutno cenejši kot stroški sanacij naravnih nesreč. Končne ukrepe pa morate sprejeti Vi, odločevalci!

Naša majhnost ali velikost, kot bomo izbrali sami, se bo najbolj odločno kazala v naših dejanjih, in ne v površini slovenskega ozemlja ali številčnosti prebivalcev Slovenije. Stopimo vsaj enkrat iz sence "večjih", ne čakajmo in ne sprašujmo se, kaj bodo naredili drugi. Pokažimo, da imamo znanje, ideje in odločnost izpeljati podnebne ukrepe, ter vodimo z zgledom. Naj bo "majhnost" tokrat naša prednost in naj gospodarska rast, ki na omejenem planetu zahteva vedno večjo porabo energije in vedno večje posege v naravno okolje, ne bo glavno merilo naše uspešnosti!

Naj si za konec sposodimo še besede astronoma Carla Sagana: "Naš planet je osamljen drobec v širni kozmični temi. V vsej tej prostranosti ni sledu, da bi pomoč prišla od drugod in nas rešila samih sebe. Če nam je všeč ali ne, je Zemlja naše edino stojišče... To poudarja našo dolžnost, da lepše delamo drug z drugim, ter da ohranimo in slavimo edini dom, ki smo ga kadarkoli poznali - Zemljo."

S spoštovanjem in lepimi pozdravi,

dr. Žiga Zaplotnik (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko)

dr. Lina Boljka (Colorado State University, Department of Atmospheric Science)

Nina Črnivec, M.Sc. Meteorology (Ludwig Maximilian University of Munich, Meteorological Institute Munich)

Aljoša Slameršak, M.Sc. Climate Studies, M.Sc. Environmental Sciences - Environmental Economics (Autonomous University of Barcelona, Institute of Environmental Science and Technology)

100. letna konferenca Ameriškega meteorološkega društva

Tanja Cegnar



100. letna konferenca Ameriškega meteorološkega društva (AMS) pod naslovom »AMS preteklost, sedanjost in prihodnost: povezovanje informacij z znanjem za družbo« je potekala v Konvencijskem centru v Bostonu, Massachusetts, ZDA, od 12. do 16. januarja 2020. Letno srečanje AMS je največje redno letno srečanje strokovnjakov za vreme, podnebje in hidrologijo na svetu. Srečajo se strokovnjaki z različnih znanstvenih področij, ki ustvarjajo in utrjujejo svoje poklicne povezave, izmenjujejo znanje in izkušnje ter se seznanjajo z najnovejšimi dosežki in usmeritvami. Večina udeležencev je iz ZDA, a dobro so zastopane tudi druge celine. AMS ima več kot 13.000 individualnih članov, sedež društva je v Bostonu. Letna konferenca se iz leta v leto seli, vendar se zaradi logističnih omejitev večinoma odvija v nekaj večjih mestih v ZDA, poleg Bostona so to New Orleans, Seattle, Phoenix, Austin, izjemoma tudi drugje.



Weatherfest na privlačen način približa meteorologijo javnosti in predvsem otrokom (foto: Tanja Cegnar)

Pred strokovno konferenco je potekala posebna študentska konferenca, v njenem okviru so priznani strokovnjaki predstavili pomembne dosežke, zanimivosti in postopke z namenom, da mlade seznanijo z izzivi in privlačnostjo poklica meteorologa ter prispevkom meteorologije k napredku in varnosti družbe.

Tradicionalno razstavo (WeatherFest) za širšo javnost brez vstopnine so dan pred uradnim začetkom konference organizirali v hotelu poleg konferenčnega

Boston je gostil stoto letno konferenco AMS (foto: Tanja Cegnar)





Tudi TV meteorologi sodelujejo na Weatherfestu (foto: Tanja Cegnar)

centra. Na njej so na razumljiv in privlačen način s pomočjo maket, eksperimentov in animacij predstavili posamezne pojave v ozračju in načine meritev, a tudi programe in storitve. Nabor sodelujočih je segal od izobraževalnih ustanov in inštitutov do televizijskih hiš, privatnih podjetij, društev, organizacij za zaščito in reševanje. Namen WeatherFesta je javnosti predstaviti prispevek meteoroloških storitev k varnejši in uspešnejši družbi ter vzbuditi zanimanje za meteorologijo. Veliko razstavljalcev sem kasneje s strokovno poglobljenimi vsebinami srečala na razstavi v sklopu konference.

AMS ob konferenci redno organizira tudi »zaposlitveni sejem«, ki iskalcem zaposlitve na področju atmosferskih znanosti nudi možnost neformalnega pogovora s potencialnimi delodajalci. Tako lahko hitro ugotovijo, katere profile trenutno iščejo zaposlovalci in kakšne delovne pogoje nudijo. Zaposlovalci pa lahko navežejo stik z iskanci zaposlitve in opravijo spoznavni pogovor.

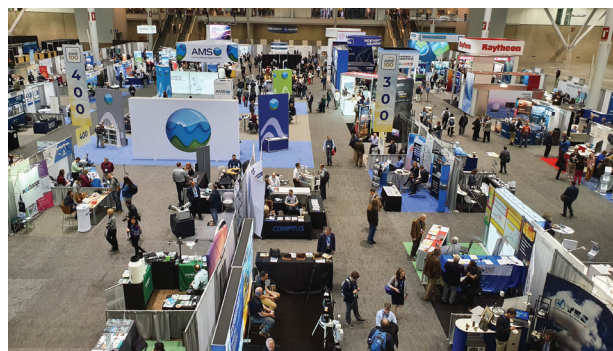
V okviru tokratnega jubilejnega letnega srečanja je bilo organiziranih in izvedenih kar 755 sekcij, podanih je bilo 2792 prezentacij in postavljenih 1562 posterjev. Na osnovni konferenci je bilo okoli 6000 sodelujočih. K uspehu konference prispevajo tudi spremljajoči dogodki, ki so prav tako dobro obiskani.



Pogled na del dvorane s posterji (foto: Tanja Cegnar)

Na konferenci se srečajo strokovnjaki različnih področij, veliko je mreženja in druženja ter izpostavljanja vrhunskih znanstvenih dosežkov. Ob konferenci potekajo številni poslovni sestanki, na katerih se dogovarjajo o usmeritvah za delo na področjih, ki so pomembna za celotno meteorološko srenjo ZDA, kot je na primer triletna strategija opazovanj.

Pomemben del letne konference je razstava, ki se je udeležujejo vsi svetovno pomembni izdelovalci programske in strojne opreme povezane z meteorologijo in komunikacijskimi tehnologijami, organizacije za posredovanje ob naravnih nesrečah, knjižničarji, založniki strokovne literature, študentske organizacije, univerze, izobraževalni programi. Na razstavi je sodelovalo več kot sto razstavljalcev, poleg razstavljenega gradiva so prirejali predstavitvena predavanja in prikaze storitev. Razstavni prostor je bil dobro obiskan, razstavljalcem pa ni zmanjkalo volje in energije za pogovor in razlago.



Pogled na del razstavnega prostora (foto: Tanja Cegnar)

Plenarne dogodke na konferenci je vodila dotedanja predsednica Jenni L. Evans. Najbolj odmevno je bilo plenarno predavanje bivše direktorice Okoljske agencije ZDA Gine McCarthy. Osredotočila se je predvsem na problem podnebnih sprememb in se dotaknila odnosa politike do okolja. V pogovoru, ki je sledil predavanju, smo izvedeli, da je pripravila okoljske vsebine za predvolilno kampanijo več kandidatov. Predavanje je bilo tako retorična kot motivacijska mojstrovina.

Konferenca je vključevala področje raziskav, različne medije vključno z radijem in televizijo, vladne storitve, industrijske aplikacije, obvladovanje tveganj, izobraževanje, politiko, komunikacijo in odzive na opozorila, povezovanje tehnologij, povezave med raziskavami in aplikacijami ter še marsikaj drugega. Ameriško meteorološko društvo je upravičeno ponosno na prispevek k varnosti, odpornosti in gospodarskemu uspehu družbe.

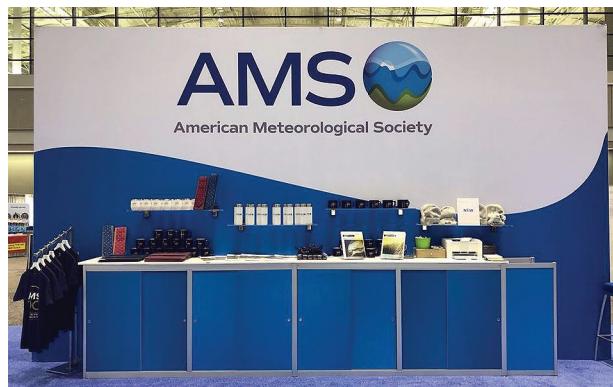
Okrogel jubilej konference je bil priložnost za premislek o tem, kako lahko AMS še napreduje v svetu, ki se hitro spreminja. Z rastjo strokovnega znanja meteorologije postajajo očitne povezave z vse več znanstvenimi področji. Meteorologi se povezujemo s strokovnjaki drugih poklicev, ki postajajo naši partnerji. Povezujemo informacije med različnimi strokami in tako širimo poznavanje razmer in krepimo vpliv na družbo. V AMS se ponujajo nove priložnosti, med njimi: celovitejši pogled na meteorologijo, ki je usmerjena v dosežke, povezovanje znanosti z drugimi fizičnimi, družbenimi, političnimi in gospodarskimi razmerami. Povečanje raznolikosti in obsega podatkov v kombinaciji z naraščajočo zmogljivostjo računalnikov in novimi metodologijami odpira nove možnosti. Interdisciplinarno sodelovanje je priložnost za napredek s pomočjo sinergijskih učinkov mimo tradicionalnih domenskih, industrijskih in institucionalnih meja.

Ob stoti obletnici delovanja so pripravili vrsto predavanj z zgodovinskim pregledom razvoja meteorologije. Konferenci so dodali trajen pečat z uvedbo novega loga, ki je moderen in na prvi pogled privlačen. Da bi ohranili ravnotežje med posodobitvijo in tradicijo, so ohranili dosednji žig društva. Organizacijsko je priprava in izvedba konference potekala brezhibno. Zagotovili so avtobusni prevoz iz priporočenih hotelov do konferenčnega centra, table z obvestili so bile na vseh potrebnih mestih, prav tako oznake pred dvoranami. Oznacbe dvoran so bile logične in orientacija lahka, vendar je bilo zaradi njihovega velikega števila, včasih potrebno kar nekaj hoje, da si prišel iz enega dela konvencijskega centra do drugega. Prijava je potekala brez zastojev na dovolj velikem številu okenc, ki so bila organizirana po črkah abecede. Predavatelji smo že precej pred konferenco prejeli izčrpna navodila o formatih za predstavitve in navodila kako ter kdaj svoje prispevke naložiti na konferenčne serverje v medijskem centru, tam smo lahko preverili delovanje prezentacije v računalniškem okolju, v katerem je kasneje potekal nastop. Prezentacije je bilo možno naložiti že od doma nekaj dni pred konferenco. Posebej so nas opozorili, da nalaganje prezentacij v konferenčnih dvoranah ni možno.

Na konferenci so posebej izpostavljali tudi tako imenovane mehke veščine, splošno vključevanje, ne



Ekskluzivno srečanje udeleženk AMS (foto: AMS)



AMS promocijski prostor (foto: Tanja Cegnar)

glede na spol, raso in druge razlike. Med drugim so organizirali sekcijo o ergonomsko urejenem delovnem mestu in skrbi za duševno zdravje delavcev. V enem izmed odmorov je potekalo ekskluzivno srečanje udeleženk konference.

Konferenco so zasnovali na spoznanju, da ozračje nima geografskih meja, zato je vedno bolj očitno, da podnebje ne spoštuje meja v času ali prostoru. Potrebno je gledati onkraj državnih in kulturnih meja, da bi informacije in znanje povezali z globalnimi družbenimi vplivi. Izboljšanje komunikacije je izjemnega pomena. Kot strokovnjaki smo odgovorni za medsebojno komunikacijo z drugimi v družbi, da bi zagotovili storitve in znanstveni kontekst, potreben za izgradnjo močnejše in bolj prožne družbe. Številni nadarjeni in predani sodelavci so v to poslanstvo vložili ogromno truda, AMS ima veliko pobud, na katerih lahko gradimo, vendar je še vedno izziv raziskati še več poti za gradnjo mostov razumevanja s čim več družbenimi področji.

Spodbujajo opazovanja in modeliranje, povezovanje z izboljšanim razumevanjem temeljnih procesov in predvidljivosti. Izpostavljen je bil vpliv spreminjajočega se podnebja na ekstremne dogodke. Sledile so seje, ki so ponujale nazorne primere uspešnih konvergentnih interdisciplinarnih raziskav in pristopov za pridobitev sredstev za interdisciplinarno delo. Izpostavljeno je bilo prizadevanje za izboljšanje odpornosti, izboljšanje komunikacije, zagotavljanje podpore pri odločanju za izredne in nevarne dogodke ter tesno sodelovanje z mestnimi upravitelji in reševalci. Mednarodna partnerstva vključujejo raziskave in aplikacije o nevarnih dogodkih ter prizadevanja za usposabljanje nove generacije znanstvenikov in inženirjev.

V ospredje stopa tudi upoštevanje kaskadnega učinka naravnih nesreč, družbene posledice in potreba po interdisciplinarnem sodelovanju ter t.i. mehkih veščinah.



Podelitev prestižnih nagrad AMS (foto: Tanja Cegnar)

Na prijazno povabilo AMS sem se udeležila dogodka o mednarodnem sodelovanju in diplomaciji, kjer smo poslušali kratka poročila o obnovi po večjih naravnih nesrečah v državah izven ZDA in pogovor o bodoči usmeritvi NOAA, ki ga na kratko lahko povzamemo kot vse večjo dostopnost podatkov in rezultatov javnosti, načrtujejo pa tudi odpiranje dostopa do kod numeričnih modelov.

Glavni motiv za udeležbo na konferenci AMS100 je bilo vabljen predavanje na 48. konferenci v medijih zaposlenih meteorologov, ki je bila sestavni del dogodka AMS100. Predavanje je vpeljala novo izvoljena predsednica AMS Mary M. Glackin. Na osnovi dvajsetletnih izkušenj vodenja skupine za medije pod okriljem Evropske meteorološke zveze sem

govorila o delovanju meteorologov v Evropi v medijih, predvsem pa izpostavila razlike med Evropo in ZDA v posredovanju TV vremenskih napovedi.

Vesela sem bila srečanja s prijatelji in kolegi zaposlenimi v ameriških medijih. Njihova vloga v ZDA je bistveno večja, kot je vloga posredovalca vremenske napovedi na večini evropskih TV. V Evropi je povsem nepredstavljivo, da bi meteorolog prekinil TV spored in celo več ur neposredno v živo gledalcem razlagal razvoj neurja in jih opozarjal na nevarnost. S kolegi, ki delajo v medijih ali se ukvarjajo s posredovanjem meteoroloških vsebin, se redno srečujemo na letni konferenci Evropske meteorološke zveze, včasih pa tudi na vremenskem forumu v organizaciji francoskega meteorološkega društva.

Zanimiva opažanja štirinajstih let opazovanj v Domžalah

Matjaž Černešek

Kot honorarni opazovalec na padavinski postaji v Domžalah merim padavine in opazujem pojave že od aprila 2005. Ker sem vremenski navdušenec že od šolskih let beležim tudi lastno evidenco, delam razne statistike meritev in jih primerjam z drugimi kraji. Mesečne statistike padavin so me pripeljale do zanimivih spoznanj. 14-letni niz meritev je še prekratek za resne zaključke, se pa vseeno vidijo neka odstopanja od povprečij (npr. 1961–1990 ali 1981–2010).

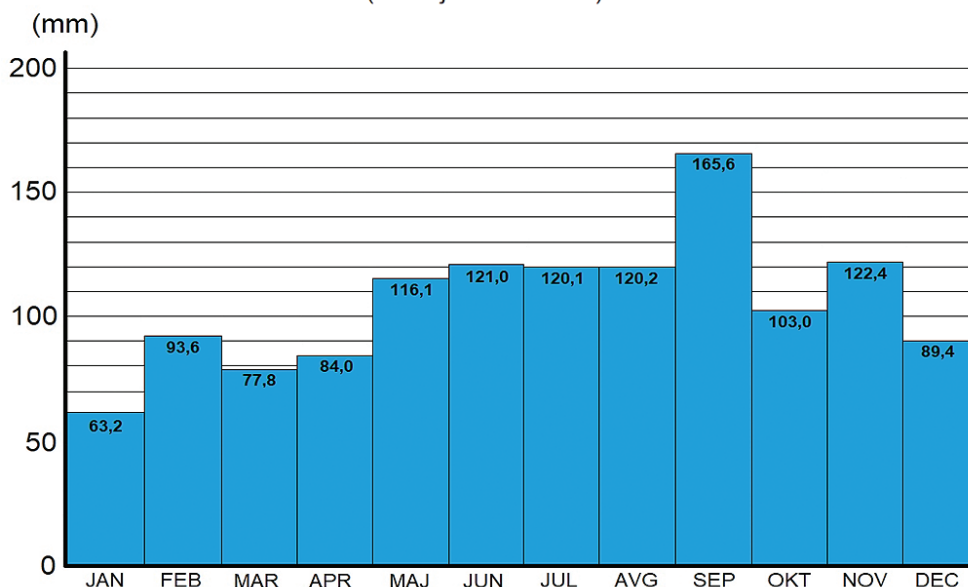
Najprej letna količina padavin, ki v obdobju 2005–2019 znaša le 1278,6 mm, kar je skoraj 100 mm oziroma 7 % manj od dolgoletnega povprečja (1961–1990) za bližnjo Depalo vas.

V hribovitih krajih zahodne Slovenije je padavinski višek jeseni, proti vzhodu pa s kontinentalnim podnebjem in bolj suhimi jesenmi vse bolj prevladuje poletni višek. Osrednja Slovenija je nekje vmes in ima v dolgoletnem povprečju ta dva padavinska viška precej poravnana (npr. v Ljubljani junija 144

mm; septembra in oktobra 147 mm). A moje meritve v zadnjih letih se s temi statistikami ne strinjajo povsem.

Na grafu 1 je prikazan graf povprečnih mesečnih padavin v obdobju 2005–2019, kjer najbolj bode v oči izrazit septembrski višek. To velja pripisati seriji zelo namočenih septembrov - dva najbolj mokra meseca v zgodovini mojih meritev sta prav septembra 2010 (365 mm) in september 2017 (290 mm). September je čas, ko se lahko pojavijo prva jesenska deževja s cikloni in obenem pozno poletna konvekcija z nevihtami in nalivi, saj je ozračje običajno še zelo toplo. Tudi slovite poplave v Železnikih so bile septembra 2007. Poletni meseci (junij, julij, avgust) so poravnani skoraj do desetinke milimetra. Med njimi so se zvrstili tako zelo sušni (najmanj 24 mm) kot zelo mokri meseci (največ 264 mm), torej je sama spremenljivost zelo velika. Med mesečnimi povprečji izstopa predvsem februar leta 2014, ko je padlo 252 mm padavin, kar je res ogromno za ta čas. Oktobri so se glede na dolgoletno povprečje malo posušili.

Povprečna mesečna količina padavin v Domžalah
(obdobje 2005 - 2019)



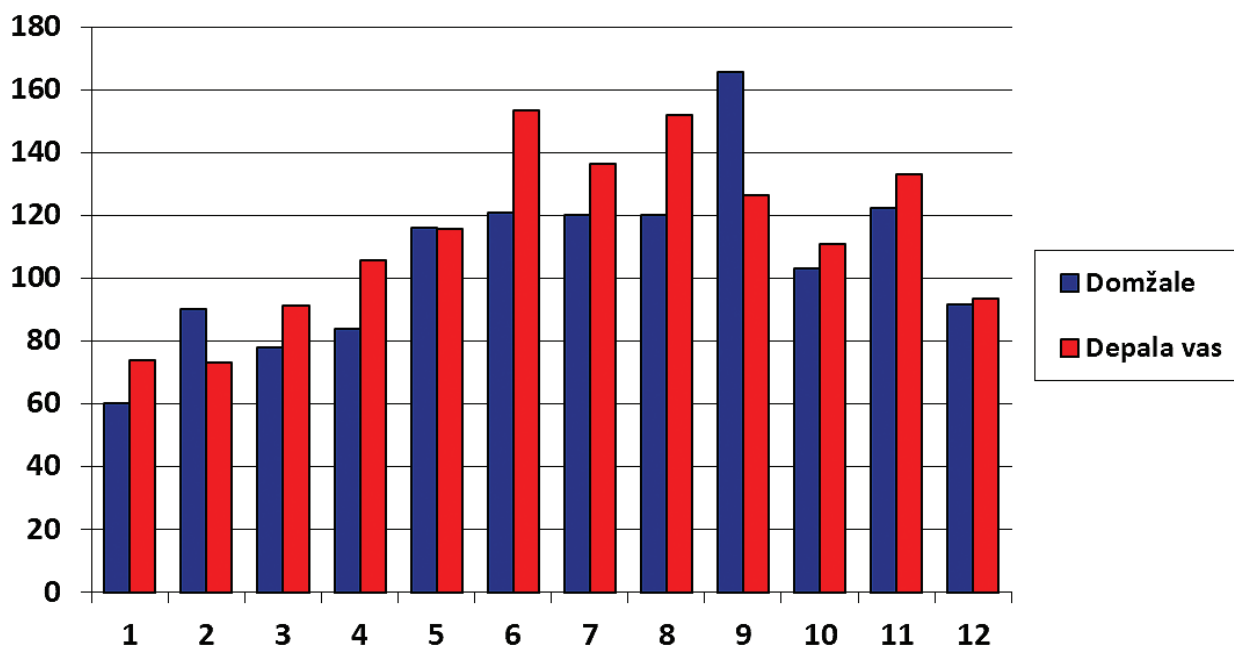
Slika 1. Prikaz dolgoletnega povprečja (2005–2019) mesečne količine padavin na padavinski postaji v Domžalah

V obdobju 2005–2019 sem največ snega izmeril v izjemno sneženi zimi 2009/2010. 31.1. 2010 in 11.2. 2010 sem izmeril 43 cm debelo snežno odejo. Sicer domžalsko-kamniško območje slovi kot predel z malo snega (v primerjavi z bližnjo Gorenjsko, Notranjsko ali Dolenjsko in celo kraji nekaj kilometrov južneje od Ljubljane), sploh zadnja desetletja. Za konkretno sneženje se mora spojiti res veliko dejavnikov.

Mnogokrat lahko le opazujemo naletavanje snežink, medtem ko na jugu in vzhodu (ter na Balkanu) štejejo decimetre. Ob padavinah od zahoda večinoma dežuje in ko se meja sneženja spusti do nižin, le-te ponehajo. Ko zapiha SV veter, ta namreč deluje kot fen, saj ob spustu iz Kamniških Alp v kotlino suši oblaknost in padavine - podobno kot burja na Primorskem. Situacij, ko bi nižine osrednje Slovenije lahko zasulo (npr. genovski ciklon z obilnim sneženjem) je pa očitno vse manj in manj.

Naredil sem še primerjavo med bližnjo Depalo vasjo nekoč (1961–1990) in Domžalami dandanes (2005–2019). Postaji sta zgolj 3 km narazen. Na grafu 2 je vidna precejšnja razlika med porazdelitvijo padavin nekoč in danes; predvsem poletni višek padavin je bil v preteklosti bolj izrazit, o septembrskem višku pa ni bilo sledu.

14 let je klimatološko gledano kratka doba. Dejstvo pa je, da bo potrebno veliko let ali sušnih septembrov, da se sedanje povprečje izravna na raven prejšnjih. Tu se že morda vidijo prvi znaki dolgoročnih napovedi, ki nam obetajo več zimskih padavin (po nižinah v obliki dežja) in ob globalnem segrevanju tudi nekoliko spremenjen padavinski režim. Vsekakor bo zanimivo spremljati kako bo naslednjih 14 let, ko bomo dobili še bolj verodostojen in daljši niz podatkov.



Slika 2. Primerjava porazdelitve povprečnih mesečnih padavin med Domžalami (2005–2019) in bližnjo Depalo vasjo (1961–1990)



Intervju: prof. dr. Andrej Hočevar, zaslužni prof. Univerze v Ljubljani

Prof. dr. Andrej Hočevar je bil med ustanovitelji Društva meteorologov Slovenije v letu 1954. Rodil se je leta 1931 v Ljubljani in leta 1954 diplomiral pri prof. dr. Oskarju Reyi z nalogo Vroča poletja in subtropski anticiklon. Z njim sem se novembra 2019 pogovarjala o njegovi plodni in dolgi poklicni karieri.

Z ustanovnim in častnim članom našega društva je intervju opravila mag. Tanja Cegnar. Fotografije so iz osebnega arhiva prof. Hočevarja.

Zakaj ravno študij meteorologije?

V srednji šoli sem bil velik pristaš jadralnega letalstva. Za študij sem se odločal med konstrukcijo letal in meteorologijo. Ker študija konstrukcije letal v Ljubljani ni bilo, sem se odločil za študij meteorologije. Tu smo se znašli kar številni ljubitelji jadralnega letalstva: Zdravko Petkovšek že priznan konstruktor sobnih letalskih modelov, Bojan Paradiž in jaz.

Kar nekaj diplomiranih meteorologov je prvih nekaj let po vzpostavitvi meteorološke postaje na Kredarici tam opravljalo pionirsko delo opazovalca, med njimi tudi moj sogovornik. Razmere so bile težke, kot je razvidno tudi iz priložnostnih publikacij, ki jih je ARSO izdal ob 50. in 60. letnici meteorološke postaje na Kredarici. Te na obdobje veže kakšen poseben spomin?

Po zaključku študija v jeseni leta 1954, kot peti diplomant meteorologije, sem decembra 1954 odšel skupaj z Bojanom Paradižem na svoje prvo delovno mesto opazovalca vremena na Kredarici na tedanjem Hidrometeorološkem zavodu. Bojan je kmalu doživel vnetje slepiča. Po poledenelih snežiščih se je sam spustil v dolino. Pristal je na železniški postaji v



Na Kredarici ob 60-letnici delovanja meteorološke postaje

Mojstrani in se odpeljal v Ljubljano. Tu so ga že naslednji dan operirali. Bolehal je pa še kak mesec dni. Po tem dogodku sem na Kredarici ostal sam kakšne tri tedne, vse dokler ni prišla zamenjava.

S Kredarice sem se vrnil v Ljubljano konec februarja 1955. Ob vračanju s Kredarice naju je skupaj z



Na Kredarici z Bojanom Paradižem



Pust leta 1955 po prihodu s Kredarice. Harmonikar je preminuli akademik Božidar Kos. Po dolgoletnem bivanju v Avstraliji in igranju po barih je postal vodja oddelka za kompozicijo v Sidneyu (Conservatorium of Music, ki je del univerze v Sidbeju). Po osamosvojitvi Slovenije se je vrnil domov in bil izvoljen za rednega člana Akademije znanosti in umetnosti Slovenije.

nosačem Prešernom po že splazenem pobočju nad Konjsko planino pobral plaz. Srečno sva izplavala in se naprej po globokem snegu, nato pa kar po strugi potoka podala na njegov dom v Mojstrani. Naslednji dan sem se iz Mojstrane z vlakom odpeljal v Ljubljano in nato v soboto domov v Novo mesto. Ker je bil ravno pust in so moji prijatelji igrali na zabavi, sem pograbil saksofon, ki je bil z mano na Kredarici, in se jim pridružil.

Večina ljudi še vedno enači poklic meteorologa z napovedovanjem vremena.

Po vrnitvi s Kredarice sem delal kot sinoptik pri analizi kart in pripravi meteoroloških napovedih do decembra 1960. Ker sem se tedaj ukvarjal tudi s študijem klarineta in igranjem, sem pogosto iskal zamenjavo za službo ob nedeljah. Takrat mi je pogosto pomagal z zamenjavo pokojni Mirko Kovač, ki je tedaj prav tako kot jaz delal v sinoptiki.

V tem obdobju si kot nekateri drugi kolegi gostoval na Institut für Meteorologie und Geophysik der Freien Universität Berlin. Od januarja do marca 1959 si tam analiziral višinske in cirkumpolarne karte mezosfere, predvsem 100 mb karte. Kmalu nato pa se je odprla nova karierna priložnost.

V času bivanja v Berlinu (Freie Universität of Berlin) sem delal pri prof. Scherhagu.

Leta 1960 je bilo na tedanji fakulteti za agronomijo in gozdarstvo razpisano mesto asistenta za meteorologijo na Katedri za pedologijo. To je takrat vodil prof. dr. Bogdan Vovk, tudi matičar fakultete, ki je zelo jasno opredeljeval vlogo podnebja pri kmetijski proizvodnji.

Prijavil sem se nanj, saj so me je že v mladosti

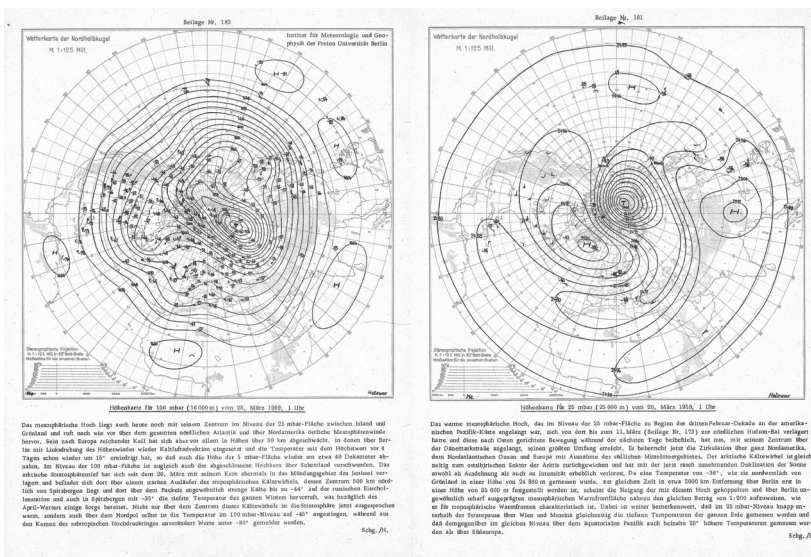


Še vedno imam rad živali. Na sprehodu s trinajst let staro koker španjelko Nono, ki je ime dobila, ker se je skotila kot deveti mladiček.

zanimale rastline in živali. Kot otrok sem se ukvarjal s kokošmi štajerske pasme, angorskimi zajci in različnimi pasmami golobov, kar pravzaprav tudi vse sodi v širše področje agronomije.

Če se spomnim svojih študentskih let, sta s prof. Petkovškom delala v sosednjih sobah in pomagal si vzgajati številne generacije meteorologov.

Ker na tedanji fakulteti ni bilo prostora, stisnjena je bila v stavbo na Krekovem trgu, mi je prof. Bogdan Vovk, tedanji predstojnik Katedre za tla in prehrano rastlin, v katero so me sistemizirali, dejal, naj delam



Cirkumpolarne karta 100 mb (levo) in 25 mb (desno) ploskve, 25. marec 1959 ob 1.00 po srednjeevropskem času.

kar doma. Ker je tedaj prijatelj Zdravko Petkovšek že delal kot asistent za meteorologijo pri prof. dr. Oskarju Reji na Prirodoslovno matematični fakulteti, me je povabil, naj se mu pridružim v predavalnici na Vegovi.

Že naslednje leto je bila zgrajena nova stavba na Aškerčevi, namenjena je bila Prirodoslovno matematični fakulteti (kasneje preimenovana v Filozofsko fakulteto). V tej stavbi je meteorologija dobila dve sobi in predavalnico. Eno sobo mi je Zdravko Petkovšek odstopil. V njej sem ostal do leta 1977, ko je bila zgrajena nova Biotehniška fakulteta pod Rožnikom. Sicer pa sem sodeloval tudi v študijskem procesu študija meteorologije. Predaval sem fizikalno meteorologijo in klimatologijo.

Glede na maloštevilnost diplomiranih meteorologov in študentov je bilo sodelovanje nujno. Tako smo sodelovali vsi tisti na Hidrometeorološkem zavodu, kot tudi midva s Zdravkom Petkovškom na fakultetah. Družila sta nas interes in tudi prijateljstvo. Z Bojanom Paradižem sva bila s krajšimi prekinitvami sošolca od vrtca v Kočevju dalje! Z Zdravkom Petkovškom pa sošolca od jadrlnih šol v času gimnazije dalje.

Na začetku je bilo pogosto težko in potrebne je bilo veliko inovativnosti in prilagodljivosti. Je bil to začetek agrometeorološke znanosti v Sloveniji?

Agrometeorologija se ni začela šele z mojim prihodom na fakulteto. Predmet meteorologija je bil v učnem programu že od ustanovitve fakultete leta 1947. Predmet je takrat predaval dr. Vital Manohin kot honorarni predavatelj. Tudi na Hidrometeorološkem zavodu Slovenije je že bil oddelek, ki ga je vodila ga. Vera Malovrh. Iz tistih časov po drugi svetovni vojni so po mojem spominu po vzoru Nemčije nastali fenološki vrtovi v Jugoslaviji in tako tudi v Sloveniji.

Kaj pa strokovna literatura, je bila takrat težko dosegljiva?

Tako kot na moji matični fakulteti, ki je večkrat spreminjala ime do končnega Biotehniška fakulteta, tudi na katedri za meteorologijo ni bilo literature z ožjega področja agrometeorologije. S težavo sem prišel do priznane knjige R. Geigerja »Das Klima der Bodennahen Luftschicht« in nato še drugih. Do knjig iz inozemstva je bilo takrat kar težko priti. Eno od temeljnih del, ki sem ga potem uporabljal pri pripravi predavanj, je bilo delo J. L. Monteitha »Principles of Environmental Physics«, ki je do leta 2013 doživelo že štiri izdaje.

Za pomoč študentom sem pripravil prvi učbenik Agrometeorologija – osnove, ki je izšel na fakulteti leta 1971 (192 strani). Nekaj let kasneje sva z Zdravkom Petkovškom izdala učbenik »Meteorologija – osnove

in nekatere aplikacije», ki je prvič izšel leta 1977 in doživel še tri ponatise v letih 1984 in leta 1995.

Pomemben pečat pa si pustil tudi v tedanjem Društvu meteorologov Slovenije.

Glede na maloštevilnost diplomiranih meteorologov smo se menjavali tudi v vodstvu tedanjega Društva meteorologov Slovenije in pri urednikovanju »Razprave – Papers«, ki jih je društvo začelo izdajati 1957. Že takrat, leta 1957, je društvo organiziralo posvet »Meteorologija in gospodarstvo«, ki so se ga udeležili številni meteorologi iz tedanje države Jugoslavije. Prispevki s tega posveta so objavljeni v reviji »Razprave – Papers«, predhodnici današnje »Vetrnice«.

V prva leta službovanja na katedri sodi tudi gostovanje na Meteorologiska Institutionen VID. Kung. Universitetet Uppsala, Sweden v akademskem letu 1962.

V času bivanja v Uppsali na Švedskem sem pri prof. G. Liljequistu poslušal predavanja iz teoretične in arktične meteorologije. Imel sem predavanje o burji na Krasu, obiskal pa sem tudi institucije, ki se ukvarjajo s proučevanjem severnega sija. Spoznal sem tudi svetovno znanega prof. Bergerona, ki je stanoval v univerzitetnem kampusu.

Doktoriral si na Prirodoslovno matematični fakulteti Univerze v Beogradu leta 1965 pri mentorju prof. dr. Marjanu Čadežu. V akademskem letu 1967/68 si bil gostujoči profesor na Pennstate University, Department of Horticulture and Department of Meteorology. Tam si se ukvarjal z raziskavami jezer hladnega zraka in vetrovnih profilov v rastlinski odeji. Kot ekspert Svetovne banke si od avgusta do oktobra 1983 sodeloval v projektu EMBRAPA (Brazilian Research Scientific Institution) pri raziskavah pridobivanja energije iz nasadov evkaliptusa. Kako pa je potekalo sodelovanje s Hidrometeorološkim zavodom?

Tudi s Hidrometeorološkim zavodom sem dobro sodeloval. Tam so pomagali s posebnimi opazovanji temperature tal (Tla pokrita s travo – gola tla) in merjenji sočnega obsevanja z Belanijevimi piranometri, ki sem jih zastavil. Zadnje sva skupaj z J. Rakovcem obdelala za primer tal pokritih z snežno odejo in brez nje.

Ko sem uspel na natečaju dobiti sredstva za projekt Analiza sončnega obsevanja v Sloveniji, smo pri njegovi izvedbi združili vse meteorologe v Sloveniji, Katedro za meteorologijo, Katedro za agrometeorologijo in Hidrometeorološki zavod



Slovenije. Delo je bilo končano v letu dni. Poročilo o delu je bilo prikazano v zajetni dokumentaciji 495-ih strani leta 1980. Krajši povzetek tega dela pa je izšel tudi v Zborniku Biotehniške fakultete leta 1982 kot supplement 6 (96 strani).

Za delo na področju agrometeorologije si prejel številne nagrade, če naštejemo le nekatere: dvakrat nagrada Sklada Borisa Kidriča, prvič za leto 1978 skupaj z J. Rakovcem, drugič za leto 1988 skupaj z L. Kajfež-Bogataj. Jesenkovo priznanje Biotehniške fakultete za leto 1996, med tujimi naj omenim julija 1996 The international Who is Who of Intellectuals Certificate of Inclusion International Biographical Centre of Cambridge, England, oktobra 1996 Illuminate Diploma of Honour, istega leta tudi The American Biographical Institute, honorary appointment to Research Board of Advisors. Ti je katera izmed naštetih nagrad ostala v posebej lepem spominu?

Seveda sem bil vesel nagrad, a bolj kot nagrade mi je bilo pomembno sodelovanje in dobri medsebojni odnosi.

Kaj pa šteješ za svoj največji pedagoški dosežek?

V letu 1988 smo razpisali magistrski študij agrometeorologije za diplomante s področja meteorologije in agronomije. Končali so ga trije študentje: Zalika Črepinšek, Damijana Kastelec in Andrej Ilič-Šegula.

Za magistrski študij je bil pripravljen tudi študijski material: Hočevar A., L. Kajfež- Bogataj; Posebna poglavja iz ekologije 1995 (57 str.), BF, in Hočevar A., L. Kajfež- Bogataj: Posebna poglavja iz biometeorologije, 1996 (86 str.), BF ter Kajfež-Bogataj L., A. Hočevar: Izbrana poglavja iz biometeorologije, 1997 (133 str.).

O razvoju agrometeorologije v Sloveniji je bilo že nekaj člankov. Bi katerega izpostavil?

O razvoju agrometeorologije je že bilo nekaj napisano v članku: Razvoj agrometeorologije kot samostojne vede na Biotehniški fakulteti, leta 2004, v publikaciji "Pol stoletja Slovenskega meteorološkega društva". Bolj podrobno pa v članku Razvoj agrometeorologije kot samostojne vede na Biotehniški fakulteti (Od ustanovitve Agronomske fakultete Univerze v Ljubljani 1947 do leta 2004) Acta agriculturae Slovenica, ISSN 1581-9175 tiskana izdaja. (261-272)

Še več informaciji o delu agrometeorologov nekdanjih A. Hočevar in sedanjih L. Kajfež Bogataj, Z. Črepinšek,

T. Pogačar na Biotehniški fakulteti pa najdete v Cobbisu.

Področje dela se je razširilo tudi na aktualne teme, kot so podnebne spremembe, pri katerih je potrebno poudariti časovno skalo, vročinski valovi in še kaj.

Vrniva se k mednarodnemu sodelovanju, ki je morda manj poznano širšemu krogu kolegov. Pa začniva kar s kongresom, ki se ga še danes radi spominjajo številni biometeorologi širom sveta.

Od leta 1968 sem aktivno deloval v International Biometeorological Society. Prvo predavanje v okviru tega društva sem imel leta 1969 na kongresu v Montreux v Švici. Pripravil sem ga skupaj s prof. A. K. Blackadarjem, pri katerem sem delal v Department of Meteorology v študijskem letu 1967/68. Predavanje je obravnavalo profile v rastlinski odeji. V istem obdobju sem polovično delal na Oddelku za hortikulturo. Tam sem se ukvarjal z jezeri hladnega zraka v Pennsilvaniji. Članek o tem je bil objavljen v reviji Agricultural meteorology in je bil pogosto citiran.

Na tem kongresu sem se seznanil tudi z vrhunskimi učitelji mojega širšega področja, kot sta E. W. Reifsnnyder in P. B. Waggoner, s katerima sem obdržal stike.

Krona sodelovanja je bil 14. Svetovni kongres društva International Biometeorological Society v Ljubljani septembra 1996. Predlog za organizacijo tega kongresa v Ljubljani je bil sprejet na 13. kongresu v Calgaryju v Kanadi, podprli so ga predvsem nemški člani P. Hoeppe, H. Lieth in drugi.

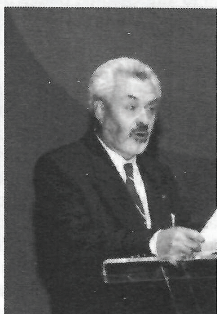
Tako je leta 1996 Svetovni kongres Mednarodnega biometeorološkega društva potekal v Cankarjevem domu. Kongres, katerega prispevke smo objavili v celoti, je dobro uspel tudi v družabnem smislu. Zaključek kongresa se je odvijal v Križankah kjer je mojster Jezeršek pekel palačinke. Nekateri udeleženci so se preizkusili pri tem poslu, med njimi tudi vabljeni



Med svečano večerjo na kongresu mednarodnega biometeorološkega društva v Monterexu. Skrajno levo Reifsnnyder, nato Waggoner s soprogo, desno Andrej Hočevar

Proceedings of 14th International Congress of Biometeorology
1-8 September 1996, Ljubljana, Slovenia

BIOMETEOROLOGY AS A SCIENCE OF HOLISTIC APPROACH TO PROBLEMS OF LIFE BASED ON NATURAL SCIENCES



Andrej Hočevar
Chairman of the Organizing Committee
University of Ljubljana, Center of Biometeorology

Med pozdravnim nagovorom na biometeorološkem kongresu leta 1996 v Ljubljani.

predavatelj J. L. Monteith. Vreme nas je ubogalo. Kratka ploha dežja je opozorila udeležence nanj, pa so že pritekla dekleta v narodnih nošah z dežniki. Nekateri udeleženci so mi z veseljem pisali o tem. Še zanimivost: prof. J. L. Monteith, eden od vabljenih predavateljev na kongresu, je omenil, da je iz protesta proti politiki tedanje predsednice vlade Združenega kraljestva Thatcherjevi, ki je radikalno omejevala sredstva za raziskave, zapustil Združeno kraljestvo in odšel nadaljevati svoje raziskovalno delo v Indijo, od koder je prišel na naš kongres.

Na kongresu v Ljubljani sem bil leta 1996 izvoljen za podpredsednika Mednarodnega biometeorološkega društva.

Kaj pa druge mednarodne organizacije?

Od leta 1980 sem sodeloval z IUFRO (International Union Forest Research Organisation) z organizacijo delavnic, predavanji na kongresih in vodenjem delovnih skupin.

Sodeloval sem s FAO Skupino Headwater Control v letih od 1982 do 2017, ki jo vodi J. Kreček. Vabljen sem bil na sestanke delovne skupine, zadnje predavanje sem imel v Pragi leta 2017.

Omenim naj še sodelovanje z uredniki strokovnih revij z področja agrometeorologije, kot je na primer W. E. Reifsnyder.

V letih 1997–1998 si bil znanstveni sekretar COST (Cooperation in Science and Technology) tehničnega

komiteja (Meteorologija), kjer si koordiniral 20 meteoroloških projektov v Evropi.

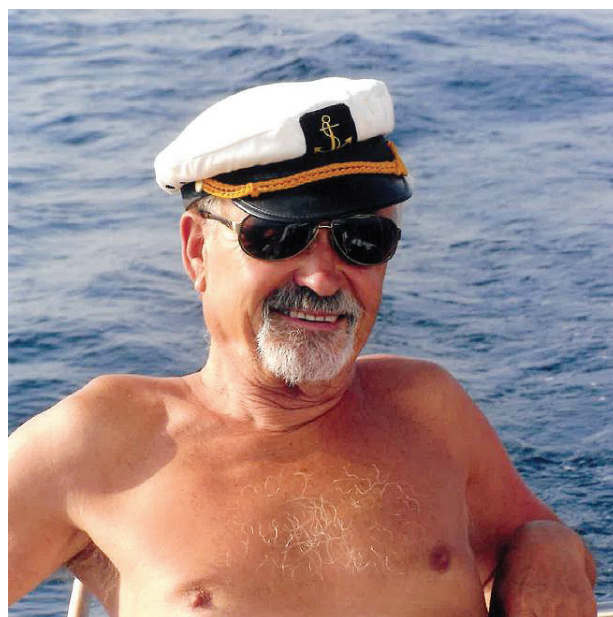
Jeseni leta 1996 sem se prijavil na razpisano mesto Scientific secretary of COST Meteorology. Motiv je bil preprost: spoznati čim bolj podrobno raziskovalno delo na širšem področju meteorologije v Evropi. Sprejet sem bil na to delovno mesto, kjer sem koordiniral delo 20 meteoroloških projektov, ki so pokrivali najrazličnejša področja meteorologije. V okviru teh projektov sem se podrobneje seznanil z raziskavami, ki so tedaj potekale v številnih državah Evrope. Ob tem delu in potovanjih v Bruselj in domov v Ljubljano sem spoznal, da se staram in mi ostaja vse manj časa za moja velika hobija smučanje in jadranje. Sebično sem se odločil in predčasno zapustil službo v Bruslju. Po prihodu domov sem se po 43 letih službe februarja 1999 upokojil.

V COST projektu Meteorological applications for agriculture sem še vedno sodeloval. V okviru tega projekta sva skupaj z I. Thysonom izdala publikacijo Online agrometeorological applications with decision support on the frame level v letu 2004 (123 str).

Kakšni občutki te prevevajo, ko se ozreš nazaj na svoj strokovni razvoj?

Ob pogledu nazaj na moje strokovno delo in življenje sem lahko zadovoljen. Od začetka sam, brez prostora, brez literature se danes lahko s ponosom ozrem na opravljeno delo.

Najprej na dva velika projekta kot sta Sončno obsevanje v Sloveniji v okviru Raziskovalne skupnosti Slovenije leta 1980 in na zasnovo projekta v Braziliji,



Jadranje po Jadranu me je zmeraj sproščalo.



ki na žalost (menjava vlade) po pripravi v letu 1983 ni bil izpeljan v letu 1984.

Ob sklepu mojega profesionalnega dela na Hidrometeorološkem zavodu Slovenije v letih 1954 do 1960 in dela na sedanji Biotehniški fakulteti od decembra 1960 do februarja 1999 se s ponosom oziram na opravljeno delo. Najbolj sem ponosen, da je ekipa, ki me je nasledila tako uspešna in tako številna. Tu sem še posebej ponosen na mojo naslednico Lučko Kajfež-Bogataj, ki je dosegla mednarodne uspehe na področju podnebnih sprememb, pa tudi v slovenskem družbenem okolju. Ne smem pozabiti Zališe Črepinšek, ki mi je pomagala pri publikaciji Materiala 14. Mednarodnega kongresa International Biometeorological Society in se ukvarja zlasti s fenološkimi raziskavami. Na področju agrometeorologije je nekaj časa sodelovala tudi Damijana Kastelec, ki sedaj deluje na sorodnem področju dela. Na koncu naj omenim še Tjašo Pogačar, najmlajšo doktorico na področju agrometeorologije, ki se trenutno ukvarja z vročinskimi valovi.

Kaj pa tuji poklicni kolegi in prijatelji?

Leta 2010 sem si privoščil potovanje na Havaje, kjer sem obiskal tudi slaven otok Mouna Loa, kjer že dolgo opravljajo meritve ogljikovega dioksida. Tam sem bil s svojimi ameriško-slovenskimi prijatelji. Gospa Erika je bila moja sošolka v vrtcu v Kočevju v letih pred drugo svetovno vojno. Ker je bil njen mož Slovenec Jože Paternost na isti univerzi kot jaz - Pennstate University, učil je ruščino - so se naše poti tam slučajno srečale.

Na potovanju na Havaje sva z ženo nekaj časa prebila pri njih. Z njihovo pomočjo smo našli tudi nov dom gospe in gospoda Blackadar v upokojenski vasi Penn State univerze. Na obisku pri njih smo leta 2010 obujali spomine na lepe skupne čase v obdobju 1967/68, pred štiridesetimi leti.

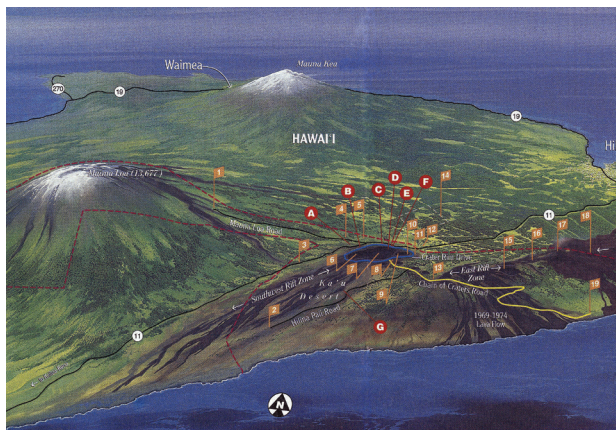


Rektorat Penn State University, kjer sem kot Fullbrightov štipendist - visiting professor - delal na dveh oddelkih v študijskem letu 1967/68.

Kako vidiš razvoj agrometeorologije v prihodnje?

Kaj naj rečem glede perspektive v prihodnosti? Le bežno spremljam sodoben razvoj agrometeorologije kot stroke. Izziv predstavljajo velike spremembe vremena, in njihove posledice, poplave, izbruhi rastlinskih bolezni, suše, lubadarji v gozdovih. Reševanje teh problemov je možno le v prilagajanju novim razmeram, tako s strani oblikovanja ustreznih mikroklim, kot tudi izbiri tem razmeram bolj prilagojenih rastlinskih vrst. Tudi novi tehnološki pristopi gojenja rastlin niso za odmet, kot so kombinacije posevkov z vrstami živih mej in podobno. Ob tem ne smemo pozabiti pesimističnih dejstev, ki se pišejo kmetijstvu kot stroki: nenehno zmanjševanje kmetijskih površin, zmanjševanje samooskrbe s hrano v Sloveniji. Vse to vpliva tudi na agrometeorologijo kot stroko, čeprav bo morda prav znanje s tega področja lahko vplivalo na ublažitev omenjenega pesimističnega pogleda.

Nam za zaključek zaupaš, kakšno svojo življenjsko modrost ali vodilo?



Obiskal sem observatorij Mouna Loa, kjer že vrsto let izvajajo meritve ogljikovega dioksida v ozračju. Na zgornji sliki levo je Vulkanski park na otoku Hawai'i z ugaslim vulkanom Mauina Loa. Na sliki desno pa je pokrajina v okolici vulkana.

V tem svojem dolgem življenju sem se držal nekaterih vodil, ki so mi pomagala, da sem previharil skozi različne dobre pa tudi slabe čase. Življenje je preprosto, če skušaš razumeti druge in na svoje življenje gledati skozi tuje oči.

Moje glavno vodilo, ki sem se ga skušal držati za vsako ceno pa je bilo spodbujati hotenja drugih in jih podpirati za vsako ceno. Le tako je mogoče graditi napredek stroke. Pri tem sem skušal slediti svojemu notranjemu glasu in biti zlasti sam s seboj v skladnosti in ravnovesju pri razmišljanju in dejanjih ter biti v skladu s čudovito naravo, ki nas obdaja, še posebej tisto pravo, neokrnjeno.

Prav to zadnje se mi zdi najpomembnejše: biti uravnovešen sam s sabo daje psihično in s tem tudi fizično zdravje, ki se kaže tudi v tem, da sem še tu, in se me še kdo spominja: na primer leta 2014 mi je Daniel Gustafson, Deputy director (operation) FAO napisal: »I have been wondering how your work has evolved since then (Bivanje v Braziliji 1983), on energy as a unit of analysis to look at costs and benefits in a new way. The topic looked to be on the cutting edge in those days and I am certain that it has remained very timely, with the rest of the world catching up to you!« Prof. J. Kreček mi je pravkar poslal vabilo na srečanje delovne skupine FAO v Pragi februarja 2020. Prijeten je občutek, da se me sodelavci še spominjajo in vabijo k sodelovanju.

Intervju: Dušan Hrček

Svetovna meteorološka organizacija (SMO) je nepogrešljiva za zagotavljanje učinkovitega sodelovanja in delovanja državnih meteoroloških služb. V svetu ima vodilno vlogo v mednarodnem povezovanju in sodelovanju na področju vremena, podnebja, hidrologije in vodnih virov ter povezanih okoljskih vprašanj. S tem prispeva k varnosti in blaginji ljudi po vsem svetu ter h gospodarski koristi vseh narodov. Konvencija o SMO je začela veljati 23. marca 1950, 30 dni po dnevu, ko so države, ki so želele postati članice nove organizacije, njeno ustanovno listino ratificirale in deponirale. SMO je specializirana agencija Združenih narodov (ZN), katere članstvo sestavlja 193 držav in teritorijev. Je naslednica Mednarodne meteorološke organizacije (IMO), ki je bila ustanovljena leta 1873 z namenom olajšati izmenjavo informacij o vremenskih razmerah preko državnih meja.

Junija 2019 je 18. kongres SMO potrdil reorganizacijo strokovnih komisij, kar je največja reorganizacija znotraj SMO od ustanovitve. Iz osmih strokovnih komisij sta se oblikovali le dve, prva za infrastrukturo in druga za storitve. Izpostaviti je potrebno, da so člani strokovnih komisij prostovoljci iz držav članic SMO in za svoje prispevke pri pripravi strokovnih gradiv niso posebej plačani. Pandemija virusa Covid-19 v letu 2020 je proces kadrovske zasedbe obeh novih komisij nekoliko upočasnila.

Edini slovenski meteorolog, ki je bil doslej zaposlen na sedežu SMO, je Dušan Hrček. Prosila sem ga, da z nami deli nekaj vtisov in izkušenj iz svoje bogate strokovne kariere. Izkušnje iz preteklosti nam pomagajo, da se lažje soočamo s sedanji izzivi, omogočajo pa tudi boljše razumevanje razvoja in trendov.

S članom našega društva je intervju opravila mag. Tanja Cegnar. Fotografije so iz osebnega arhiva Dušana Hrčka.

Že od vsega začetka te je kot meteorologa zanimalo okolje. Kaj te je pritegnilo v to področje delovanja?

Z izzivi onesnaženosti zraka sem se seznanil med študijem pri prof. Petkovšku. Leta 1969 sem začel pripravništvo na Hidrometeorološkem zavodu (HMZ) pri Bojanu Paradižu, ki je oral ledino na tem področju. Uspešno skupinsko delo pod njegovim vodstvom

je bilo podlaga za zmanjševanje onesnaženosti. Epizod onesnaženosti zraka s povečano smrtnostjo je bilo vse manj. Ko se je Paradiž leta 1983 odločil za raziskovalno kariero na Elektrolinstitutu Milan Vidmar (EIMV), sem prevzel vodenje Republiške službe za varstvo zraka (RSVZ). Leta 1985 smo uspeli s predlogom, da republiški petletni plan začrta postavitev čistilnih naprav za SO₂ v



T. Zupančič, A. Kranjc, D. Hrček in B. Paradiž v družbi udeleženk posveta na Ohridu leta 1977

termoelektrarnah in kasneje je bil načrt uresničen. Postavili smo hipotezo, da onesnaženost zraka vpliva na nadpovprečno pogostost zdravstvenih težav pri dojenčkih v Trbovljah. Pripravili smo strokovne podlage za občinski sanacijski program za varstvo zraka, in ko je bil le-ta uresničen, je bil problem z dojenčki rešen. Podrobnosti delovanja RSVZ so opisane v Vetrnici 07/14.

Pomembno si prispeval k prenašanju tujih izkušenj in znanja v naše okolje. Lahko izpostaviš nekaj mejnikov?

Leta 1992 sem na povabilo univerze v Iowi nekaj mesecev delal v ZDA na področju okoljskega zdravja. Pridobil sem koristne izkušnje in znanja, ki sem jih uporabljal tudi pri poučevanju predmeta »Zrak in onesnaženost« v programu sanitarnega inženirstva Zdravstvene fakultete Univerze v Ljubljani (UL). S predstavniki univerze Iowe sem obiskal senatorja Toma Harkina, po materi slovenskega rodu. Uspel je zagotoviti 5 mio. USD za delovanje centra za okoljsko zdravje v srednji Evropi, ki bi naj predvidoma imel sedež v Ljubljani. Na Ministrstvu za okolje in prostor (MOP) ni bilo politične podpore, zato je center dobila



Senator Harkin, D. Hrček in prof. dr. B. Kross leta 1992 v Washingtonu



Nepozaben je spomin na sodelovanje Luisom Lichtom, leta 2010 se je fotografiral pri topolu na smetišču Barje, ki ga je zasadil leta 1993.

Slovaška. Okoljsko zdravje je v Sloveniji še danes podcenjen problem.

Uspel pa sem s projektom ekoremediacije deponije odpadkov na Barju z zasaditvijo 30 000 moških topolov, ki ga je podprlo mesto Ljubljana. Projekt je vodil avtor ideje dr. Luis Licht iz Iowe. Na MOP-u tudi kasneje ni bilo interesa za ta stroškovno učinkovit in sonaraven način sanacije onesnaženih zemljišč.

Leta 1993 si postal direktor Hidrometeorološkega zavoda. Kakšno je bila takrat tvoja vizija državne hidrometeorološke službe?

Z imenovanjem za direktorja HMZ leta 1993 sem postal tudi stalni predstavnik Slovenije pri Svetovni meteorološki organizaciji (SMO). Ministru me je predlagal direktor Janko Pristov, ki se je upokojil.

Po zgledu iz ZDA sem najprej omejil kajenje v delovnih prostorih. Uredil sem, da so se naši meteorologi vrnili na TV zaslone. Moja vizija je bila visoko strokovna, mednarodno povezana služba za potrebe državljanov, države in gospodarstva. Vse skupaj je bilo tesno povezano z osamosvojitvijo Slovenije, saj smo začeli delovati kot državna služba. Nove države so imele možnost dobiti misije strokovnjakov SMO za posamezna področja. Na ta način smo dobili koristne napotke, zlasti za hidrologijo in letalsko meteorologijo. Vpeljali smo letna poročila in mesečni bilten ter vzpostavili državne zbirke okoljskih podatkov, vključno s podatki državnega monitoringa partnerskih organizacij. Podpiral sem dodatna izobraževanja naših strokovnjakov doma in v tujini. Nekateri so kmalu postali mednarodno prepoznavni in najboljši so pozneje dobili mednarodne nagrade. Višja kakovost je odprla vrata za tesnejše sodelovanje z mnogimi državnimi institucijami, univerzo, raziskovalnimi inštituti in gospodarstvom.



J. Pristov, T. Mohr (direktor DVD), M. Trontelj in D. Hrček leta 1992

S povezavami v tujini si odločilno prispeval tudi k razvoju in mednarodnemu uveljavljanju slovenske agrometeorologije ter k pospešenemu vključevanju v pomembne mednarodne organizacije.

Leta 1997 sem se srečal z Albertom Peterlinom, glavnim meteorologom ministrstva za kmetijstvo ZDA, ki je bil takrat predsednik rodoslovnega društva ameriških Slovencev. S podporo ZDA in SMO sva nato organizirala agrometeorološko izobraževanje za JV Evropo v Ljubljani. Na kongresu SMO (leta 1999) so Slovenijo izbrali za organizacijo zasedanja Komisije za agrometeorologijo SMO (CAGM-XIII, 2002), ki je bilo sploh prvo zasedanje v okviru Organizacije združenih narodov (OZN) pri nas, na katero so povabljene vse države sveta. Minister za okolje je nameraval v času, ko so bile priprave že pri koncu, zasedanje v Cankarjevem domu samovoljno odpovedati. Preko zveze na ministrstvu za kmetijstvo v Washingtonu sem zagotovil donacijo in minister se je premislil. Vključili smo se v evropske povezave (ECMWF, EUMETSAT, Aladin, Donavska konvencija) in okrepili mednarodno sodelovanje na drugih področjih. Novi tehnološki izzivi in zagotavljanje kakovosti je terjalo tesno sodelovanje v vodstvu zavoda in dodaten denar (EU-PHARE). Miran Trontelj, Marko Jurgele, Martina Zupan, Silvo Žlebir, naj naštajem nekatere, so bili izvrstni povezovalci. Po povratku iz tujine se je priključil še Jožef Roškar.

Spomnim se, da si izpostavljaj pomen upravljanja s človeškimi viri. Kako pomemben je vidik motivacije delavcev za uspeh organizacije?

Gotovo je to ena najpomembnejših nalog vodje. Pri več kot 200 zaposlenih so bili moja skrb najbolj perspektivni in tisti s hudimi osebnimi težavami, kot so alkoholiki. Prednost večjega kolektiva je, da se z nekaj truda za vsakogar najde delo, primerno njegovim sposobnostim. Tistih, ki opravljajo delo, ki jih ne veseli, se pač ne da motivirati. Spomnim se vprašanja J. F. Gelyna, šefa Aladina, kako je mogoče, da le Slovenci ne potrebujejo uvajanja, ko pridejo

prvič. delat v Toulouse. Šele kasneje, ko sem sam delal v mednarodnem prostoru, sem spoznal, da je človeški potencial naša velika prednost, a marsikje slabo izkoriščena.

Hidrometeorološki zavod je bil začetnik dejavnosti na področju podnebnih sprememb. Kako se je začelo?

Prve informacije o podnebnih spremembah je Bojan Paradiž prinesel iz Nemčije v začetku 70-tih let. Med blaženjem posledic podnebnih sprememb in zmanjševanjem onesnaževanja zraka je veliko vzporednic. Pozimi 1977 sem v ZDA zastopal Jugoslavijo na posvetovanju Svetovne meteorološke organizacije o novih izzivih, kot sta onesnaževanje zraka na velike razdalje in globalno segrevanje. Po vrnitvi sem imel predavanje o globalnem segrevanju v društvu meteorologov. V 80-ih letih sem se vzporedno ukvarjal še z ozonsko luknjo in kislim dežjem.

Maja 1992 je bila podnebna konferenca v Riu. Minister Miha Jazbinšek me je zadolžil za pripravo izhodišča državne delegacije, kar je v nadaljevanju pomenilo zahtevno zadolžitev HMZ. Dela smo se lotili projektno, za denar smo poskrbeli iz okoljskega sklada (GEF) Svetovne banke. Koordinator je bil Andrej Kranjc. Vodil je tudi vključevanje naših strokovnjakov v delo Medvladnega odbora za podnebne spremembe (IPCC). Za pripravo prvega poročila v smislu konvencije je bil zadolžen Boštjan Paradiž. Od leta 1992 sem zastopal Slovenijo pri delu v okviru Konvencije o čezmejnem onesnaževanju na velike razdalje (CLRTAP), kjer sem bil v pogajalski skupini zadolžen za vzhodno Evropo. Izkušnje iz CLRTAP so bile zelo dobrodošle pri podnebnih pogajanjih. Na prvem takem srečanju (COP1 - 1995) v Berlinu je Slovenija koordinirala delovanje držav srednje Evrope. Vsako jutro v času pogajanj sva imela s Kranjcem najprej sestanek z nemško ministrico za okolje Angelo Merkel. Tudi v Kjotu (1997) sem bil namestnik vodje delegacije, vodja je bil minister.



Borštnik, senator Harkin, D. Hrček in A. Kranjc



Tedanji generalni sekretar prof. Obasi je obiskal Slovenijo, kaj je bil namen in rezultat njegovega obiska?

Šele na prelomu tisočletja je okoljsko ministrstvo le prevzelo večino aktivnosti glede podnebnih sprememb, saj je šlo za politiko in ne za stroko. Po otvoritvi postaje GAW na Iskrbi, leta 1996, je generalni sekretar SMO prof. Obasi obiskal predsednika vlade dr. Drnovška in ga prepričal, da je za uspešno soočanje s podnebnimi spremembami nujna koordinacija na vladni ravni. Ustanovljen je bil klimatski komite, ki pa ni imel nobene moči. Dobro desetletje kasneje ustanovljena podnebna vladna služba spet ni imela prave politične podpore. V času gospodarske krize, ko je politika vlekla vrsto nespametnih potez, so službo ukinili.



Z generalnim sekretarjem SMO G. O. P. Obasijem in ministrom P. Gantarjem.

Kot prvi in doslej tudi edini Slovenec si delal na sedežu SMO. Katere reference so za tako delo potrebne?

Sekretariat SMO, ki je specializirana agencija v sistemu OZN, skrbi za izvajanje nalog, ki jih države članice potrdijo na kongresu. Na spletni strani SMO so razpisana prosta delovna mesta, vključno z opisom nalog. Kandidat mora s prijavo in v razgovoru, če je nanj povabljen, prepričati o svoji usposobljenosti. Pogosto so kandidati v zmoti, ko v prijavi navajajo vse mogoče, ne pa referenc za razpisane naloge. Potrebno je znanje angleščine in francoščine. Znanje dodatnega svetovnega jezika je prednost, kakor tudi če je kandidat že uveljavljen v delovanju SMO in če prihaja iz države, ki nima zaposlenega v sekretariatu. Majhna država ima lahko največ enega. Ponudbo za zaposlitev je možno dobiti tudi za delo na projektih, ki so financirani iz donacij. Ker sem se precej ukvarjal s pobudo za ustanovitev urada SMO za Evropo, so mi leta 2002 ponudili vodenje projekta za ta namen. Po dveh letih je bil urad ustanovljen in uspel sem na razpisu za vodjo. Verjetno je pomagalo, da sem bil



D. Hrček sopredsedujoči sestanka direktorjev hidrometeoroloških zavodov za ustanovitev urada WMO za Evropo, Dunaj, 2001.

pred odhodom v Ženevo podpredsednik izvršnega telesa CLRTAP in predsednik sveta RC LACE (Aladin). Kot vodja urada sem postal predstavnik SMO za Evropo in napredoval v najvišji strokovni rang (P5) z diplomatskim statusom.

SMO ima bogato izročilo, zato delo poteka utečeno. Glede pomembnosti so zgovorna področja dela v preambuli konvencije SMO: poslanstvo glede varovanja življenj in premoženja ter varovanja okolja, prispevanje k trajnostnemu razvoju, usklajevanje opazovanj in zbiranja podatkov ter krepitev nacionalnih zmogljivosti in mednarodnega sodelovanja. Pri tem je pomembno načelo, da vsaka država prispeva svoje informacije za mednarodno izmenjavo in na enak način dobi vse, kar prispevajo druge države. To brez ustrezne standardizacije ne gre.

Kako je v tistem času delovala SMO, zakaj je pomembna za države v razvoju in za Evropo?

Ko sem pričel z delom v Ženevi, je bila SMO na prelomnici. Najbolj razvite države niso bile zadovoljne s svojim vplivom v organizaciji. Ustanovile so GEO, medvladno skupino za opazovanja Zemlje. Čeprav



Generalni sekretar SMO Obasi z zaposlenimi na HMZ med obiskom v Sloveniji leta 1996

je bil mandat skupine širši, je šlo za nekakšno konkurenco. Nazadnje je sekretariat GEO pristal na sedežu SMO, kar je bilo dobro za obe strani.

Kateri so bili tvoji najvidnejši prispevki v času službovanja v Ženevi?

Delovanje SMO usmerjajo strateški načrti, dopolnjeni vsake štiri leta na kongresu. Pogrešal sem podroben načrt za vsako regijo (kontinent) na osnovi splošnih usmeritev. Moj predlog v to smer je podprl predsednik evropske regije. Zagotovili smo financiranje iz donacij in regijska konferenca leta 2005 je sprejela sklep o pripravi strateškega načrta za Evropo. V praksi so se nato uveljavili regijski akcijski načrti. Na tej konferenci smo prvič uporabili metodo »brain storming«, s sprotnim zapisom koristnih idej na zaslon. Za ta namen sem poiskal v državah članicah spretnega in v več ozirih podkovanega pomočnika.

Na kongresih je bilo čutiti, da nekateri stalni predstavniki niso bili dovolj pripravljeni za razpravo, saj so delovali brez pravega svetovalca. To ni bilo dobro za delovanje SMO. Moj predlog za ustanovitev mreže mednarodnih svetovalcev direktorjev HM služb v Evropi je bil sprejet. Število mednarodnih svetovalcev je poraslo, kar je bil povod za nastanek globalne mreže. Večinoma ni šlo za nova delovna mesta, ampak so to delo opravljali ljudje s smislom za mednarodno sodelovanje in ga kljub povečani obremenitvi z veseljem opravljali.

SMO regija VI je večja od geografsko opredeljene Evrope, kar pomeni veliko raznolikost v standardu, političnem in tehnološkem pogledu. Je bilo težko najti skupno osnovo za povezovanje? So bili rezultati primerno vložnemu trudu?

Vodil sem misije strokovnjakov za ugotavljanje značilnosti držav v regiji in pripravo ustreznih priporočil. S srečanji direktorjev služb sosednjih držav v času misij sem pomagal vzpostaviti sodelovanja, ki jih prej sploh ni bilo: med Črno goro in Albanijo,



Na zasedanju SMO Regije VI (Evropa) v Heidelbergu 2005



Z misije v Albaniji

Albanijo in Severno Makedonijo, med Malto in Ciprom, Romunijo in Moldavijo ter Belorusijo in Litvo. Delo s skupinami držav z Balkana, Baltika in Zakavkazja je dalo dobre rezultate, kakor tudi organizacija posameznih obiskov direktorjev hidrometeoroloških služb v sekretariatu, ki je vključevalo posvetovanja s strokovnjaki za posamezna področja. Rezultat takega obiska je bila tudi združitev islandskih sorodnih služb v eno, kar je bila kasneje referenca za manjše države in tudi za naš Zakon o državni meteorološki, hidrološki, oceanografski in seizmološki službi.

Sezonske napovedi so za Evropo manj zanesljive. Ker se izboljšujejo, jih je bilo smiselno širše uporabljati. Pridobil sem donacijo Svetovne banke in leta 2008, pred upokojitvijo, organiziral prvi forum za usklajevanje napovedi za JV Evropo, kar je postalo tudi v Evropi redna praksa.

Kako je potekalo sodelovanje Slovenije s SMO v tistem času?

Sodelovanje z državami se odvija preko generalnega sekretarja. V državi je za operativne zadeve njegov sogovornik stalni predstavnik in za politične resorni minister. Pri izvedbi skupnih nalog neposredno sodelujejo strokovnjaki obeh strani, npr. po e-pošti ali telefonu. Zaposleni v sekretariatu je lahko koristen za državo, iz katere prihaja. Dal sem, na primer, pobudo, naj Slovenija kandidira za ustanovitev regionalnega centra za instrumente, in pomagal pri formuliranju kandidature. Na konferenci evropske regije (2005) je bil predlog za SMO RIC v Ljubljani sprejet. Sledila je pobuda, naj Slovenija kandidira za center za sušo za JV Evropo (DMCSEE). Kandidirale so še Madžarska, Romunija in Turčija. Slovenija je prejela namig sekretariata, naj veleposlanikom dvanajstih držav iz JV Evrope predstavi zamisel centra, kar je tudi edina storila in v drugem krogu glasovanja veleposlanikov leta 2007 gladko zmagala. S podporo Svetovne banke je stekla priprava projekta za izboljšanje napovedovanja poplav in celovito upravljanje z vodo v

porečju Save. Eden od dveh koordinatorjev je bil Jožef Roškar. Slovenija je tudi prvič prišla do pomembnejših položajev v delovnih telesih SMO.

Leta 2019 je 18. kongres SMO potrdil največjo reorganizacijo delovanja SMO doslej. Kakšen je tvoj pogled na združevanje osmih specializiranih tehničnih komisij zgolj v dve?

Pri reorganizaciji tehničnih komisij v dve krovni gre v glavnem za tradicionalna področja, le da se širi krog sodelujočih na privatni sektor. Infrastrukturno področje ostaja zelo pomembno, saj je globalni pretok informacij hrbtenica delovanja SMO. Po novem se servisna dejavnost širi na vse družbene segmente, kjer vremenske, podnebne, hidrološke in sorodne okoljske informacije lahko koristijo, medtem ko so servisi za letalstvo, pomorstvo in kmetijstvo že utečeni. Gre za učinkovitejšo pomoč gospodarstvu, tesnejše sodelovanje s Svetovno zdravstveno organizacijo (WHO) itd. Naravne nesreče, povezane z vremenom, so vse pogostejše in pravočasno opozarjanje je za ogrožene izrednega pomena. V bodoče bo enoten servis za to področje. Večji poudarek bo na pametni organizaciji, ki naj usmerja programe SMO v trajnostni razvoj, ki je po definiciji OZN (2005) pot k ravnotežju med gospodarstvom, socialo in okoljem. Pri tem je ključnega pomena opora na znanost in raziskave ter tesno sodelovanje z državnimi hidrometeorološkimi službami.

Kaj pogršaš v načrtovanih prioritetah SMO?

V preteklosti je bilo več poskusov, da bi sprte sosednje države zblížali na osnovi skupnih interesov glede rabe vode (npr. sodelovanje na porečju Save po mirovnem sporazumu v Daytonu), opozarjanja na naravne nesreče in prilagajanja podnebnim spremembam. SMO pri tem ni bila udeležena, kar je posledica neenotnega pogleda držav članic glede izzivov današnjega časa. Poglejmo primer Sirije: Večletna suša je povzročila masovno opuščanje kmetovanja, sprožila val ruralnega prebivalstva v mesta, še zaostрила politična nasprotja, kar je nazadnje vodilo v vojni kaos in begunski val proti Evropi. Pravočasna pomoč mednarodne skupnosti za ureditev celovitega upravljanja z vodo reke Evfrat in uporaba ukrepov za omilitve posledic suše bi imeli veliko preventivno vlogo. Pa ne samo v Siriji, podobne stvari se dogajajo v podsaharski Afriki in drugod po svetu. Pogršam vlogo SMO v regionalnih podnebnih projektih, ki bi delovali tudi v smislu ohranjanja miru.

Druga stvar, ki jo pogršam, je taka organiziranost SMO, ki bi imela več vzporednic z državnimi hidrometeorološkimi službami. V sekretariatu ni

operativnega dela, na primer v zvezi z naravnimi nesrečami velikega obsega. V tem smislu je zgled WHO, ki opravlja operativno delo ob obsežnih epidemijah.

Kako vidiš slovensko meteorologijo in kakšen razvoj pričakuješ v prihodnjih letih?

Pečecnik pravi, da je ARSO birokratsko leglo, ki mu ni mogoče priti do konca. Združitev HMZ in sorodnih služb v ARSO je bila za majhno državo razumna, soglašam pa z mnenjem, da ni bila posrečena. Nezdržljivost upravnega in razvojno-operativnega značaja ARSO bi lahko ublažili z vpeljavo močnih pokrajin, ki imajo naravne (vodne in podnebne) ter zgodovinske ločnice. Sedanje upravne zadeve ARSO, ki so večinoma lokalnega značaja, bi reševali v upravah pokrajin v Ljubljani, Mariboru in Kopru.

Za ARSO bi ostali bolj zahtevni posli na drugi stopnji. Okoljska in geofizična stroka bi se na ta način manj ovirano razvijali in povezovali za potrebe državljanov in gospodarstva ter postali strokovni avtoriteti za državne potrebe. Kar se tiče meteorologije, pogršam več ukvarjanja s tistimi pojavi pri nas, ki so ekstremni v evropskih razmerah (temperaturne inverzije, pogostost neviht in močnih naličev, nizka povprečna hitrost vetra - pa škode zaradi burje, škodljivi ozon). Potrebujemo specialiste za ta področja, ob zavedanju, da je preveč ozka usmerjenost lahko škodljiva. Razmeroma šibek energetski potencial vetra, na primer, je treba postaviti ob bok bogatemu potencialu biotske raznovrstnosti in iskati optimalne rešitve. Nesmiselne so birokratske omejitve raziskovalnega dela in povezav z uporabniki storitev, saj smernice SMO in zgledi razvitih državah potrjujejo, da brez tega ni napredka. Kako do celovitega državnega podnebnega načrta, če niso raziskani vzroki za nadpovprečne podnebne spremembe?

Splošen problem v državni upravi je pomanjkanje samozvesti, saj nimamo jasnega dolgoročnega cilja države. Stoletja kot narod zasledujemo nenapisan cilj ravnotežja med družbo in okoljem. Zato imamo danes bogate naravne vire, vodo, gozdove in biotsko raznovrstnost, kar pomeni ob razgledani stroki veliko prednost. Usmeritev v trajnostni razvoj bi morala biti vgrajena v temelje države. To bi bilo dobro za stroko in v splošno korist. Zato, malo za šalo, malo zares: Tiste, ki povzročajo, da nam je zmeraj bolj vroče, bi morali dati na hladno.

Najlepša hvala za odgovore in upam, da bomo še naprej uspešno sodelovali v Slovenskem meteorološkem društvu, kjer cenimo tvoje znanje, izkušnje in predloge za učinkovitejše delovanje.

Predstavitev kratkih zgodb, pesmi in stripov na temo vremena

Tanja Cegnar

Slovensko meteorološko društvo je v letu 2019 objavilo natečaj za krajše zgodbe, pesmi in risane zgodbe na temo vremena. Načrtovali smo javno predstavitev prejetih del članom društva in širši publiki. Žal je načrtovani datum, 10. marec 2020, že sovpadal s prvimi ukrepi omejevanja večjega združevanja, zato smo se odločili za podelitev priznanj brez vabljenе publike.

Na vabilo k zasnovi in povezovanju dogodka, se je prijazno odzval g. Zdravko Erjavec, ki v medijih deluje že vrsto let. Vsa leta je zvest osrednji medijski ustanovi RTV Slovenija, kjer je nabiral svoje prve novinarske izkušnje, v oporo so mu bile številne novinarske in voditeljske legende, med njimi Dušan Benko, Sandi Čolnik, Lado Ambrožič, Nada Lavrič, Jana Čede, Nataša Dolenc in Ajda Kalan Lesjak. Pri gospe Kalanovi je leta 1985 obiskoval večmesečno govorno radijsko šolo. Preizkusil se je v vseh zvrsteh novinarstva – od pišočega, radijskega in televizijskega novinarstva. Pravi, da se dober novinar kali vrsto let. Poseben pečat je pustil na področju kulture, dolga leta je za Radio Slovenija pripravljaj kulturne oddaje.



Zdravko Erjavec (foto: Tanja Cegnar)

Uvodoma smo po izboru g. Erjavca s kanala Youtube poslušali pesem Vremenska napoved, pevca Aleksandra Mežka. Nato je g. Erjavec predstavil avtorje, vešče pisanja proze, poezije in celo pisanja in risanja stripov; glavna motivika njihovega pisanja in risanja je tokrat vreme. G. Zdravko Erjavec: »Na današnjem druženju bomo izpostavili tri avtorje. G. Dragan Mitić piše fascinantno prozo, g. Jurij Šoba piše pomenljivo poezijo, g. Simon Bogatin je suveren ustvarjalec stripov. Vsem trem gospodom iskrena hvala za njihove prispevke, s svojim pisanjem in risanjem plemenitijo in osmišljajo svoje življenje....., in življenje vseh nas.«

Najprej je g. Erjavec na oder povabil **g. Dragana Mitića**. G. Mitić je na natečaj poslal kar štiri zgodbe. Večina njegovih literarnih del govori o ljubezni, tokrat je prvič pisal o vremenu. Prebral je svoje prozno delo z naslovom: NEVIHTA V SPALNICI.



Dragan Mitić (foto: Tanja Cegnar)



G. Erjavec je prodal tudi kratek pregled slovenskih popevk na temo vremena: »Že bežen pogled v zgodovino slovenske popevke nam pove, da številne pesmi opevajo vreme in vremensko dogajanje, očitno je bilo tudi vreme motiv za pisanje besedil za popevke.... Radi bi Vas spomnili na nekaj teh pesmi: o Dežku je prepevala Jelka Cvetežar, o Deževni noči Katja Levstik, o Soncu Elda Viler, o Prvem snegu je prepevala Sonja Gabršček. Nepozabna je popevka: Naj bo mavrica, na Slovenski popevki leta 1972 sta jo zapela Majda Jazbec in Janez Puh, velik uspeh je doživela popevka Ljubljana v megli z Alenko Pinterič na Slovenski popevki leta 1975, velik hit je še danes pesem: Ti si rekla sonce, leta 1976 jo je posnel Ivo Mojzer. Naj vas spomnim še na pesem: Dlan polna sonca, ki jo je leta 1977 zapela Marjeta Ramšak, to pesem bomo v nadaljevanju še slišali....Omenimo še dve popevki: Sneg v maju, na Slovenski popevki jo je leta 1978 jo je zapela Branka Kraner, in popevko Soncu pred oči v izvedbi vokalne skupine Strune....V drugi polovici 80. let minulega stoletja je trboveljska skupina Veter posnela pesem Bela snežinka, pesem je postala veliki slovenski glasbeni hit. To je le nekaj naslovov pesmi na temo vremena, preveč je teh pesmi, da bi lahko vse našteali.«

G. Erjavec je nato povabil **g. Jurija Šobo**, ki je na natečaj prispeval pesem JESENSKA MEGLA. G. Šoba je z nami delil tri pesmi, prva je namenjena vremenu in jo objavljamo, prebral je še dve pesmi o naravi.



Jurij Šoba (foto: Tanja Cegnar)



Simon Bogatin (foto: osebni arhiv S. Bogatina)

G. Erjavec je povzel, da ima strip v Sloveniji že dolgo in bogato tradicijo, ob misli na strip se takoj spomnimo na slovitega Mikija Mustra in njegovega Zvitorepca in številne druge junake. Glavni junak stripov g. **Simona Bogatina** je Medo, ki se je moral spopasti s številnimi vremenskimi pojavi in jim kljubovati.

Vsem avtorjem smo se skromno oddolžili s knjigo Svetovne meteorološke organizacije o podnebnju. Celoten dogodek smo posneli in objavili na spletu, povezave so na spletni strani društva.



Utrinki iz predstavitve (foto: Tanja Cegnar)

Nevihta v spalnici

Dragan Mitić

– Najbolj izrabljena tema, vreme, a' razumeš? In ti si ga izbrala kot svoj izgovor? Svetovno je znano, da se prav z vremenom začne največ ljudskih pogovorov. Baje je tako tudi med predsedniki, ko na štiri oči odločajo o usodah celih narodov. Pogovor začnejo tako, da si ponavadi povejo nekaj o vremenu. Bedastem vremenu, ki je enostavno do preproščine, pač tukaj je, vedno bo in je vedno bilo. Če na njega ne moreš vplivati, pač nima smisla debatirati, a ne? Preprosto ko pasulj! In še to, na vreme se ne spoznajo dobro tisti, ki so visoko, ampak tisti, ki so nizko, čim nižje tem boljše, najbolje pa oni z dna. Čutijo ga pa tisti, ki hodijo bosi po tej naši zemlji. Samo oni imajo pravico da o vremenu pristno govorijo, ker z njim dejansko živijo, ne samo dan za dnem, vendar vsak trenutek, nepretrgoma. Razumeš? Ne ti, ki si ves čas v zaprtem prostoru z enako umetno klimo čez celo leto. Ti mi boš govorila o vremenu, pa kako te meče. Kako to, ko dejansko nisi v nikakršnem stiku z njim, nimata enega pravega kontakta? Ti, ki si vreme nastaviš z gumbom na klimi, ki različnih vremenskih stanj ne znaš niti ubesediti. Ej, daj se spravi k sebi in si nehaj izmišljevati. Točno, veš kaj ti zares imaš? Vremensko domišljijo. Samo pazi, ne se s tem igrat, vreme zna biti nevarno, zelo nevarno, a veš? Seveda zdaj boš mulo kuhala, se ovijala v volnene šale, iz naravne volne, kot da nenaravna volna sploh obstaja, glava ti bo sevala, čeprav kako se to sevanje lahko izmeri, nihče živ ne ve; ne bo ti za živeti, a živa in zdrava si tu zraven mene. Pa vendar tako daleč. In kaj naj jaz ta čas počnem? Naj si poiščem drugo? Ja, ja, vem, ti je vseeno, itak, ko te tvoje vreme prevrača, ti ni niti do dihanja in ti jaz lahko tolčem karkoli, ti boš tiho in boš na pol mrtva vodila samo svoj boj za preživetje, nepredvidljiv hud boj. E to sem ti prej hotel povedati, da vem, da je vreme samo mašilo v pogovorih, da je bistveni problem nekje drugje, samo si ne upaš tega sebi priznati in na glas povedati. Morda imaš koga drugega, pa se tako izgovarjaš in čakaš, da ponorim in sam odidem. Ti zapustim stanovanje, plačujem alimente? A to bi ti hotela? E, tega filma ne boš gledala. Vem da se pretvarjaš. Poznam jaz vas ženske. Povsod na tem svetu enaki izgovori: boli me glava, migrena me bo raznesla, danes ne morem, vreme me maje, za umret mi je, vreme pač... Pa kaj še? A misliš, da smo vsi moški na tem svetu butci? Pa to enostavno ne more biti res, da na vseh kontinentih, v vseh različnih klimatskih pasovih, na obeh poloblah in še na obeh polih, vedno deluje to prekleto vreme kot super izgovor. Pa, čeprav tako hudo različno, da vedno vpliva na enak način: da ženskam vreme čisto do konca odvzema energijo, energijo ki po sili naravnih

zakonov pripada prav njihovim moškim? Led, mraz, sonce, dež, a, ni razlike? Pa seveda, izbrale ste vreme, ker je tako priročno. Toliko raznoliko, da vam pride prav v vsaki situaciji, vedno, ko to zahočete. E, ne bo tako šlo, vem jaz kako stvari stojijo. Komplicirate, veš, in to prav tam, ker ni treba. Tisti, ki ga poznajo dobro in obvladajo v nulo, ga jemljejo čisto enostavno. Cigani recimo. Pa oni so ljudstvo vremena, med njimi in vremenom ni sten, kvečjemu kakšen tanek naluknjan šotor, ki omogoča direktni stik z lepim vremenom, še bolj pristnega pa, če je vreme grdo. In celo oni, ki zares živijo z vremenom, potopljene so v vreme ves čas, pa ne komplicirajo. Seveda govorijo tudi o vremenu, ampak samo tedaj, ko to ima smisel. Veš, ko cigan vpraša ženo: Kaj misliš, kakšno bo vreme? Ona njemu: »Ma, j*be se mi.« Cigan prizna: »I meni, i meni, samo nisem vedel kako naj začnem pogovor ...«

– Enostavno nor si, vedno se samo norčuješ iz vsega kaj je povezano z menoj, tudi, ko sem v totalni krizi. Res ne vem, ali bom sploh preživela, glavo mi bo dejansko razneslo. A tebi je, kot vedno, samo ena stvar pomembna, moški... Ej ne morem niti govoriti, se osredotočiti na karkoli, grizla bi, oprost, vendar ne zmooorem! Razumeš? Pusti me pri miru, samo da ta nevihta prileti, potem bo že kako...

– Kakšna nevihta? Pa poglej vsaj skozi okno. A vidiš ti kakšno nevihto morda? Mir je, nobenega vetra, nič. Nevihte so v tvoji glavi, tam so tudi pravi orkani, tajfuni, katastrofe povzročajo, vse leti na vse strani v vseh smereh, vauuh sem, vauuh tja! Ravno kar bo še tebe zagrabilo in odneslo, kot Alico! Samo ne, tebe ne bo vrglo nekam kjer je lepo, ne, tebe bo odneslo na konec sveta, ma ne, tebe bo butnilo direktno v pekel. Pa daj malo razmisli, ženska, ej! Kje mi živimo, ali je bil kakšen orkan tukaj, ali vsaj v bližini, v zadnjih sto, ma tisoč let? Ni! Tukaj nevihte nimajo takšne moči. Suho listje premikajo. Kvečjemu še kako suho deščico lahko odpihnemo iz tvoje betice. No povej, od kod ti ideja, da bo sploh nevihta, ker sedaj še nič ne kaže, še sije sonce, a ne vidiš?

– Jaz to čutim, bedak. Enostavno čutim, še preden se pojavi. Razumi, če moreš. In, če si vsaj malo pošten, povej, a sem se kdaj zmotila? Morda zelo dolgo tega, še preden sem te spoznala, ko je to bila pri meni samo vremenska sprejemljivost, v prvih letih zakona je to bila že resna občutljivost sedaj je pa zagotovo že odvisnost. Ne vem, če ni, vsaj malo, tudi zaradi tebe, da veš.

– Ne to pa res ne. In ko je bila nevihta in kadar je ni bilo, si se ti zvijala v klopčič, žrla te strupe za umirjanje, pa tiste ta hude kapsle za glavo.

– Primitivo! Pravi runkelj si, da veš. Seveda v teh treh knjigah, ki si jih ti v svojem življenju imel v rokah, o tem ni pisalo nič, a še Babilonci so o tem vedeli. A nisi že sam v tem času mogel to dognati? Pri meni je pač sprememba vremena dejansko povezana z pravim bolezenskim stanjem, padem v posteljo. A misliš, da mi za te dni bolniško dajejo na lepe oči. Pa v bolnici sem tolikokrat končala, seveda se niti ne spomniš, obiskal si me dvakrat do sedaj, ej, samo dvakrat! Tak si ti, nikoli me nisi razumel, nisi hotel, ali pač nisi mogel dojeti. Vsa svetovna znanost tebi ne more dotajčiti tega in ubiti v to tvojo trdonjavo bučo nekaj, kar se tebi zdi neverjetno. Ampak vedi, prav zares je znanstveno dokazano, kako močno in usodno zna vplivati vreme na človeka. Pa ne samo na sposobnost za delo, vendar direktno na zdravje, počutje, emocije. In jaz sem pač ena od njih, nimam in nimam moči za obvladovanje vpliva vremena nad seboj. Meni tedaj še zdravila drugače primejo. Šnops še huje, od enega šilca lahko dol padem, razumeš? Misliš, da nisem poskusila. Še živo žabo bi požrla, če bi mi to pomagalo. Dejansko tedaj prave strese doživljam! Bruham, kot vidra. Briga tebe. In še to, res je, tako močno je to pri meni, da čutim, enostavno živo doživljam, še preden sprememba vremena pride. In poglej kakšen si. Meni tega ne verjameš, svoji

mami pa, čeprav njo samo koleno cukne in to ne vedno, a komolec pa ja, ta pa redno, samo pri njej je to opravičeno, a ne, ker ga je pred leti zlomila, to pa ja, bedak! Samo vedi, da to ni samo dokaz koliko si pameten, še več pove o odnosu do mene, koliko mi sploh verjameš, da me nimaš rad pa si že stokrat in pokazal in dokazal, samo s tem se ne ubadam več. Samo pusti me enkrat pri miru, prosim te, samo za ta čas, dokler se pritiski med sabo ne zmenijo, pa da mi vsaj malo popusti ta migrena in prileti nevihta.

– Čakaj, čakaj malo, To sem nekje slišal, ampak to ni prava bolečina, to je fantomska bolečina in to samo pri tistih, ki jim kaj manjka, neki del telesa, mislim. Tebi pa je u glavo udarila, prav fantomski, ker jo nimaš, ha haa. Sama si se ujela. Prvo, rekli smo nevihte ni, in je sonce, no vsaj do pred kratkim je bilo, in jo ne bo, ne more biti, in to kar si ti domišljaš me ne zanima, to je domišljija! A ti odprem vrata od balkona, pa se sama prepričaj.

– Neee, nikakor, bedak, a ne čutiš, prihaja, je že tukaj, razbila bo okna, vrata zlomila, nikarr, nevarno je, lahko te odnese!

– Jooj, pa res...nee! Kakšen cug! Letim! Ljudje, pogledajte, letim! O ne! Že padam, že šesto nadstropje! Pomoč! Pomoč! Priznam, močan je vpliv vremena! Nevarna je nevihta iz spalnice!

Jesenska megla

Jurij Šoba

Iz mlečne koprene
štrlijo drevesa
in krečijo veje.
Negibnost je videz,
meglice polzijo.

Sonce pričara
kovanec brez žara
in upe, a para
jasnine ne mara.

V dolini vidljivost,
na nebu še megle.
Vsak čas bo razkošje
norih barv pregnalo
mistiko sivine.

Nevikla

Simon Bogatin



KONEC

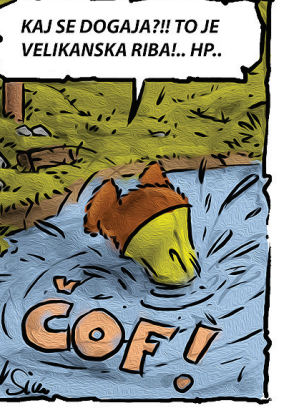
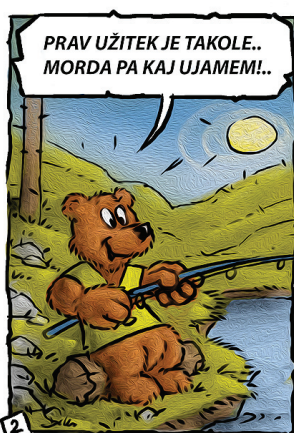
Deževje

Simon Bogatin



Ob vodi

Simon Bogatin



KONEC

Veter

Simon Bogatin



Sneg

Simon Bogatin



Osvežitev

Simon Bogatin



Vpliv zemljepisne širine in površinske temperature morja na intenzifikacijo tropskih ciklonov

Nina Črnivec, Ludwig Maximilian University of Munich, Meteorological Institute Munich

Uvod

Tropski cikloni sodijo med najbolj uničujoče meteorološke pojave. Napovedovanje tropskih ciklonov zaobjema dva ključna problema: napovedovanje njihove poti in intenzitete. Medtem ko je natančnost napovedi poti tropskih ciklonov v zadnjih letih močno napredovala, predstavlja napovedovanje intenzitete še vedno velik izziv. Vsako leto se po svetu razvije približno med 80 in 100 tropskih ciklonov, vendar jih večina ostane nad oceani. Težava nastopi, ko se tropski ciklon nahaja v bližini obale in obstaja velika verjetnost, da bo dosegel kopno. V tem primeru so točne napovedi intenzitete izjemno pomembne. Velik delež tropskih ciklonov preide fazo tako imenovane hitre intenzifikacije ("rapid intensification"), pri čemer se tropski ciklon v razmeroma kratkem času znatno okrepi. Če želimo izboljšati napovedi teh še posebej nevarnih dogodkov, moramo v prvi vrsti bolje fizikalno razumeti proces intenzifikacije. V magistrskem delu sem tako proučevala intenzifikacijo tropskih ciklonov v odvisnosti od dveh okoljskih dejavnikov: zemljepisne širine, ki zaznamuje učinek vrtenja Zemlje, in površinske temperature morja, ki določa moč izhlapevanja morja, posledično pa vlažnost zraka.

Metoda

Za numerično modeliranje razvoja tropskih ciklonov sem uporabljala National Center for Atmospheric Research (NCAR) Cloud Model (CM1). V model je bilo potrebno vgraditi začetno stanje tropskega ciklona, kar je predstavljalo največji tehnični izziv magistrskega raziskovanja. Za proučevanje odvisnosti intenzifikacije od izbranih okoljskih dejavnikov sem izračune opravila pri treh zemljepisnih širinah (10°N , 20°N , 30°N) kombinirano s tremi površinskimi temperaturami morja (26°C , 28°C , 30°C).

Rezultati in razprava

Uporabno merilo za intenziteto tropskih ciklonov je tangencialna hitrost vrtenja zraka. Slika 1 (levo) prikazuje časovni potek maksimalne azimutno povpre-

čene tangencialne hitrosti ($V_{\max}$) v devetih simulacijah tropskih ciklonov pri izbranih zemljepisnih širinah in temperaturah morja za obdobje treh dni. Kot mero za intenzifikacijo izberemo jakost intenzifikacije, izračunano iz 24-urne razlike $V_{\max}$, pri čemer vrednosti presegajoč 15 m/s/dan označujejo fazo hitre intenzifikacije (slika 1, desno). Izkaže se, da je intenzifikacija tropskega ciklona močno odvisna od temperature morja: pri izbrani zemljepisni širini se z naraščajočo temperaturo morja intenzifikacija začne prej in v splošnem dosega večje jakosti. Nadalje, vpliv zemljepisne širine na jakost intenzifikacije tropskih ciklonov je največji, ko je temperatura morja mejna za intenzifikacijo (26°C) in se z višanjem temperature morja zmanjšuje.

Fizikalna razlaga za opaženo močno odvisnost intenzifikacije tropskih ciklonov od površinske temperature morja je sledeča: Višja temperatura morja pomeni večje izhlapevanje, posledično pa višjo vlago v prizemni plasti neposredno nad vodno površino. Vlažni zrak pri tleh se steka proti središču ciklona, kjer pride do močnega dvigovanja zraka na območju očesnega zidu. Slednje vodi do močnejšega diabatnega segrevanja v višjih predelih ciklona, kar dodatno vleče zrak radialno proti središču ciklona, s čimer se povečuje hitrost vrtenja ("ballerina effect"). Rezultati so podrobno predstavljeni v magistrskem delu Črnivec (2015) ter znanstvenem članku Črnivec in sod. (2016).

Zaključek

Vpliv temperature morja na intenzifikacijo tropskih ciklonov je v splošnem večji kot vpliv zemljepisne širine. Fizikalna razlaga je v celoti osnovana na klasični osnosimetrični teoriji intenzifikacije tropskih ciklonov. Kot nadgradnjo predstavljenih rezultatov trenutno proučujemo pomen neosnosimetričnih značilnosti vrtnicev pri procesu intenzifikacije (Montgomery in sod. 2020).

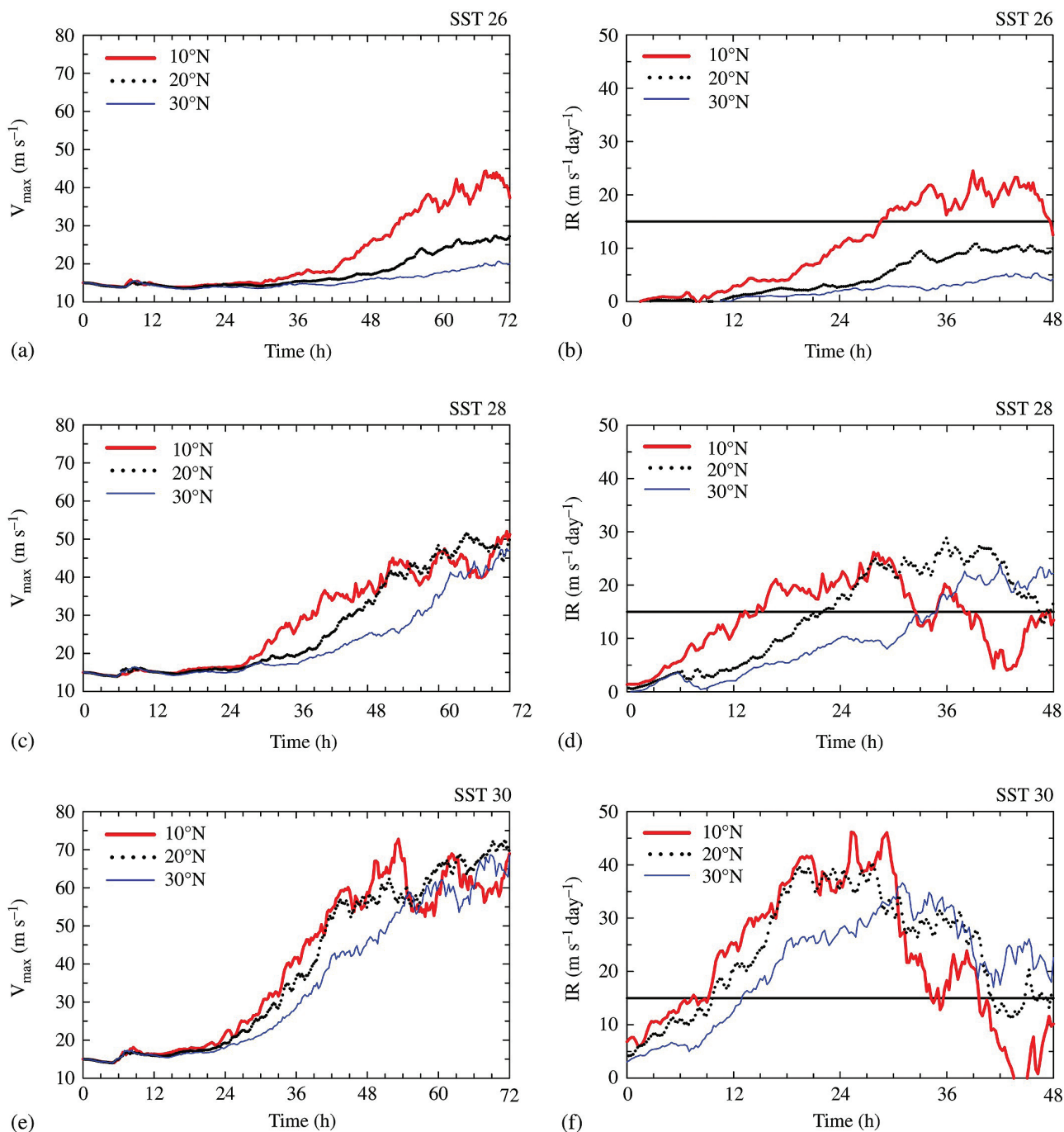
Viri

Črnivec, N.: Dependence of tropical cyclone intensification on latitude and sea surface temperature. Master thesis, Ludwig Maximilian University of Munich, September 2015.

Črnivec, N., Smith, R. K., and Kilroy, G.: Dependence of tropical cyclone intensification rate on sea surface temperature.

Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 142, 1618-1627, <https://doi.org/10.1002/qj.2752>, 2016.

Montgomery, M. T., Kilroy, G., Smith, R. K., and Črnivec, N.: Contribution of mean and eddy momentum processes to tropical cyclone intensification. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 2020 (submitted).



Slika 1. Časovni potek maksimalne azimutno povprečene tangencialne hitrosti $V_{\max}$ (levo) in jakosti intenzifikacije [“intensification rate (IR)”] (desno) tropskega ciklona v numeričnih simulacijah pri treh različnih zemljepisnih širinah: 10°N (rdeča barva), 20°N (črna barva), 30°N (modra barva), skupaj s tremi površinskimi temperaturami morja [“sea surface temperature (SST)”]: 26 °C (zgornja vrsta), 28 °C (srednja vrsta) in 30 °C (spodnja vrsta). Mejna vrednost $\text{IR}=15 \text{ m/s/dan}$ (črna vodoravna črta) na grafih jakosti intenzifikacije označuje prehod na “hitro intenzifikacijo”.

Zanesljivost napovedi proizvodnje energije kombiniranih vetrnih in sončnih elektrarn

Alenka Senica, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

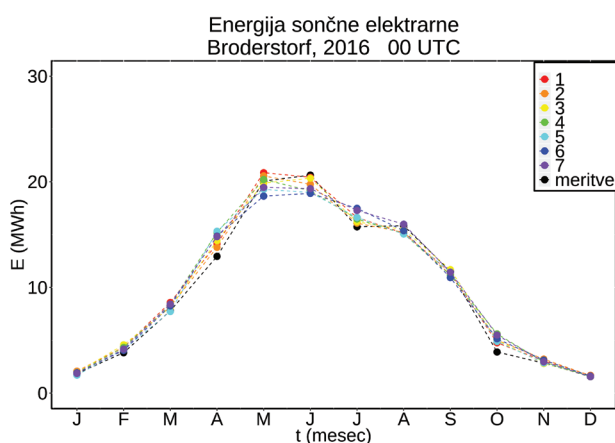
Za enostavnejši prehod iz fosilnih goriv na obnovljive vire energije in s tem nizkoogljično družbo potrebujemo zanesljive napovedi o hitrosti in moči vetra, obsevanosti oziroma moči sončnega sevanja. Te napovedi omogočajo načrtovanje obratovanja vetrnih, sončnih ali kombiniranih elektrarn in integracijo energije proizvedene iz obnovljivih virov v električno omrežje. Za pripravo kakovostnih napovedi vremena je pomembna tudi njihova verifikacija, ki pripomore k razumevanju pomanjkljivosti prognostičnih modelov in razvoju postopkov za njihove izboljšave.

Cilj magistrskega dela je bil preveriti, ali prognostični modeli bolje napovedujejo proizvodnjo energije kombinirane elektrarne kot proizvodnjo le vetrne ali le sončne elektrarne. Izbranih je bilo pet lokacij vetrnih parkov in merilnih postaj obsevanosti v severnem delu Nemčije. Tri lokacije se nahajajo v neposredni bližini morja, dve sta pomaknjeni bolj v notranjost severnega dela Nemčije. Z različnimi legami elektrarn sem želela preveriti, kako bližina morja vpliva na količino proizvedene energije vetrnih parkov, saj so hitrosti vetra ob obalnih predelih višje. Na napovedljivost hitrosti in posledično moči vetra vpliva model, ki čim bolj opisuje procese v mejni plasti.

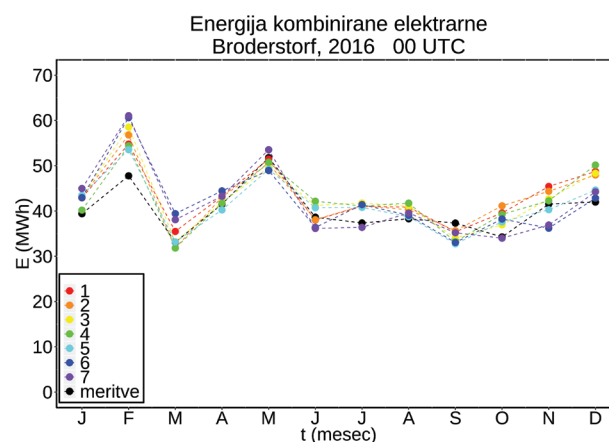
Verifikacija hitrosti in moči vetra, obsevanosti in moči sončnega sevanja napovedi modela ECMWF ponazarja, da je napovedljivost obsevanosti oziroma moči sončnega sevanja boljša od napovedljivosti moči vetra. Primerjala sem tudi analize višje ločljivosti modela WRF z meritvami hitrosti vetra ter obsevanosti. Napake analiz modela WRF so višje od napak napovedi modela ECMWF, saj model WRF nima lastne asimilacije podatkov. Pomembno je, da se podatki asimilirajo v modelu visoke ločljivosti.

Na podlagi rezultatov primerjave kombiniranih elektrarn na različnih lokacijah sem ugotovila, da je napovedljivost proizvodnje energije kombinirane elektrarne za štiri od petih obravnavanih lokacij boljša od napovedljivosti proizvodnje energije vetrne elektrarne. Pri verifikaciji napovedi proizvodnje vetrne in sončne energije sem opazila dnevni cikel napake. Napake napovedi kombinirane energije so manjše, saj sta sončna in vetrna energija časovno medsebojno odvisni. Zanesljivost napovedi se z dolžino napovedi slabša.

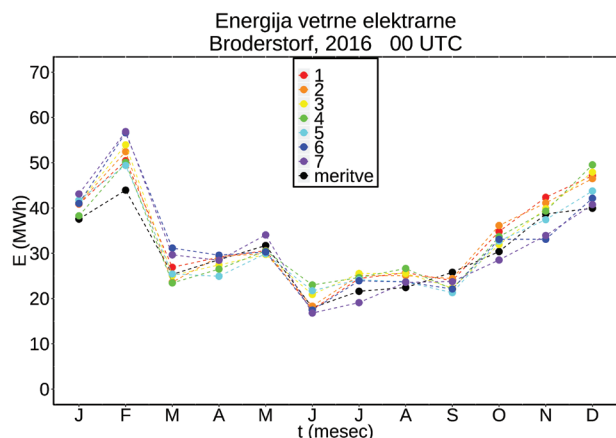
Povprečni letni hod energije sončne elektrarne na sliki 1 prikazuje, da se je največ energije proizvedlo meseca junija, ko je le-ta znašala 20,64 MWh in najmanj decembra 1,56 MWh. Več kot 10 MWh energije iz sončne elektrarne v Broderstorfu so pridobivali od aprila do septembra.



Slika 1. Povprečni letni hod dnevni vrednosti sončnega sevanja v Broderstorfu leta 2016. Črne pike označujejo integral izmerjenega sončnega sevanja preko celega dneva, barvne pike integral sončnega sevanja preko celega dneva za model ECMWF, za napoved ob 00 UTC. Rdeča ponazarja napoved za prvi dan, oranžna za drugi, rumena za tretji, zelena za četrti, svetlo modra za peti, temno modra za šesti in vijolična barva za sedmi dan.

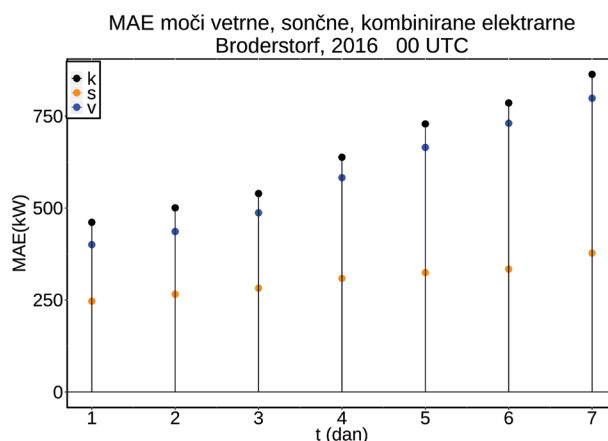


Slika 2. Povprečni letni hod dnevni vrednosti moči vetra na lokaciji Broderstorf leta 2016. Črne pike označujejo integral izmerjene moči vetra preko celega dneva, barvne pike integral moči vetra preko celega dneva za model ECMWF, za napoved ob 00 UTC.



Slika 3. Povprečni letni hod dnevni vrednosti energije kombinirane elektrarne v Broderstorfu leta 2016. Črne pike označujejo integral izmerjene kombinirane energije preko celega dneva, barvne pike integral kombinirane energije preko celega dneva za model ECMWF, za napoved ob 00 UTC.

Največ energije se je proizvedlo meseca februarja in najmanj junija (slika 2). Iz meritev sledi, da so februarja v Broderstorfu proizvedli 43,94 MWh, večinoma je model napovedoval vrednosti 50 MWh ali več. Junija so proizvedli le 18 MWh, takrat je bila tudi hitrost vetra najmanjša.



Slika 4. Povprečne absolutne napake (MAE) napovedi moči kombinirane, sončne in vetrne elektrarne za en teden vnaprej modela ECMWF, v Broderstorfu leta 2016, za napoved ob 00 UTC. Črna barva ponazarja moč kombinirane elektrarne, oranžna moč sončne elektrarne in modra moč vetrne elektrarne.

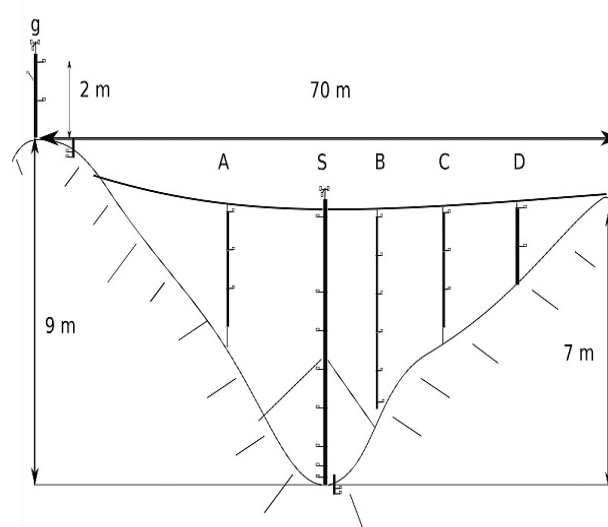
Iz slike 4 se vidi, da so napake napovedi moči sončnega sevanja za polovico (ali več) manjše v primerjavi z napakami napovedi moči vetra. MAE napovedi moči vetra so za prvi dan znašale 400,47 kW. MAE napovedi moči sončnega sevanja so zavzele najnižjo vrednost prav tako prvi dan, 246,64 kW.

Analiza ohlajanja zraka v manjšem mrazišču

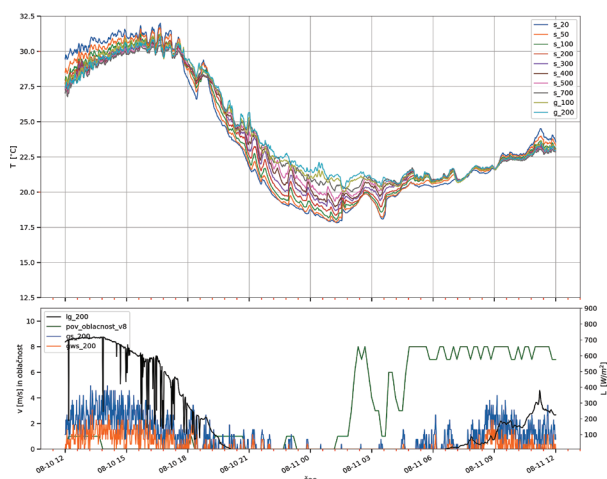
Ahac Pazlar, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Mrazišče je definirano kot manjše območje, navadno v vrtači ali kaki drugačni kotlini, v katerem je temperatura pogosto nižja kot v okolici. V tem delu opisujem potek izvajanja meritev in analizo ohlajanja v manjšem mrazišču, katerega horizontalna dimenzija je 70 m in vertikalna 9 m. Glavni cilj naloge je čim natančneje določiti potek ohlajanja zraka v takšnem mrazišču in izbrati primerno mrazišče, ki sicer ni veliko, a bistveni procesi potekajo zelo podobno kot v večjem mrazišču.

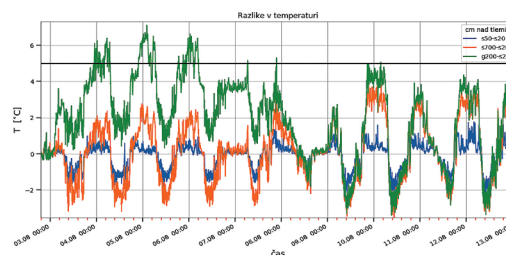
Meritve sem izvajal v obdobju od 29. 7. 2019 in do 21. 8. 2019. Ugotovil sem, da je temperatura v mrazišču lahko nižja od okolice za več kot 5 °C. Jezero hladnega zraka je v mrazišču precej stabilno in ga vetrovi, ki so šibkejši kot 1 m/s ne morejo premešati. Tako šibki vetrovi ne morejo preprečiti nastanka temperaturnih razlik med mraziščem in okolico. Vendar pa lahko, še zlasti v kombinaciji s sunki vetra, zelo motijo potek ohlajanja v mrazišču. Razlika med temperaturo v in



Slika 1. Prikazan je prečni profil izbranega mrazišča za primer intenzivnih opazovanj. V primeru opazovanj preko daljšega obdobja sta bila nameščena le stebra S in g.



Slika 2. Zgoraj je prikazan dnevni potek temperature na različnih višinah znotraj mrazišča in na grebenu za dan 10. 8. 2019. Spodaj so prikazani poteki hitrosti vetra (oranzna), hitrosti sunkov vetra (modra), globalna sončna obsevanost na lokaciji mrazišča (črna) in oblačnost (zeleni) na lokaciji postaje na letališču Jožeta Pučnika (v osminah).



Slika 3. Prikazan je potek razlike temperatur v obdobju od 3. 8. 2019 do 13. 8. 2019. Modra predstavlja razliko temperature na višini 2 m in 5 m, oranzna razliko na višini 2 m in 7 m in zelena razliko na višini 2 m v mrazišču in 2 m izven mrazišča. Prečna črna črta predstavlja mejo, ko razlika v temperaturi preseže 5 °C.

izven mrazišča v poletnih mesecih najhitreje narašča okrog 18:00. Poleg popoldanskega intenzivnega ohlajanja se to nadaljuje v večer. Iz meritev se tudi vidi, da se po polnoči temperatura v mrazišču praviloma ne zniža za več kot 5 °C.

Indikatorji in trend Walkerjeve cirkulacije

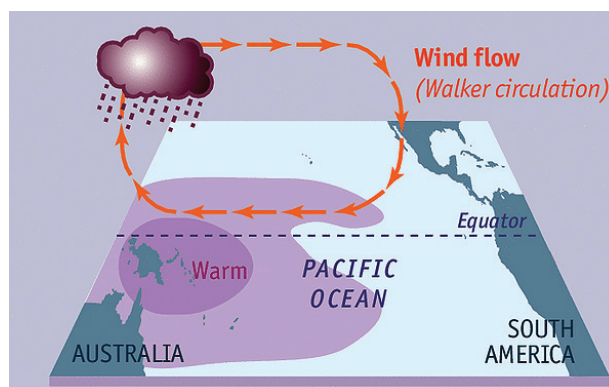
Zala Žnidaršič, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Uvod

Komponente tropske variabilnosti, kot so Hadleyjeva celica, Walkerjeva in monsunška cirkulacija, so medsebojno močno prepletene in tvorijo središče konvekcije na območju zahodnega ekvatorialnega Pacifika. Celica Walkerjeve cirkulacije opisuje zonalno-vertikalno cirkulacijo kot je prikazano na sliki 1, pri kateri se zrak dviguje nad ekvatorialnim zahodnim Pacifikom, v višji troposferi nad Pacifikom pihajo zahodni vetrovi, nad vzhodnim Pacifikom prevladuje spuščanje, celico pa zaključujejo vzhodni vetrovi v spodnji troposferi od vzhodnega proti zahodnem Pacifiku. V sklopu magistrske naloge sem razvila možne indikatorje variabilnosti intenzitete Walkerjeve cirkulacije s stališča hitrostnega potenciala in inercialno-težnostne komponente cirkulacije.

Variabilnost posameznih cirkulacij in njihove intenzitete merimo z različnimi indeksi, za Walkerjevo cirkulacijo običajno uporabljamo Indeks južne oscilacije (SOI, ang. Southern Oscillation Index), ki je definiran s tlačno razliko med Tahitijem in Darwinom. Walkerjevo cirkulacijo poganja temperaturna razlika med temperaturo morske gladine na vzhodnem in zahodnem delu Pacifika vzdolž ekvatorja. SOI je dobro merilo jakosti pasatov in njihovega prepletanja s pojavom El Niño/La Niña, zaradi močnega vpliva

lokalnega vremena na obeh postajah pa je vrednost SOI lahko močno zašumljena. Indeks SOI so v novejših študijah zato zamenjali različni indeksi, ki bolj ustrezno opisujejo dinamične lastnosti WC, še posebej v zgornji troposferi. Enega izmed tovrstnih indeksov so predlagali Tanaka in sod. (2002) sama pa sem ga uporabila v svojem magistrskem delu. Ker je WC termalno pogojena in lahko opisana z divergenco/konvergenco, za njen opis lahko uporabimo divergentno komponento vetra oz. hitrostni potencial. Indeks Walkerjeve cirkulacije (WCI) v je definiran z



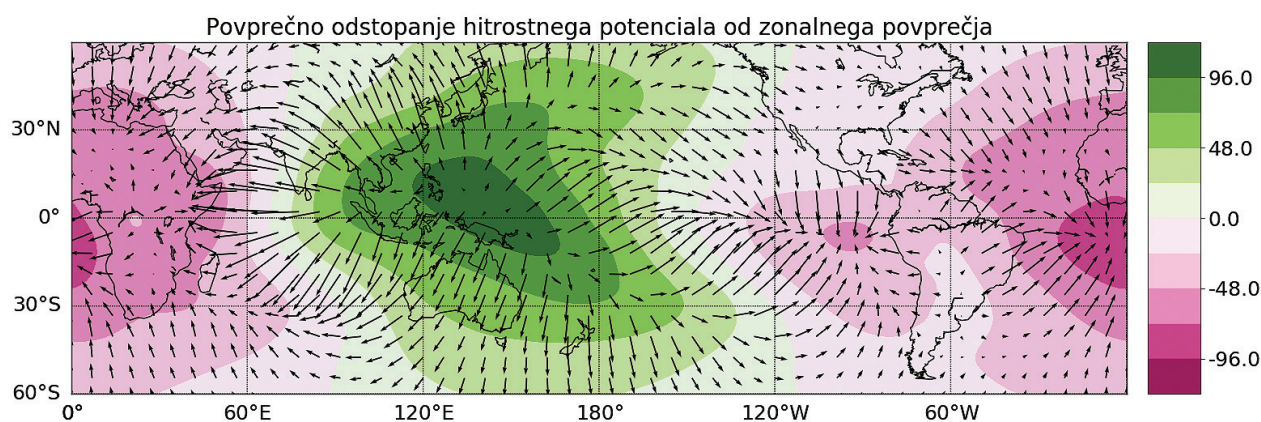
Slika 1. Shematični prikaz Walkerjeve cirkulacije. Vir: NOAA

$$WCI_j = \max(\chi'_j) = \max(\chi(t, \lambda, \varphi)_j - \overline{\chi(t, \varphi)}_j^\lambda) \quad (1)$$

maksimumom hitrostnega potenciala, ki smo mu pred tem odšteli zonalno povprečje (enačba 1), letno povprečje WCI v obdobju 1980-2014 pa je prikazano na sliki 2

Poleg opredelitve indeksa Walkerjeve cirkulacije na osnovi Tanaka in sod. (2002), sem analizirala trend Walkerjeve cirkulacije pri predpostavki, da je trend predvsem posledica odziva na spremembe v siljenju na območju Indijskega oceana in JV Azije v zadnjih 100 letih. V drugem delu magistrske naloge

sem namesto divergentnega dela cirkulacije, ki ga predstavlja hitrostni potencial, definirala indeks tropske cirkulacije (TCI) na podoben način kot WCI, in sicer na podlagi IG komponente cirkulacije. S TCI sem raziskala v kolikšni meri je spremenjena variabilnost v normalnih načinih tropske cirkulacije, povezanih z inercialno-težnostnimi valovi. Razcep na normalne načine omogoča preučevanje cirkulacije v odvisnosti od prostorske skale. Poleg tega sem se osredotočila še na spremembe v najbolj značilnem valu tropskega območja, Kelvinovem valu, ki nastane kot posledica spreminjajočega konvektivnega segrevanja v ekvatorialni troposferi.



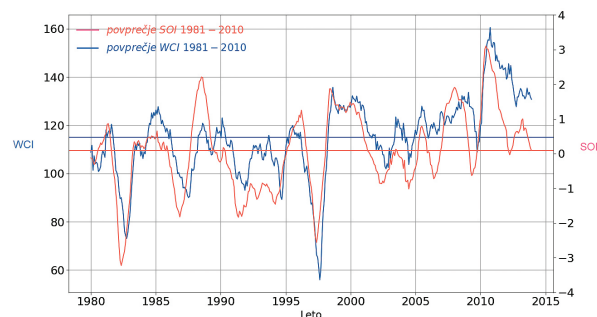
Slika 2. Povprečje za obdobje 1980-2014. Enota je $105 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Z letnim povprečjem odstopanja hitrostnega potenciala od zonalnega povprečja je definirana Walkerjeva cirkulacija. Ploskev je 200 hPa.

Rezultati

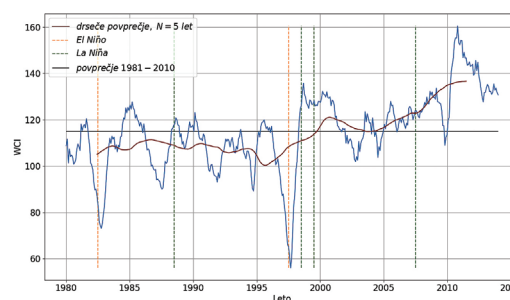
Rezultati so pokazali, da se je Walkerjeva cirkulacija v zadnjem stoletju najprej slabila in nato s koncem 20. stoletja in začetkom 21. stoletja krepila. Trend WCI na sliki 3 smiselno sovпада tudi s trendom indeksa južne oscilacije SOI, oba indeksa prav tako predstavita najpomembnejše El Niño tega obdobja. S pomočjo statističnega Mann-Kendallovega testa sem preverila, da je naraščajoč trend na sliki 4 v obdobju 1980-2014 statistično značilen. V povezavi z rezultati časovne

vrste WCI iz Tanaka in sod. (2002) sem opazila, da bi k variabilnosti Walkerjeve cirkulacije lahko prispevala večdesetletna atmosferska variabilnost, ki bi pojasnila pozitivno fazo WCI v 2000-2014, kot sem jo zaznala v naši analizi, pozitivno fazo v 1960-1980, ki so jo zaznali Tanaka in sod. (2002), in negativno fazo v 1980-2000, ki sem jo zaznala v naši analizi in pri Tanaka in sod. (2002).

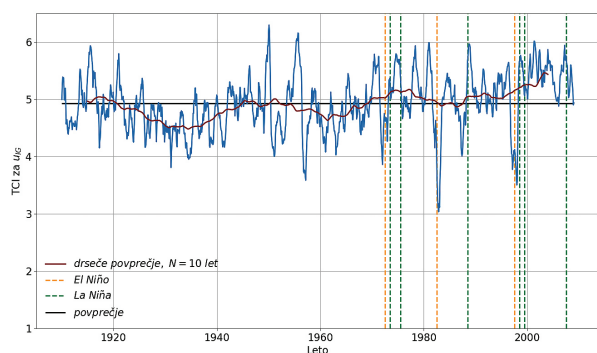
Sledila je analiza indeksa tropske cirkulacije (TCI) za inercialno-težnostne (IG) valove na 200 hPa, kjer



Slika 3. Časovna vrsta indeksa Walkerjeve cirkulacije WCI (modra barva) in indeksa južne oscilacije SOI (roza barva), za obdobje 1980-2014. Z vodoravnima črtama sta prikazani povprečji obdobja za oba indeksa, v enotah $105 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.



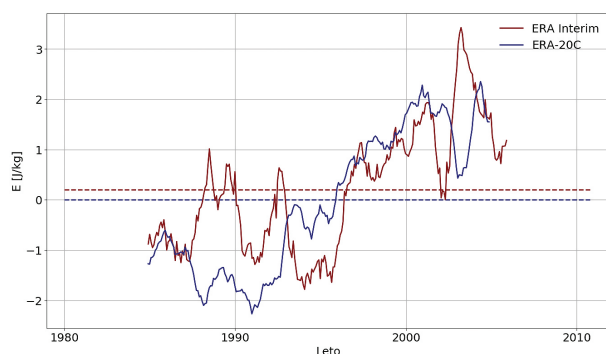
Slika 4. Časovna vrsta indeksa Walkerjeve cirkulacije, ki je definiran z 12-mesečnim drsečim povprečjem maksimuma hitrostnega potenciala nad zahodnim Pacifikom, za obdobje 1980-2014 v enotah $105 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.



Slika 5. Časovna vrsta indeksa tropske cirkulacije TCI komponente uIG za obdobje 1910-2009 v enotah m/s.

se nahaja zgornja veja Walkerjeve cirkulacije (slika 5). Za zonalno komponento IG toka sem ugotovila statistično značilen in naraščajoč trend, zanimivost, ki se je pojavila v rezultatih, pa je bila nizkofrekvenčna oscilacija s periodo približno 20-30 let. V obdobju 1910-2009 opazim približno tri cikle tovrstne oscilacije, da bi preverila veljavnost ugotovitve, sem uporabila valčno analizo, ki omogoča lokalizacijo frekvenčnih komponent v analizirani časovni vrsti podatkov. Rezultat transformacije je pokazal prisotnost oscilacije s periodo med 16 in 32 let, časovna lokacija omenjenih oscilacij pa se je skladala z rezultati predhodne analize TCI za IG tok.

Tudi pri časovni odvisnosti energije Kelvinovega vala sem ugotovila, da ima slednja statistično značilen in naraščajoč trend, prav tako pa je prisotna variabilnost s periodo 20-30 let, kot je prikazano na sliki 6. Za verifikacijo rezultata reanalize ERA-20C sem se osredotočila tudi na reanalizo ERA Interim, pri čemer sem lahko verificirala rezultate za obdobje 1980-2009. Pri časovni odvisnosti energije KW za ERA Interim prav tako ugotovim statistično značilen in naraščajoč trend.



Slika 6. Časovna odvisnost energije Kelvinovega vala, vsota po vertikalnih načinih m in zonalnih valovnih številih k , uporabim drseče povprečje reda $N=10$ let.

Raziskave na to temo so pokazale prisotnost več desetletne variabilnosti pri sklopljenem sistemu Walkerjeve cirkulacije in ENSO (Barnett in sod., 1999), in sicer je analiza pokazala, da je (poleg stohastične variabilnosti) glavni element variabilnosti v Pacifiku povezan s sklopitvijo atmosfere in oceana, imenovano Pacifiška desetletna oscilacija (PDO, ang. Pacific Decadal oscillation), s frekvenco 1 cikla/20 let. Med drugim so Luo in sod. (2012) ugotovili, da bi več desetletno variabilnost, ki so jo zabeležili pri segrevanju Indijskega oceana, lahko povzročali povečani izpusti toplogrednih plinov in aerosolov v zadnjem stoletju. Segrevanje Indijskega oceana kot vir toplote pa direktno vpliva na intenziteto Walkerjeve cirkulacije. Prav tako nedavne ugotovitve iz Plesca in sod. (2018) kažejo, da se slabljenje Walkerjeve cirkulacije, ki je bilo značilno za 20. stoletje, ne sklada z opazovanji tega stoletja. Ugotovili so, da je za kvalitetno napoved trenda Walkerjeve cirkulacije v klimatskih modelih najpomembnejša boljša izbira indeksa za opis WC, saj posamezni indeksi trenutno opisujejo le posamezne značilnosti WC. Podobno ugotovita tudi Allen in Zhao (2019) ki predvsem pri sklopljenih modelih oceana in atmosfere ugotovita znatno podcenjeno tropsko več desetletno variabilnost, na podlagi tega pa različnih modeli napovejo različne ocene trenda WC. Na tem področju bodo zato potrebne dodatne raziskave in razumevanje Walkerjeve cirkulacije skupaj z učinki naravne variabilnosti, bodisi sklopitev z variabilnostjo ENSO bodisi oscilacijo PDO ali pa neko drugo več desetletno variabilnostjo. Prav tako bo potrebna uvedba enovitega in kompleksnejšega indeksa, ki bo dobro razložil celotno Walkerjevo cirkulacijo.

Viri

- R. J. Allen and X. Zhao. Strengthening of the Walker Circulation in recent decades and the role of natural sea surface temperature variability. Environ. Res. Commun., 1, 2019.
- T. P. Barnett, D. W. Pierce, M. Latif, D. Dommengat in R. Saravanan, Interdecadal interactions between the tropics and midlatitudes in the Pacific Basin, Geo. Res. Let. 26, 615 (1999).
- J. J. Luo, W. Sasakia in Y. Masumoto, Indian ocean warming modulates Pacific climate change, PNAS 109: 46, 18701 (2012).
- E. Plesca, V. Grützun in S. A. Buehle, How Robust Is the Weakening of the Pacific Walker Circulation in CMIP5 Idealized Transient Climate Simulations?, J. Climate. 31, 81 (2018).
- L. Tanaka, H., N. Ishizaki in A. Kitoh, Trend and interannual variability of Walker, monsoon and Hadley circulations defined by velocity potential in the upper troposphere, Tellus 56A, 250 (2004).

Asimilacija satelitskih opazovanj vetra z Dopplerjevim lidarjem v mezoskalni model

Matic Šavli, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Uvod

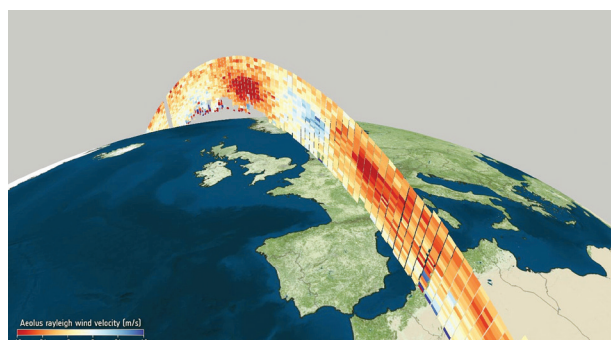
V operativnih modelih za numerično napovedovanje vremena predstavljajo začetni pogoji enega ključnih problemov. Za izboljšanje napovedi je potrebno tako izboljšati modele, kot tudi njihove začetne pogoje. To pomeni, da potrebujemo karseda natančno informacijo o vseh spremenljivkah v vsaki računski točki tridimenzionalnega modelskega prostora v trenutku zagona modela – torej, potrebujemo čim boljše meritve ozračja.

Podatke, dobljene z meritvami, uporabimo v postopku asimilacije, ki poskuša optimalno združiti informacijo o stanju ozračja, dobljeno s podatki meritev in prejšnje napovedi (t.i. prvi približek). Optimalna kombinacija meritev in polja prvega približka imenujemo analiza stanja ozračja. Ta predstavlja najbolj kakovosten opis stanja ozračja v izbranem trenutku. Analizo uporabimo kot začetno polje pri zagonu modela za izračun napovedi v naslednjih časovnih korakih.

Več kot 90 % vseh meritev ozračja prispevajo satelitske meritve. Glede na dinamične lastnosti procesov v ozračju meritve delimo na meritve polja vetra in polja lastnosti zračne mase. Slednje sestavljajo količine kot so tlak, temperatura in vlažnost zraka. Prevladujejo meritve polja mase (pretežno temperature), ki jih je veliko več kot meritev vetra (Baker in sod., 2014). Informacija o polju vetra je ključnega pomena za simulacijo procesov na manjših prostorskih skalah in v tropskih predelih (Stoffelen in sod., 2005, Žagar in sod., 2008).

Prvi korak k globalnemu merjenju vetra s sateliti je bil storjen leta 1999, ko so sprejeli načrt za misijo Aeolus (prej ADM-Aeolus) (Stoffelen in sod., 2005). Glavni cilj misije je demonstrirati merjenja vetra iz vesolja s pomočjo Dopplerjevega zamika laserske svetlobe, sipane na delcih in molekulah zraka v ozračju. Satelit Aeolus je bil uspešno izstreljen 22. avgusta 2018 (medmrežje 1).

Meritve vetra v okviru misije Aeolus niso meritve vektorja horizontalnega vetra, kot ga dobimo s konvencionalnimi sistemi. Dopplerjev lidar na satelitu



Slika 1. Tirnica Aeolusa 6. maja 2020. Pravokotniki vzdolž tirnice predstavljajo območja reprezentativnosti za produkt HLOS (amplituda vetra HLOS je predstavljena z barvno tabelo v m/s). Nad Evropo je primer meritve vertikalnega preseka vetrnega stržena. Slika je prevzeta s spletne strani ESA (https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/05/Wind_profile_from_Aeolus_6_May_2020).

Aeolus namreč meri le radialno komponento hitrosti gibanja delcev (ang. Line-Of-Sight, LOS) (npr. slika 2b). Ta predstavlja linearno kombinacijo meritev zonalne, meridionalne in vertikalne komponente vetra. Glavni produkt meritev Aeolusa je projekcija radialne komponente hitrosti vetra na horizontalno ravnino (ang. Horizontal Line-Of-Sight, HLOS). Pri tem predpostavljamo, da je vertikalna hitrost zanemarljiva. Produkt HLOS ima tipično prostorsko reprezentativnost reda 90 km vzdolž orbite, 0.5-2 km v vertikalni smeri in 10 m (pri tleh, vendar manj višje v ozračju) prečno na tirnico satelita (slika 1).

Po dveh letih delovanja je satelit Aeolus še vedno operativen in njegove podatke uporabljajo za operativno asimilacijo naslednje ustanove: Evropski center za srednjeročno napoved vremena (ECMWF), Nemška državna meteorološka služba DWD (nem. Deutscher Wetterdienst) in Francoska državna meteorološka služba (Météo-France). Vrstni red služb je naveden po vrstnem redu začetka operativne asimilacije. Vpliv meritev Aeolus na rezultate numeričnih modelov za napovedovanje vremena je pozitiven predvsem tam, kjer meritev vetra sicer ni, kljub temu da podatki Aeolusa predstavljajo manj kot 1 % vseh dnevno asimiliranih podatkov meritev

(medmrežje 2). To so predvsem tropski predeli in južna polobla. Ti rezultati so v prid številnim študijam, ki so bile narejene pred izstrelitvijo satelita (npr.: Stoffelen in sod., 2006). Podatki iz Aeolusa so javno dostopni od maja 2020 (medmrežje 3).

Glavni cilj doktorskega dela je bila obravnava asimilacije simuliranih meritev vetra HLOS za pripravo analize – začetnega stanja modela v mezo skali. Zanimalo me je predvsem, kakšen vpliv imajo meritve vetra HLOS v primerjavi z zonalno in meridionalno komponento vektorja vetra na pripravo začetnih pogojev na območju Severnega Atlantika in Evrope. Glavna motivacija študije je bila, da bi dobro razumeli lastnosti asimilacije produkta HLOS vetra za zagon modela v mezo skali. To bo pomembno pri uporabi pravih produktov HLOS satelita Aeolus in podobnih kasnejših misij v prihodnjih študijah z modeli napovedovanja vremena za omejeno področje.

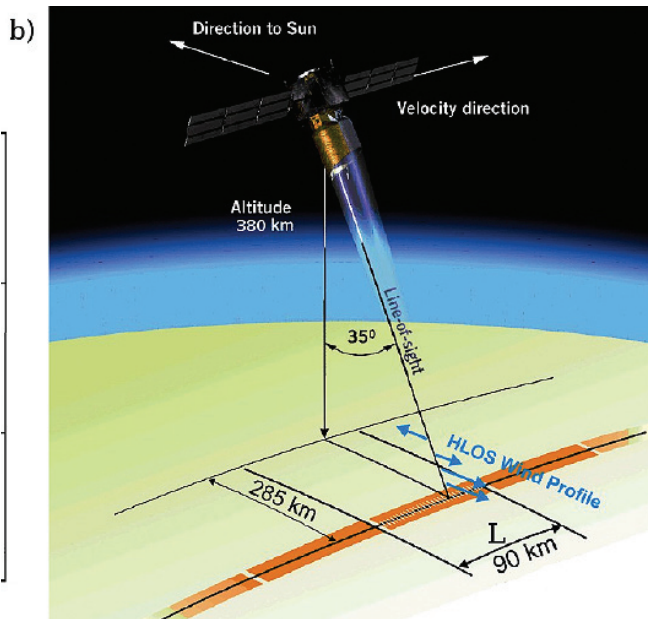
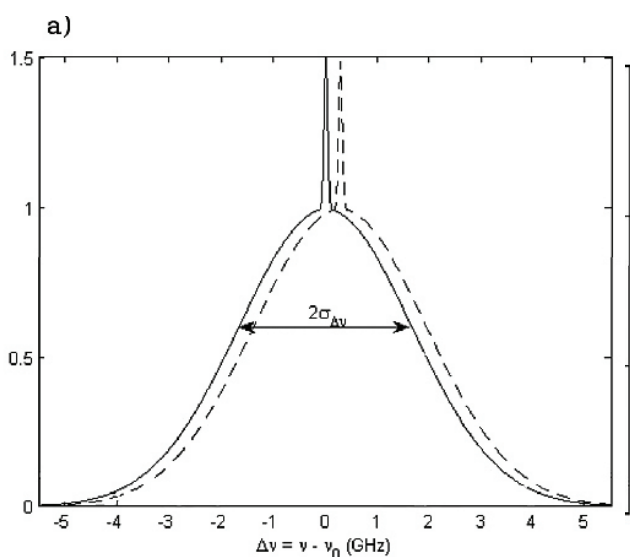
Na kratko o AEOLUS

Glavna naprava satelita Aeolus je Dopplerjev lidar ALADIN (ang. Atmospheric Laser Doppler Instrument). Ta deluje v območju ultravijoličnega (UV) dela elektromagnetnega (EM) spektra z valovno dolžino 355 nm. Lidar ustvarja niz pulzov, ki potujejo iz laserja na satelitu na višini približno 400 km proti površju Zemlje. Na tej poti se del elektromagnetnega valovanja sipa nazaj proti satelitu, del v prostorski kot stran od satelita, del pa doseže nižje plasti ozračja. Izbrana delovna valovna dolžina lidarja omogoča, da je absorbcija UV sevanja na prevladujočih molekulah ozračja (N_2 , O_2 , O_3 , H_2O), zanemarljivo majhna

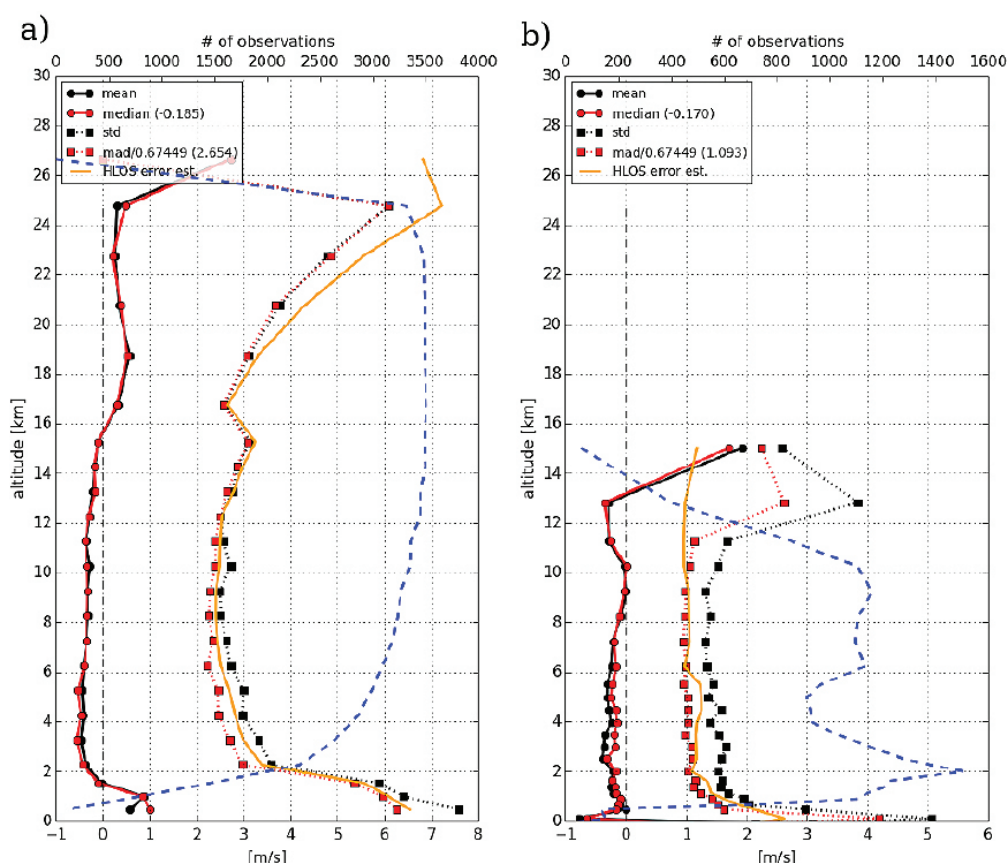
(Liou, 2002). Signal, ki predstavlja sipani del pulzov nazaj proti satelitskemu sprejemniku, je zaradi Dopplerjevega efekta frekvenčno zamaknjen. To je posledica splošnega gibanja molekul in večjih delcev v ozračju, na katerih se pulzi EM valovanja sipljejo. To gibanje je v največji meri lastnost toka zraka – vetra. Hitrost premikanja molekul in delcev je sorazmerna s frekvenčnim zamikom, iz česar lahko ocenimo hitrost vetra na mestu, kjer se signal sipa (npr. Marseille in Stoffelen, 2003).

Instrument ALADIN omogoča dva skoraj povsem ločena načina merjenja hitrosti vetra. V prvem analiziramo del spektra laserske svetlobe kot posledico Rayleighovega sipanja na molekulah zraka. Merjenje Dopplerjevega zamika v tem načinu je še posebej težavno, saj se molekule v ozračju premikajo tudi naključno (t.i. Brownovo gibanje). To povzroči široko razpršitev spektra Dopplerjevega zamika, ki ustreza hitrosti vetra do okoli 300 m/s. Merijo jo interferometri na satelitu (slika 2a) (Dabas in sod., 2008). To je glavni vir napake meritev HLOS iz Rayleighovega načina. Za uporaben končni produkt je potreben postopek, ki je razložen v nadaljevanju.

Drugi način merjenja izkorišča Mieovo sipanje laserske svetlobe na večjih delcih ozračja – aerosolih in manjših hidrometeorjih. Porazdelitev teh delcev v ozračju se v času in prostoru močno spreminja. Višje koncentracije teh delcev so prisotne predvsem v spodnjem delu ozračja. V povprečju je v ozračju znatno manj meritev vetra iz Mieovega dela spektra



Slika 2. (a) Spekter Dopplerjevega zamika v primeru sipanja svetlobe na molekulah in večjih delcih ozračja. Spekter, ki ni frekvenčno premaknjen, prikazuje črna polna krivulja. Frekvenčni zamik, ki ustreza hitrosti vetra 50 m/s, prikazuje črna črtkana krivulja. Zvonasta oblika obeh krivulj ponazarja razpršenost v spektru kot posledico naključnega gibanja molekul (Brownovo gibanje). Širina Rayleighovega dela spektra je v enotah hitrosti 600 m/s. Ozek del krivulje z večjo amplitudo predstavlja Miejev del spektra, ki je posledica sipanja na večjih delcih. (b) Merjenje komponente vetra HLOS z Aeolus. Komponenta vetra HLOS je prikazana z modro puščico. Posamezna meritev je povprečje meritev na dolžini akumulacije (L), ki je definirana na 90 km.



Slika 3. Statistične lastnosti simuliranega vetra HLOS iz (a) Rayleighovega in (b) Mievega dela spektra. Sistematično odstopanje E prikazuje črna polna krivulja, kjer E predstavlja razliko med HLOS vrednostmi, dobljenih iz simulatorja, in vrednostmi HLOS, preračunanih iz vhodnega vetra v simulator iz simulacije meteorološkega modela ECMWF. Standardni odklon (napaka) $\sigma(E)$ (označeno STD), pridobljen iz primerjave s simuliranim vetrom, je opisan s črno črtkano krivuljo. Napaka HLOS ocenjena s simulatorjem je prikazana z oranžno krivuljo. Modra črtkana krivulja opisuje število razpoložljivih meritev v analiziranem 10-dnevem obdobju. Rdeče obarvane krivulje v besedilu niso obravnavane.

kot iz Rayleighovega dela spektra. Zaradi manjše razpršenosti spektra so meritve vetra na osnovi Miejevega sipanja bolj točne (razpršenost spektra ustreza hitrosti vetra okoli 10 m/s). Ker je spekter zaradi Miejevega sipanja manj razpršen kot zaradi Rayleighjevega sipanja (slika 2a), je slednji bolj zaželen (Tan in sod., 2008).

Zaradi velike napake izračunane hitrosti vetra iz posameznega laserskega pulza je za praktično uporabo meritev potrebno upoštevati 20 laserskih pulzov. Tako dobljen podatek je osnovni produkt meritev Aeolusa. Ker je hitrost gibanja satelita približno 7,2 km/s in frekvenca pošiljanja laserskih pulzov v ozračje 50 Hz (ang. pulse repetition frequency), je meritev pridobljena s povprečjem 20 laserskih pulzov reprezentativna za območje dolžine okoli treh kilometrov vzdolž tirnice. Vendar takšen podatek zaradi svoje nedoločenosti še vedno ni primeren za asimilacijo v prognostični sistem.

Meritve vetra z veliko napako ne prispevajo veliko k izboljšanju analiz, zato je potrebno združevanje

približno 30 meritev, kar predstavlja končni produkt, ki je reprezentativen za območje dolžine okoli 90 km (npr. slika 1).

Glavne lastnosti HLOS opazovanj

V sklopu doktorske naloge sem najprej ocenil značilnosti produktov HLOS, kot sta sistematična in naključna instrumentalna napaka. Pred izstrelitvijo satelita je bil edini način analize produktov Aeolus uporaba simulatorja, ki s pomočjo osnovnih fizikalnih zakonitosti, ki opisujejo delovanje lidarja in sipanje elektro-magnetnega valovanja v ozračju, simulira delovanje celotnega sistema. Vhodni podatki v simulator vzdolž predpisane tirnice Aeolusa so: navpični presek vetra, zračni tlak, temperatura in nekatere optične lastnosti ozračja (npr. sipalni presek za molekule in aerosole). Glavni produkt simulatorja so vrednosti HLOS vzdolž predvidene tirnice. Realističnost simulatorja je omejena predvsem s kakovostjo vhodnih podatkov in z razumevanjem delovanja Aeolusa.

Vhodni podatki so bili prirejeni kot skupek dveh zelo kakovostnih produktov. Prvi je desetdnevna napoved meteorološkega modela ECMWF v visoki horizontalni ločljivosti, približno 5 km. Ta predstavlja skladen opis polja vetra, temperature in zračnega tlaka po vsem svetu. V študiji sem uporabil simulirane podatke za območje Severnega Atlantika in Evrope. Drugi del vhodnih podatkov predstavljajo meritve nekaterih optičnih lastnosti ozračja s satelitom CALIPSO v istem obdobju (Winker in sod., 2010).

Primerjava HLOS vetra iz simulatorja in HLOS vetra, preračunanega iz vhodnih polj v simulator, omogoča oceno nekaterih glavnih statističnih lastnosti Aeolus produkta HLOS. Te so prikazane na sliki 3. Gostota se z nadmorsko višino zmanjšuje, zato je v višjih plasteh troposfere in spodnjih plasteh stratosfere količina sipalcev majhna. Niže v ozračju je gostota molekul večja in zato sipani signal močnejši. Vendar je signal, ko potuje nazaj proti satelitu, bolj oslavljen zaradi slojev ozračja, ki se nahajajo med sipalcem in satelitom. To je eden izmed glavnih razlogov za značilno obliko profila napake v HLOS, določenem iz Rayleighovega dela spektra. Za izbrano akumulacijo signala (100 km) je naključna napaka manj kot 3 m/s v srednji in višji troposferi. Zaradi spremembe vertikalne ločljivosti Aeolus z 1 km na 2 km na nadmorski višini približno 16 km, se napaka HLOS tam značilno spremeni. Absolutna sistematična napaka je manjša od 1 m/s. HLOS iz Mievega dela spektra predstavlja bolj kakovostno meritev z naključno napako okoli 1 m/s in zanemarljivo sistematično napako. A teh meritev je mnogo manj kot meritev s pomočjo Rayleighovega sipanja.

Lastnosti, prikazane na sliki 3, so bile v obdobju po izstrelitvi satelita pod drobnogledom znanstvenikov. Operativne meritve ne dosegajo kakovosti, kot jo simulira simulator Aeolusa, vendar ne odstopajo toliko, da ne bi bili uporabni za pripravo analize v numeričnem modelu ozračja (medmrežje 4). Najbolj zaskrbljujoča je bila sistematična napaka HLOS vetra s pomočjo Rayleighovega sipanja. Pokazala se je zapletena odvisnost napake s položajem na tirnici in vplivom Sončevega sevanja na glavno (t.i. M1) zrcalo na satelitu. Problem je bil odpravljen (medmrežje 5) in podatki meritev se sedaj operativno asimilirajo za potrebe modeliranja.

O uporabi produktov HLOS v prognostičnem modelu v mezo skali

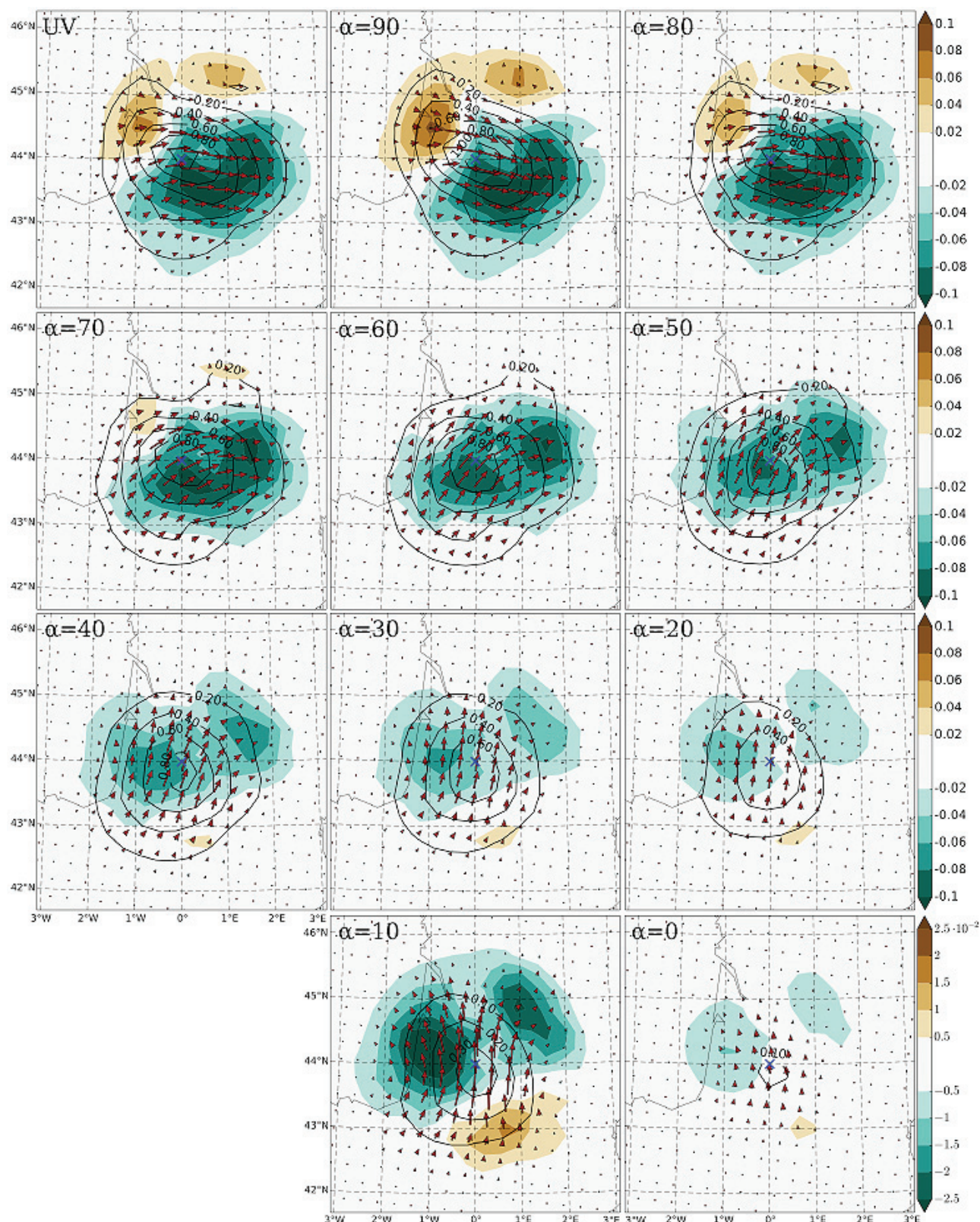
Sistem za asimilacijo produktov HLOS za analizo modela v mezo skali sestavlja izpopolnjena shema za asimilacijo DART, ki so jo razvili na oddelku za razvoj metod asimilacije podatkov (DAReS) v Nacionalnem centru za raziskave ozračja (ang. National Center for Atmospheric Research - NCAR) v ZDA (Anderson

in sod., 2009). DART je sklopljen z modelom za napovedovanje vremena WRF (ang. Weather Research and Forecasting, Skamarock in sod. 2008). Asimilacijska shema DART spada v skupino asimilacijskih metod s pomočjo ansamblov, t.i. EnKF (ang. Ensemble Kalman filter, Ghil in sod., 1981). V primerjavi z variacijsko metodo, ki se je uporabljala v preteklih študijah vpliva podatkov Aeolusa, metoda z ansambli ocenjuje kovariance napak prvega približka iz ansambla kratkoročnih napovedi. Kovariance so zelo pomembna količina v postopku asimilacije, saj določajo, kako so napake napovedi različnih spremenljivk (npr. temperature in vetra) med seboj povezane. Glavna domneva raziskave je bila, da lahko pričakujemo, da so kovariance pridobljene z metodo EnKF bolj realistične kot kovariance, ki jih uporablja variacijska metoda.

Produkt HLOS je bil v raziskavi definiran kot linearna kombinacija dveh komponent horizontalnega vetra. V poljubni točki v ozračju se HLOS računa z naslednjo enačbo: $HLOS(\alpha) = U \sin(\alpha) + V \cos(\alpha)$, kjer kot α predstavlja azimut, kot med usmerjenostjo lidarja in severom, U in V sta zonalna in meridionalna komponenta vetra.

V postopku asimilacije produkte kombiniramo s prvim približkom – zadnje kratkoročno modelsko napovedjo (običajno 3- ali 6-urno). Obema informacijama dodamo utež glede na njuni napaki. Razlika med analizo in prvim približkom se imenuje prirastek analize in opisuje vpliv meritev. Posamezen produkt ne vpliva samo na vrednost najbližje točke, ampak njegov vpliv sega v sosednje točke tako v horizontalni kot vertikalni smeri modelskega prostora. Ta prostorski vpliv je določen z lastnostmi napak, opisanih v matrikah kovarianc napak prvega približka in meritev. Produkt vpliva tudi na druge spremenljivke, tako da produkti, ki predstavljajo meritve vetra, vplivajo na analizo polja temperature in nasprotno. To medsebojno delovanje spremenljivk v asimilaciji imenujemo multivariatna asimilacija.

Primer prirastkov analize posameznega produkta HLOS pri različnih azimutih na polja temperature in vetra (U in V) na mirnem območju na pritiskovi ploskvi 850 hPa nad Severnim Atlantikom je prikazana na sliki 4. Veter na izbrani lokaciji (modra točka na sliki) je v prvem približku skoraj povsem zonalen ($U, V = (10.38, 0.91)$ m/s), smer vetra je za približno 5 stopinj severno od zonalne komponente. Produkt v isti točki kaže v enako smer kot prvi približek, vendar je veter za približno 3 m/s močnejši; ($U, V = (13.0, 1.14)$ m/s). Primer prikazuje posebno lastnost asimilacije HLOS v ansambelskem sistemu za asimilacijo. Amplituda prirastka zonalnega vetra narašča monotono z naraščanjem azimuta. V meridionalnem vetru pa je odvisnost kvadratne oblike, kar je posledica dveh mehanizmov. Bliže je azimut 0 stopinj, bolj naraščajo



Slika 4. Prirastki analize pri asimilaciji enega produkta HLOS za različne vrednosti azimuta. Meritve so asimilirane v območju šibkega vetra na pritiskovi ploskvi 850 hPa nad Severnim Atlantikom (modra točka). Prirastki temperature (K) so v obarvanih izolinijah, hitrost (m/s) je predstavljena s črtastimi izolinijami in vektorji. Referenčni eksperiment (UV) predstavlja asimilacijo zonalne in meridionalne komponente vetra (zgoraj levo). Barvna tabela in velikost vektorjev vetra sta na spodnjih dveh slikah prilagojena manjšim prirastkom analize.

prirastki v meridionalnem vetru zaradi večje korelacije med HLOS in meridionalno komponento vetra. Ko pa je azimut dovolj majhen, sta vrednosti HLOS v meritvi in v prvem približku zelo blizu 0 m/s, kar povzroči, da so prirastki zanemarljivi. Zelo podobni rezultati so predstavljeni v študiji Žagar (2004), kjer so v primeru tridimenzionalne variacijske metode asimilacije meritev HLOS komaj vplivale na drugo komponento vetra in druge spremenljivke. Ravno tako lahko opazimo zapleteno strukturo prirastkov analize. Ti so posledica matrike kovarianc, ki jo izračunamo iz polj ansambla prvega približka. Da so prirastki analize močno odvisni od lastnosti toka na območju meritev, je ena izmed prednosti ansambelskih metod asimilacije.

Glavni rezultati raziskave

Meritve vetra so pomembne predvsem pri opisu procesov, pri katerih je sklopitev med poljem lastnosti ozračja in poljem vetra šibka. To je, med drugim, pomembno v modelih z višjo ločljivostjo, kjer so še posebej pomembne meritve z višjo ločljivostjo, čemur pa Aeolus v svoji prvotni ideji ni namenjen. Toda, ker meritev vetra ni dovolj in ker ločljivost produktov iz meritev Aeolus ni fiksna, se poraja vprašanje o možni uporabi meritev Aeolus v modelih na mezo skali. Vpliv produktov HLOS na pripravo začetnih pogojev predstavlja glavno raziskovalno vprašanje doktorske disertacije.

Ovrednotenje vpliva produktov HLOS na analizo, je bilo narejeno v primerjavi z vplivom vektorja vetra oziroma njegove zonalne ali meridionalne komponente. Rezultati so najprej pokazali, da je vpliv meritev HLOS linearno razporejen med zonalni in meridionalni veter, z večjim vplivom na zonalno komponento. To je pričakovano, saj je HLOS nagnjen v smer 30 stopinj od zonalne smeri, torej bolje opisuje zonalno kot pa meridionalno komponento vetra. Ta linearnost je bila razvidna že v preteklih študijah (npr. Horanyi in sod., 2015), kar nakazuje na osnovno lastnost produktov HLOS ne glede na različne metode priprave začetnih pogojev, kot sta ansambelski pristop oziroma variacijski pristop.

Povprečen vpliv produktov HLOS na izboljšanje analize vetra na območju Severnega Atlantika in Evrope v obdobju 15 dni v mesecu septembru je statistično značilen v primerjavi z vplivom posamezne komponente vetra, oziroma vektorja vetra. Vpliv je sicer glede na pričakovano linearnost operatorja HLOS nekoliko manjši na meridionalno komponento.

Pomembnost opisa kovarianc napak za asimilacijo pri pripravi začetnega stanja za model v mezo skali je bila v doktoratu prikazana na primeru fronte v Severnem Atlantiku (Šavli in sod., 2018). Napake prvega približka in kovariance napak so vzdolž fronte v pasu širine okoli 100 km izrazito večje kot drugje

v modelskem območju. Podatki temperature so se v izbranem primeru izkazali za zelo uporabne, saj so prispevali relativno večje prirastke analize v zonalni in meridionalni komponenti vetra kot pa asimilacija vetra. Takšnega izrazitega multivariantnega vpliva v asimilacijskem ciklu dolgem 15 dni v povprečju sicer ni razbrati, saj so fronte hitro razvijajoče se strukture s prečno dimenzijo le nekaj 100 km. Relativno velik multivariantni vpliv je razviden tudi pri asimilaciji vetra HLOS. Vpliv HLOS je sicer po pričakovanjih razporejen linearno med zonalni in meridionalni veter.

Primerjava med asimilacijo meritev vektorja vetra in produktom HLOS usmerjenega v smer vektorja vetra je prav tako prvotnega pomena. V takšnem primeru bo HLOS 'videl' celotno polje vetra kljub dejstvu, da je HLOS skalarna količina. V študiji (Gao in sod., 2015) so pokazali, da takšno razlikovanje privede do razlik v asimilaciji, ki pa so predvsem posledica napačnega vrednotenja napak. V izbranem primeru, analiziranem v raziskavi, je asimilacija v obeh primerih privedla do znatno drugačnih prirastkov analiz. Prirastki v meridionalnem vetru so boljši, kot če asimiliramo obe komponenti vetra. Vendar pa so prirastki v zonalnem vetru slabši, kar kaže na dejstvo, da je razlika med primeroma predvsem v drugačni prostorski razporeditvi prirastkov analiz. Statistično značilnost teh rezultatov bi bilo potrebno preveriti v asimilacijskem ciklu, kar bi pokazalo, ali ima predstavitev podatkov meritev vetra za asimilacijo v sekvenčnem filtru značilen pomen.

Pozitivnega vpliva podatkov meritev HLOS v izbrani študiji ni možno neposredno uporabiti na meritvah Aeolusa. Aeolus namreč ne vidi pod oblaki, kar v prikazanih študijah ni bilo upoštevano. Prav tako je pokritost značilnega območja modela za omejeno področje z meritvami Aeolusa majhna. Pri tem je potrebno upoštevati tudi to, da meritve Aeolusa niso podatki v točki prostora, ampak so predstavljene kot uteženo povprečje vzdolž potovanja satelita.

Vprašanje vpliva meritev Aeolusa v meteorološkem modelu za omejeno območje je še posebej zanimivo zaradi možnosti povečanja ločljivosti produktov HLOS (t.i. akumulacija meritev). Vendar pa zaradi lastnosti merjenja z Dopplerjevim lidarjem večja ločljivost pomeni tudi večje napake meritev. Meritev se opravlja ločeno za Rayleighov in Mie del spektra. Zelo kakovostni so podatki meritev, izračunani iz Miejevega dela spektra, vendar pa je teh v zmernih zemljepisnih širinah tipično dvakrat manj kot meritev iz Rayleighovega dela spektra. Za uporabo meritev v postopku priprave začetnih pogojev numerične napovedi vremena je predvidena akumulacija meritev vzdolž tirnice dolžine 90 km. Meritve imajo v tem primeru napako velikostnega reda 2-3 m/s (Rayleigh), kar je več kot trenutno znašajo napake radiosondažnih meritev. Za potrebe prihodnjih študij vpliva meritev Aeolusa na napoved vremena

na območju Evrope in Severnega Atlantika je bila opravljena študija občutljivosti napake opazovanj kot funkcija ločljivosti meritev. Napaka v Miejevem delu spektra je skoraj stalna in je v povprečju 1,0–1,2 m/s za akumulacijo meritev med 90 km in 30 km. Vendar pa povečanje ločljivosti iz 90 na 30 km poveča število meritev na osnovi Miejevega sipanja za 2,5-krat na izbranem območju. Asimilacija meritev Aeolusa za pripravo začetnih pogojev za model na omejenem področju bo največ pridobila na račun večje ločljivosti meritev Miejevega sipanja (Šavli in sod., 2019).

Viri

- Medmrežje 1: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Aeolus/ESA_s_Aeolus_wind_satellite_launched
- Medmrežje 2: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Aeolus/Aeolus_winds_now_in_daily_weather_forecasts
- Medmrežje 3: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Aeolus/Aeolus_goes_public
- Medmrežje 4: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2020/ecmwf-starts-assimilating-aeolus-wind-data>
- Medmrežje 5: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2019/tests-show-positive-impact-new-aeolus-wind-data-forecasts>
- Anderson, J., Hoar, T., Raeder, K., Liu, H., Collins, N., Torn, R., Avellano, A. The data assimilation research testbed a community facility. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 90, 1283–1296 (2009).
- Baker, W. E., Atlas, R. M., Cardinali, C., Clement, A., Emmitt, G. D., Gentry, B. M., Hardesty, R. M., Källén, E., Kavaya, M. J., Langland, R., Ma, Z., Masutani, M., McCarty, W., Pierce, R. B., Pu, Z., Riishøjgaard, L. P., Ryan, J., Tucker, S., Weissmann, M., Yoe, J. G. Lidar-measured wind profiles: The missing link in the global observing system. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 95, 543–564 (2014).
- Dabas, A., Denneulin, M. L., Flamant, P., Loth, C., Garnier, A., Dolfi-Bouteyre, A. Correcting winds measured with a Rayleigh Doppler lidar from pressure and temperature effects. *Tellus* 60 A, 206–215 (2008).
- Gao, F., Huang, X.-Y., Jacobs, N. A., Wang, H. Assimilation of wind speed and direction observations: results from real observation experiments. *Tellus* 67, 27132 (2015).
- Ghil, M., Cohn, S., Tavantzis, J., Bube, K., Isaacson, E. *Applications of Estimation Theory to Numerical Weather Prediction*, 139–224 (Springer New York, New York, NY, 1981).
- Horanyi, A., Cardinali, C., Rennie, M., Isaksen, I. The assimilation of horizontal line-of-sight wind information into the ECMWF data assimilation and forecasting system. Part I: The assessment of wind impact. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 141, 1223–1232 (2015).
- Liou, Y. Y. *An introduction to atmospheric radiation* (Academic Press, 2002), 2nd edition.
- Marseille, G. J., Stoffelen, A. Simulation of wind profiles from a space-borne Doppler wind lidar. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 129, 3079–3098 (2003).
- Skamarock, W., Klemp, J., Dudhi, J., Gill, D., Barker, D., Duda, M., Huang, X.-Y., Wang, W., Powers, J. A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (2008).
- Stoffelen, A., Pailleux, J., Kallen, E., Vaughan, J. M., Isaksen, I., Flamant, P., Wergen, W., Andersson, E., Schyberg, H., Culoma, A., Meynart, R., Endemann, M., Ingmann, P. The atmospheric dynamics mission for global wind field measurement. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 86, 73–87 (2005).
- Stoffelen, A., Marseille, G. J., Bouttier, F., Vasiljevic, D., de Haan, S., Cardinali, C. Adm-aeolus doppler wind lidar observing system simulation experiment. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 132, 1927–1947 (2006).
- Šavli, M., Žagar, N., Anderson, J. L. Assimilation of horizontal line-of-sight winds with a mesoscale EnKF data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 144, 1–23 (2018).
- Šavli, M., Wedi, N., Kloe, J.-d., Marseille, G.-J., Rennie, M., Žagar, N. The prospects for increasing the horizontal resolution of the Aeolus horizontal line-of-sight wind profiles. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 145, 3499–3515 (2019).
- Tan, D. G. H., Andersson, E., De Kloe, J., Marseille, G. J., Stoffelen, A., Poli, P., Denneulin, M. L., Dabas, A., Huber, D., Reitebuch, O., Flamant, P., Le Rille, O., Nett, H. The ADM-Aeolus wind retrieval algorithms. *Tellus* 60 A, 191–205 (2008).
- Winker, D. M., Pelon, J., Coakley, J. A., Ackerman, S. A., Charlson, R. J., Colarco, P. R., Flamant, P., Fu, Q., Hoff, R. M., Kittaka, C., Kubar, T. L., Le Treut, H., McCormick, M. P., Magie, G., Poole, L., Powell, K., Trepte, K., Vaughan, M. A., Wielicki, B. A. The Calipso Mission: A Global 3D View of Aerosols and Clouds. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 91, 1211–1229 (2010).
- Žagar, N. Assimilation of equatorial waves by line-of-sight wind observations. *J. Atmos. Sci.* 61, 1877–1893 (2004).
- Žagar, N., Stoffelen, A., Marseille, G.-J., Accadia, C., Schlüssel, P. Impact Assessment of Simulated Doppler Wind Lidars with a Multivariate Variational Assimilation in the Tropics. *Mon. Weather Rev.* 136, 2443–2460 (2008).

Okrajšave

- AEOLUS** - ang. Atmospheric Dynamics Mission Aeolus
- ALADIN** - ang. Atmospheric Laser Doppler Instrument
- DART** - ang. Data Assimilation Research Testbed
- DARes** - Oddelek za razvoj metod asimilacije podatkov
- DWD** - nem. Deutscher Wetterdienst
- ECMWF** - Evropski center za srednjeročno napoved vremena
- EnKF** - ang. Ensemble Kalman filter
- HLOS** - ang. Horizontal LOS
- LOS** - ang. Line-Of-Sight
- NCAR** - ang. National Center for Atmospheric Research
- NWP** - ang. Numerical Weather Prediction
- WRF** - ang. Weather Research and Forecasting

Analiza vloge tropskih predelov v globalni napovedljivosti ozračja s pomočjo normalnih načinov

Katarina Kosovelj, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Uvod

Ozračje je zapleten sistem različnih procesov, na različnih časovnih in prostorskih skalah, ki so med seboj močno prepleteni. Naše sposobnosti numerične simulacije atmosferskih procesov so zato omejene, med drugim zaradi interakcije med procesi v različnih oddaljenih geografskih območjih, predvsem interakcije tropskih predelov z zmernimi širinami (Kalnay, 2003; Randall, 2014).

Teoretično ozadje

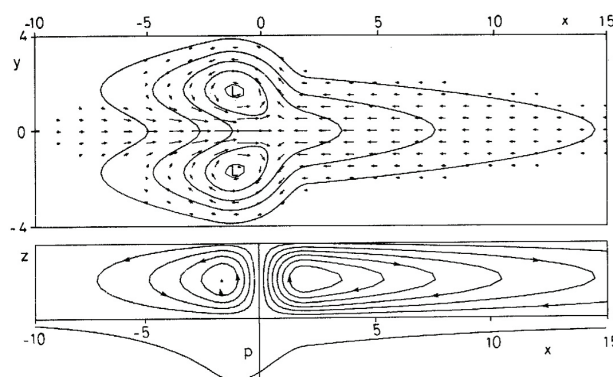
Transport toplote med tropskimi in polarnimi predeli v atmosferi poteka s tremi celicami meridionalne cirkulacije na vsaki polobli, s Hadleyevo celico v tropih, Ferrelovo celico v zmernih širinah in polarno celico. V spodnji troposferi prevladujejo vzhodniki v tropskih in polarnih predelih ter zahodniki v zmernih širinah. V zgornji troposferi prevladujejo zahodniki izven tropskih predelov, ki ponekod tvorijo močne subtropske vetrovne stržene, na primer nad vzhodno Azijo in zahodnim Pacifikom.

V zonalni smeri na splošno cirkulacijo vplivajo temperaturne razlike med kopnim in morjem, gorske pregrade in morski tokovi v oceanih. Kot posledici slednjih se v tropih ponavadi pojavljata vsaj dve celici tropske zonalne cirkulacije, t.i. Walkerjeva cirkulacija nad Pacifikom, in podobna celica nad Atlantikom (Lorenz, 1967; Randall, 2014; Holton, 2004).

Pri prenosu toplote od tropskih proti polarnim predelom v Ferrelovi celici pomagajo Rossbyjevi valovi. Pojavljajo se kot približno horizontalni valovi na zonalnem toku, na sinoptičnih in planetarnih skalah (Holton, 2004; Held, 1983).

V tropski cirkulaciji imajo pomembno vlogo tropski valovi. Že najenostavnejša teorija (Matsuno, 1966) loči med inercialno-težnostnimi (IG) valovi in (tropskimi) Rossbyjevimi valovi. Inercialno-težnostni valovi so težnostni valovi pod vplivom vrtenja Zemlje (Coriolisove sile). Potujejo lahko proti vzhodu (EIG) ali zahodu (WIG). Posebni primer tropskih IG valov je Kelvinov val, ki ima samo zonalno komponento

vetra, z maksimumom ob ekvatorju in eksponentnim pojemanjem hitrosti z oddaljevanjem od ekvatorja. Med tropskimi valovi je pomemben še t.i. ekvatorialni Rossbyjev val, predvsem zaradi njegove vloge v splošni cirkulaciji. Ponavadi se pojavlja v obliki dveh (ciklonalnih) vrtincev okrog dveh centrov nizkega zračnega tlaka, ki ležita na isti geografski dolžini, a simetrično vsak na svoji strani ekvatorja (slika 1).



Slika 1. Primer stacionarnega odziva enostavnega numeričnega modela atmosfere na termalno siljenje na ekvatorju. Zgoraj: odziv v zračnem tlaku in horizontalnem vetru. Viden je Kelvinov val ob ekvatorju, vzhodno od siljenja, ter vrtinca ekvatorialnega vala zahodno od siljenja. Spodaj: tokovna funkcija meridionalno povprečenega vetra in zračni tlak pri tleh. (Vir: Gill, 1980)

Atmosferski pojavi so lahko med seboj povezani, čeprav se dogajajo na geografsko zelo oddaljenih območjih. Eden izmed takšnih tropskih pojavov, ki vplivajo na atmosferske procese izven tropov, je Madden-Julianova oscilacija (MJO). Je del splošne cirkulacije v tropih, v zonalni smeri. Je ponavljajoč se pojav s periodami med 30 in 90 dnevi (Madden in Julian, 1971, 1972), povezan z globoko konvekcijo (Hendon in Salby, 1994a,b). MJO se začne nad Indijskim oceanom, z nizkim zračnim tlakom pri tleh in okrepljeno globoko konvekcijo. Nad zahodnim Pacifikom se pojavita spuščanje zraka in visok zračni tlak. Kombinacija okrepljene in oslabiljene konvekcije vzdolž ekvatorja povzroča anomalije v Walkerjevi cirkulaciji (npr. Adames in Wallace, 2014). S časom se okrepljena konvekcija pomika proti vzhodu, se sprva še okrepi, nato pa razpade nad zahodnim



Pacifikom (Madden in Julian, 1972). Poleg odziva Walkerjeve cirkulacije se osnovni odziv na povečano konvekcijo lahko opiše kot kombinacijo Kelvinovega in ekvatorialnega Rossbyjevega vala, v podobni obliki kot klasični Gillov odziv (Gill, 1980) s slike 1. Cikel MJO se pogosto opiše z osmimi fazami, od katerih so nekatere bolj podobne dipolnemu vzorcu diabatnega gretja atmosfere (en center s segrevanjem in en z ohlajanjem - takšni sta npr. fazi 2 in 6), drugi pa so bolj podobni monopolnemu vzorcu (npr. en center s segrevanjem ali ohlajanjem - npr. fazi 4 in 8) (Cassou, 2008; Lin in sod., 2009).

Cilji doktorske disertacije

Prvi cilj moje doktorske dizertacije je validacija poenostavljenega modela splošne cirkulacije s pomočjo razcepa podatkov na ortogonalne funkcije normalnih načinov.

Drugi cilj je prikaz uporabnosti modela SPEEDY za študije napovedljivosti.

Namen prvih dveh ciljev je utemeljitev uporabe modela SPEEDY v tretjem, glavnem delu moje dizertacije. V njem se ukvarjam z modelskim odzivom na štiri stacionarne perturbacije v diabatnem gretju, podobne MJO. Odziv analiziram s pomočjo projekcije na normalne načine gibanj.

Metodologija

Normalni načini gibanj

Normalni načini gibanj (eng. Normal mode functions - NMF) so lastne rešitve lineariziranih osnovnih 3D enačb gibanja na sferi. So ortogonalni, sestavljajo jih vertikalne strukturne funkcije v vertikalni smeri in Houghove funkcije v horizontalni smeri. Slednje sestavljajo sinusni valovi v zonalni smeri in kombinacije pridruženih Legendrovih polinomov v meridionalni smeri. Ločene rešitve obstajajo za proti vzodu potujoče in proti zahodu potujoče IG valove ter Rossbyjeve valove. Ker NMF-ji sestavljajo ortogonalno bazo v 3D prostoru, lahko nanje projiciramo podatke, npr. modelske izračune (Kasahara in Puri, 1981).

Najpomembnejši tropski valovi so sestavni del NMF-jev, vsakega opisujejo točno določene Houghove funkcije. Kelvinov val opisuje Houghova funkcija za EIG valove z meridionalnim indeksom 0, ekvatorialni Rossbyjev val pa Houghova funkcija za Rossbyjeve valove z meridionalnim indeksom 1 (t.i. Rossbyjev $n=1$ val). Rossbyjeve valove izven tropov lahko opišemo s kombinacijo Houghovih funkcij za Rossbyjeve valove, z meridionalnimi indeksi večjimi od 1 (Kasahara in Puri, 1981).

V nadaljevanju bom za meridionalne načine uporabljala oznako n , za zonalna valovna števila pa k .

Model SPEEDY

Za numerične simulacije sem uporabila model ICTP AGCM (SPEEDY; Molteni, 2003; Kucharski in sod., 2006). Je spektralni model z vertikalno koordinato σ . Natančnejši opis uporabljene verzije 41 je dosegljiv na: <http://users.ictp.it/~kucharsk/speedy-net.html>. Model ima 8 vertikalnih nivojev, modelski rezultati so podani na Gaussovski mreži s približno horizontalno resolucijo $3,75^\circ \times 3,75^\circ$. V spektralnem prostoru je uporabljenih 30 valovnih števil (T30).

Površinska temperatura morja (SST) se lahko v SPEEDY-ju uporablja na dva načina. Lahko uporabimo vnaprej pripravljene robne pogoje, lahko pa SST model računa s preprostim oceanskim modelom plasti mešanja konstantne globine.

Za validacijo modela je bila uporabljena reanaliza ERA-20C (Poli in sod., 2016). Podatki so bili pridobljeni iz arhiva ECMWF kot mesečna povprečja na horizontalni mreži enaki SPEEDY-jevi. V vertikalni smeri so bili interpolirani na σ nivoje, nato pa je bilo uporabljenih le 8 nivojev, najbližjih SPEEDY-jevimi. Za ohranitev primerljivosti podatkov s SPEEDY-jevimi so bili nato podatki iz reanaliz tretirani na enak način kot SPEEDY-jevi modelski izračuni.

Validacija cirkulacije ozračja v modelu SPEEDY v odvisnosti od prostorske skale

Validacija cirkulacije ozračja na klimatoloških časovnih skalah

V Žagar in sod. (2019) je opisana validacija modela SPEEDY v odvisnosti od prostorske skale za vsoto Rossbyjevih in IG načinov. Validacija je narejena le v odvisnosti od zonalnih valovnih števil. Cilj tega dela pa je razširitev validacije na meridionalne načine ter ločena validacija Rossbyjevih in IG načinov.

Dve integraciji modela SPEEDY sta bili primerjani z reanalizo ERA-20C, prva s predpisanim SST (SPEEDY-SST), druga z uporabo oceanskega modela (SPEEDY-CLIM). Za modelsko integracijo s predpisanim SST je bil uporabljen enak SST kot v ERA-20C. Primerjava modelskih rezultatov z reanalizo je bila narejena za obdobje od januarja 1961 do decembra 2010. Modelski rezultati so bili podani kot mesečna povprečja, primerjava med modelom in reanalizo pa je bila narejena na klimatologijah letnih in sezonskih povprečij.

Analiza v modalnem prostoru je bila narejena spomočjo treh enostavnih statistik: energije, variance in sistematčne napake.

Povzetek rezultatov validacije

Razporeditev energije v modalnem prostoru

Večina energije v vseh treh nizih podatkov (SPEEDY-CLIM, SPEEDY-SST in ERA-20C) je v normalnih načinih povezanih s cirkulacijo na velikih skalah v tropih in izven njih, ter z asimetrijo med severno in južno poloblo. Približno 1 % celotne energije je v IG načinih. Pri valovih ($k > 0$) je v IG načinih med 10 in 15 % energije, odvisno od niza podatkov in letnega časa.

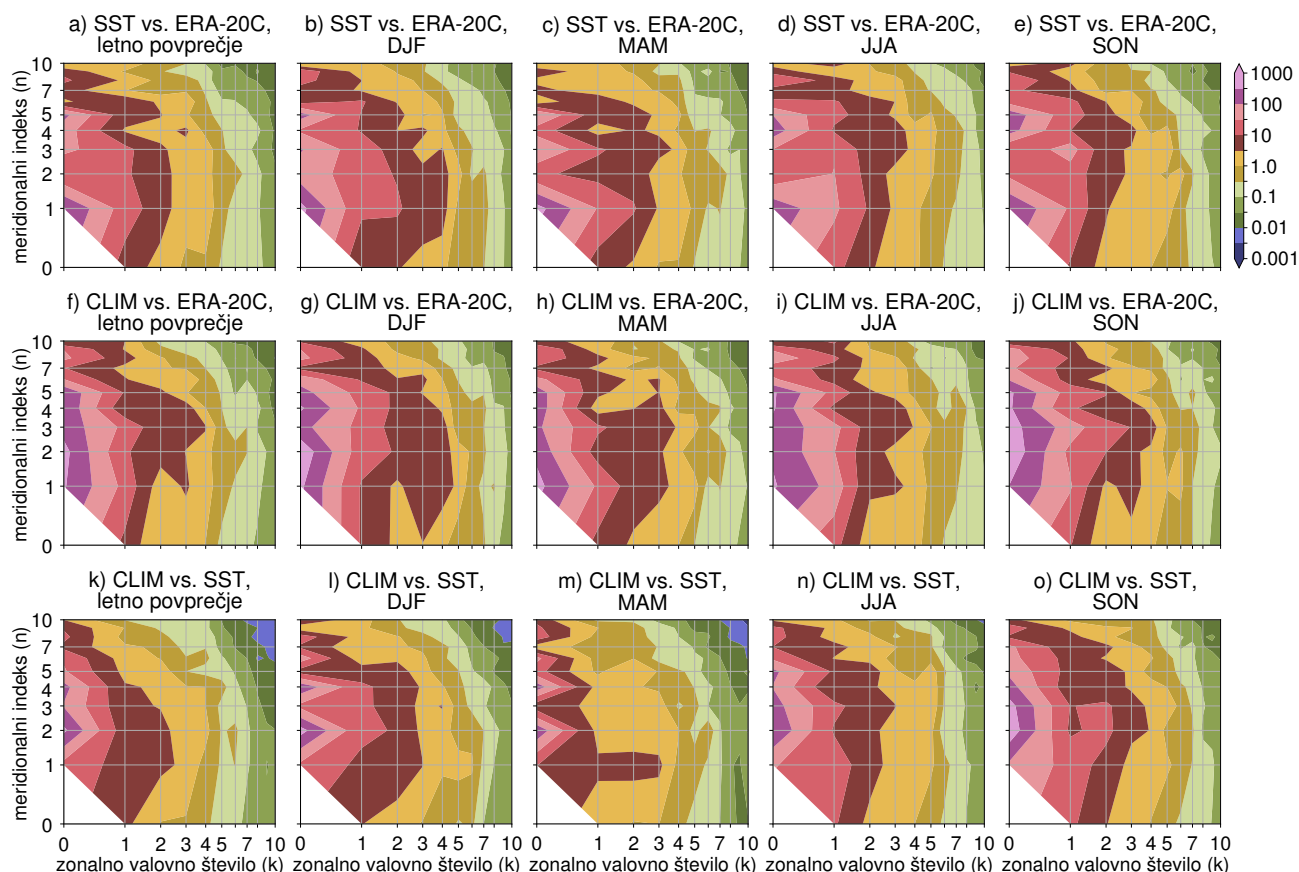
SPEEDY precenjuje celotno globalno energijo v primerjavi z ERA-20C, a zaradi preveč zonalno orientirane cirkulacije podcenjuje energijo v valovih ($k > 0$). Sposoben je zadovoljivo simulirati razporeditev celotne energije ter Rossbyjevega in IG dela med zonalna valovna števila in meridionalne načine. Enako velja za spremembe te razdelitve z letnimi časi. Med meridionalnimi načini oba SPEEDY-ja precenjujeta energijo v načinih povezanih s SPEEDY-jevo pomanjkljivo simulacijo zahodnikov v zgornji

troposferi, predvsem na južni polobli. SPEEDY energijo v IG načinih v splošnem podcenjuje. Zaradi sistematčne napake v SST v SPEEDY-CLIM simulaciji pride do premika tropske cirkulacije vzhod-zahod in Hadleyeve cirkulacije proti severu, kar se kaže v preveliki količini energije v IG načinih asimetričnih glede na ekvator.

Časovna variabilnost

Časovna varianca je odvisna od prostorske skale, največja varianca je na največjih skalah. Varianca v Rossbyjevih načinih prevladuje, v IG načinih je zgolj 2,5 do 3,3 % variance. Tako v Rossbyjevih kot v IG načinih SPEEDY močno podcenjuje varianco v zonalnem povprečju ($k=0$).

Meridionalni načini z največjo časovno variabilnostjo so tropski Rossbyjevi $n=1$ in Kelvinovi valovi ter Rossbyjevi načini povezani z dogajanjem izven tropov. SPEEDY-SST podcenjuje varianco v vseh načinih (Rossbyjevih in IG), a ima približno pravilno porazdelitev variance na največjih skalah. SPEEDY-CLIM praktično nima časovne variabilnosti v Rossbyjevem $n=1$ načinu in IG načinih, z izjemo Kelvinovih valov.



Slika 2. Razporeditev variance sistematčne napake (v J/kg) med zonalna valovna števila in meridionalne načine. Varianca sistematčne napake za klimatologijo letnih povprečij (a,f,k) in povprečij letnih časov. (a-e) SPEEDY-SST v primerjavi z ERA-20C, (f-j) SPEEDY-CLIM v primerjavi z ERA-20C, in (k-o) SPEEDY-CLIM v primerjavi s SPEEDY-SST.

Sistematična napaka

V Žagar in sod. (2019) je opisana velika sistematična napaka v obeh simulacijah SPEEDY v zonalnem povprečju. Vzrok je preveč zonalno orientiranem toku v SPEEDY-ju, predvsem v stratosferi in zgornji troposferi. Pomembne sistematične napake se pojavljajo še v Rossbyjevih $n=1$, Kelvinovih in IG $n=1$ načinih kot posledica sistematične napake v tropskih vzhodnikih in prešibke Hadleyeve cirkulacije v SPEEDY-ju. Izven tropov se velike sistematične napake pojavljajo predvsem v stratosferi, zahodnikih v višji troposferi in v območjih poti ciklonov zmernih širin (t.i. storm tracks) v spodni troposferi. V modalnem prostoru se te sistematične napake kažejo v simetričnih (lihih) Rossbyjevih $n>1$ načinih (slika 2 - za $n>1$ približno velja tudi za Rossbyjeve valove). Zaradi sistematične napake v SST ima SPEEDY-CLIM veliko sistematično napako v asimetričnem Rossbyjevem $n=2$ načinu, kar je bilo potrjeno z izračunom sistematične razlike med SPEEDY-CLIM in SPEEDY-SST.

Splošni komentar

Oceanski model v SPEEDY-CLIM je preveč poenostavljen, da bi bil sposoben pravilno simulirati povprečje in časovno variabilnost v SST, kar se kaže v slabših simulaciji atmosferske cirkulacije v primerjavi s SPEEDY-SST. Zaradi tega je v nadaljnjih eksperimentih uporabljen SPEEDY s predpisanim SST.

Naraščanje začetnih nezanesljivosti v SPEEDY-ju

V tem delu pokažem sposobnosti modela SPEEDY, da realistično simulira rast nezanesljivosti v globalnih napovedih.

Rast začetnih nezanesljivosti v SPEEDY-ju sem primerjala z rastjo nezanesljivosti v modelih za numerično napovedovanje vremena, pri čemer sem se osredotočila na ločeno primerjavo rasti Rossbyjevih in IG načinov. Splošne lastnosti rasti razpršenosti v SPEEDY-ju so v marsičem podobne rasti razpršenosti v modelu ECMWF (Žagar in sod., 2015; Žagar, 2017). SPEEDY tako ima potencial za uporabo v študijah napovedljivosti, ravno tako pa je primeren za uporabo v naslednjem poglavju.

Odziv Rossbyjevih in IG valov na tropske diabatne perturbacije, podobne MJO

Obstajajo že študije atmosferskega odziva na kvazi-stacionarne tropske diabatne perturbacije, podobne posameznim fazam MJO. Ni pa bilo še narejene študije, ki bi s pomočjo razcepa na NMF analizirala

atmosferski odziv na idealizirane tropske diabatne perturbacije, podobne posameznim fazam MJO.

Cilj tega poglavja je primerjava atmosferskega odziva na štiri različne idealizirane stacionarne tropske diabatne perturbacije z enakimi amplitudami, ki ustrezajo štirim različnim fazam MJO. Zanimala me je vloga odziva v Rossbyjevi in IG cirkulaciji, predvsem Kelvinovega in Rossbyjevega $n=1$ vala. Poleg tega je bila s pomočjo razcepa na normalne načine narejena tudi kvantifikacija deleža odziva v posameznih načinih, predvsem pa razdelitev variance v Rossbyjevi in IG cirkulaciji ter Kelvinovem in Rossbyjevem $n=1$ valu med zonalna valovna števila in meridionalne načine. Na koncu se dotaknem tudi vprašanja kako najvišja orografija severne poloble vpliva na obliko in amplitudo odziva. Večina rezultatov je objavljenih v Kosovelj in sod. (2019).

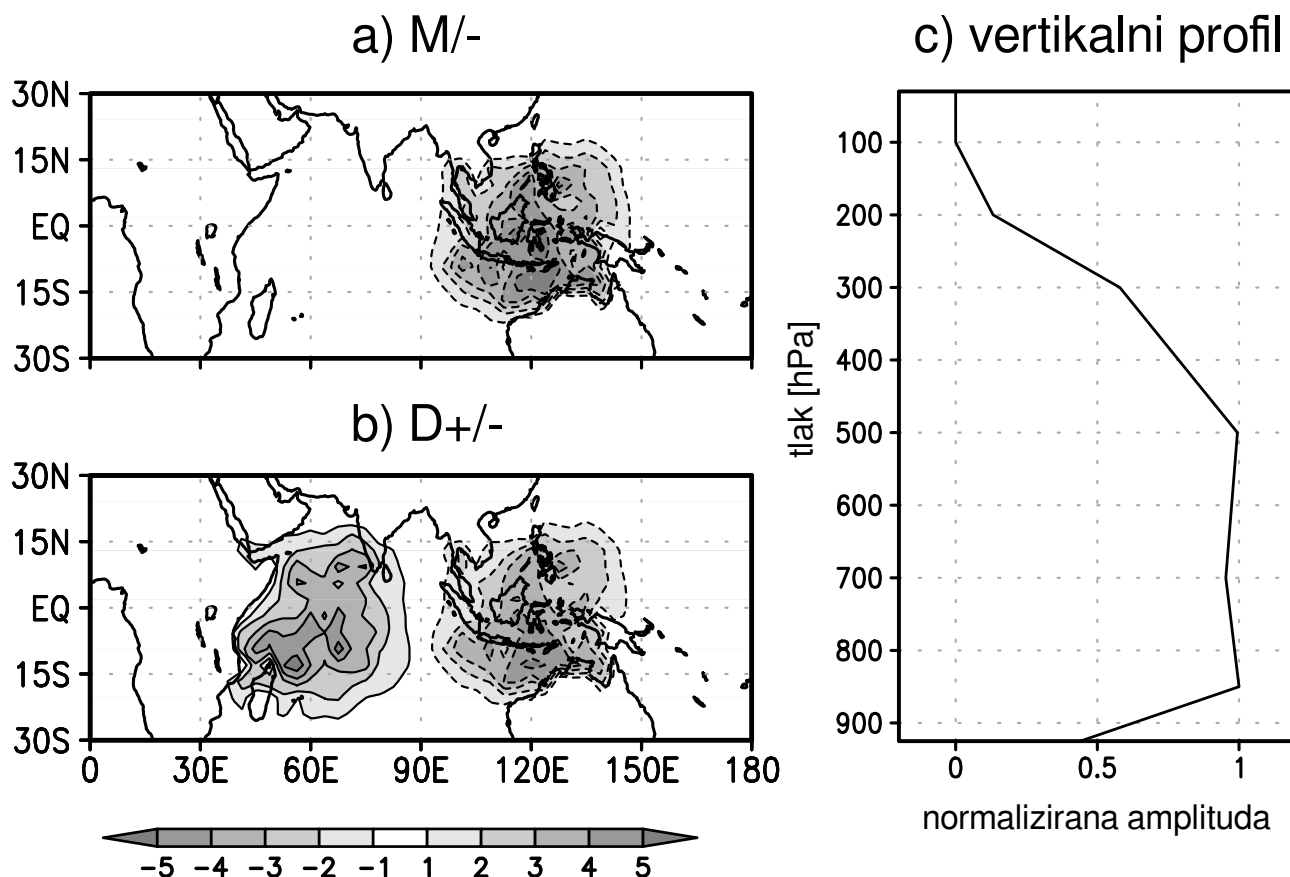
Metodologija

S SPEEDY-jem so bili izračunani štirje ansamblji. Edina razlika med njimi je v lokaciji tropske diabatne perturbacije in njenem predznaku.

Najprej je bila izračunana 102 leti (1909-2010) dolga modelska integracija brez perturbacij, ki vsem štirim ansamblom služi kot kontrolna integracija. Od leta 1911 naprej je bil model zagnan z dodatnimi tropskimi diabatnimi perturbacijami za vsak 1. januar. Vsaka takšna integracija je obsegala prvih 90 dni v letu in predstavlja en član enega ansambla. Vsak ansambel pa obsega 100 let - torej 100 članov. Modelski rezultati so bili shranjeni kot dnevna povprečja. SST je bil predpisan vnaprej, enak kot v ERA-20C.

Vsak eksperiment je bil pripravljen z drugačnimi tropskimi diabatnimi perturbacijami, ki so bile v model dodane kot tendence temperature, pri čemer so bile upoštevane povratne zanke preko konvekcije in kondenzacije. Dodane perturbacije so sinusne oblike, z maksimumi nad Indijskim oceanom in Indonezijo. V horizontalni smeri so bile v vsaki modelski točki pomnožene z naključnim faktorjem 0 ali 1, kar simulira naključnost konvekcije. Povprečne perturbacije so predstavljene na sliki 3 za eksperimenta M/- (ohlajanje nad Indonezijo - fazi MJO 1 in 8) in D+/- (faza 2). Eksperimenta M/+ (gretje nad Indonezijo, faza 4) in D-/+ (fazi 5 in 6) imata podobna vzorca z obrnjenimi predznaki glede na M/- in D+/-.

Atmosferski odziv je bil analiziran v fizikalnem in modalnem prostoru. V fizikalnem prostoru so bili rezultati analizirani v obliki povprečne razlike med posameznimi člani ansambla in kontrolno integracijo, v modalnem prostoru pa v obliki variance, definirane s kvadratom razlike med posameznimi člani ansambla in kontrolno integracijo. Preverjena je bila tudi



Slika 3. Tropski diabatni perturbaciji (a) M/- in (b) D+/-, povprečeni preko 90 dni, na 500 hPa. Polne izolinije predstavljajo dodatno segrevanje, prekinjene izolinije pa ohlajanje. (c) Povprečni vertikalni profil perturbacij, normaliziran s povprečno perturbacijo na 500 hPa. Prilagojeno po Kosovelj in sod. (2019)

statistična značilnost odziva v fizikalnem prostoru. Opisani rezultati so statistično značilni s stopnjo zaupanja 95 %.

Povzetek rezultatov

Odziv v fizikalnem prostoru

Kratkoročni odziv (na 3. dan) na monopolne perturbacije je podoben odzivu na tropske perturbacije, ki ga je opisal Gill (1980). Blizu ekvatorja ga sestavljajo zonalni vetrovi, ki spominjajo na Kelvinov val, vrtinci severno in južno od območja perturbacij pa spominjajo na ekvatorialni Rossbyjev val. Odziv je baroklin. Kar spominja na Kelvinov val, se dejansko večinoma projicira na IG del odziva, kar izgleda kot ekvatorialni Rossbyjev val, se večinoma projicira na Rossbyjeve načine. Odziv na dipolno perturbacijo je približno enak vsoti odzivov na dve monopolni perturbaciji različnih predznakov, med seboj oddaljeni za 60° geografske širine. Odziva na M/- in D+/- perturbaciji sta po obliki in amplitudi zelo podobna odzivom na M/+ in D-/+ perturbaciji, le predznaki so obrnjeni.

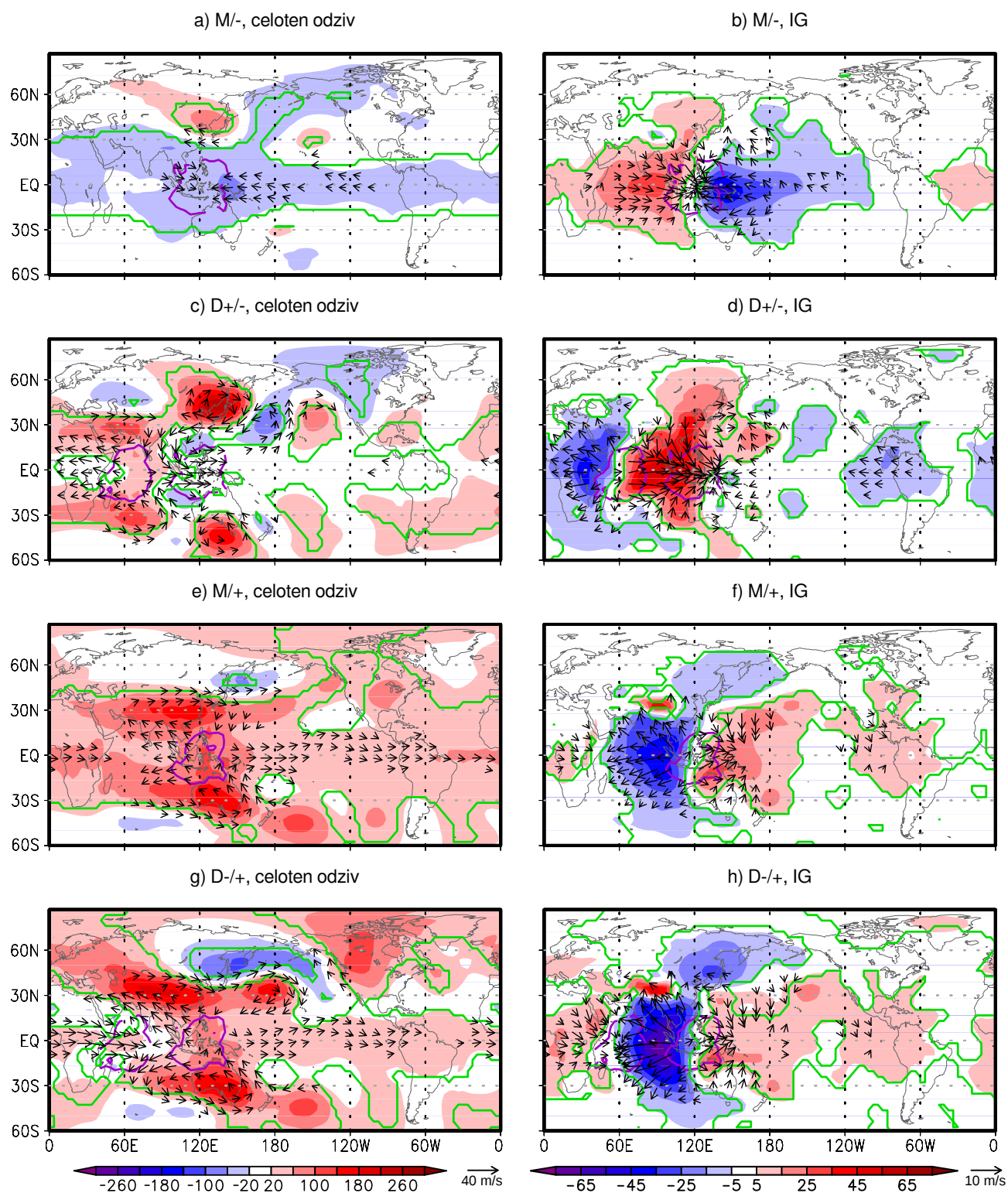
Nekaj dni kaseneje se pojavi statistično značilen vzorec barotropnih Rossbyjevih valov (eng. Rossby

wave train, RWT) izven tropov. V srednjeročnem odzivu (na 14. dan, slika 4) je RWT izven tropov že popolnoma razvit. V tropskih območjih kljub večji amplitudi in drugačnemu prostorskemu vzorcu, odziv sestavljajo podobni gradniki kot v kratkoročnem odzivu. Kljub temu, da je odziv na 14. dan sestavljen podobno za vse štiri eksperimente, sta natančen vzorec in jakost odziva močno odvisni od tega, ali imamo dipol ali monopol ter od predznakov posameznih perturbacij. V primeru enakih velikosti pozitivnih in negativnih perturbacij, je odziv določen pretežno s pozitivnim polom, tudi v primeru perturbacij dipolne oblike.

Negativni pol perturbacije je pomemben, saj lokalizira tropski odziv in prispeva k obliki in amplitudi RWT izven tropov. V primeru D-/+ se zaradi nje pojavi statistično značilen srednjeročni odziv nad Evropo, ki bi lahko vplival tudi na vreme v Evropi.

Odziv v modalnem prostoru

Sliki 5 in 6 prikazujeta razporeditev variance odziva med meridionalne načine in zonalna valovna števila in predstavljata enega glavnih rezultatov tega poglavja.



Slika 4. Celotni (a,c,e,g) in IG (b,d,f,h) odziv na tropske diabatne perturbacije na 200 hPa. Vijolične črte prikazujejo izolinijo povprečne perturbacije ± 2 K/dan, s slike 3. Zelene črte prikazujejo izolinijo 95 % statistične značilnosti za geopotencial. Vetrovi so risani za hitrosti večje od 7 m/s za celoten odziv ter večje od 1,5 m/s za IG odziv.

Vpliv oblike perturbacije (ali je le-ta dipolna ali monopolna) se lepo vidi v kratkoročnem odzivu. Za razliko od monopolne perturbacije, ki ima največjo varianco v zonalnem valovnem številu $k=1$, dipolna

perturbacija sproži največji odziv v valovnih številih $k=2-3$. To je povezano z zonalno skalo perturbacije, ki ima valovno število tri. V srednjeročnem odzivu imajo vse perturbacije največji odziv v $k=1$. Dipolne

perturbacije povzročajo relativno večji odziv v planetarnih in sinoptičnih skalah v primerjavi z monopolnimi perturbacijami, zaradi večje amplitude RWT. Precejšen delež variance, 10-15 % je tudi v zonalnem povprečju ($k=0$).

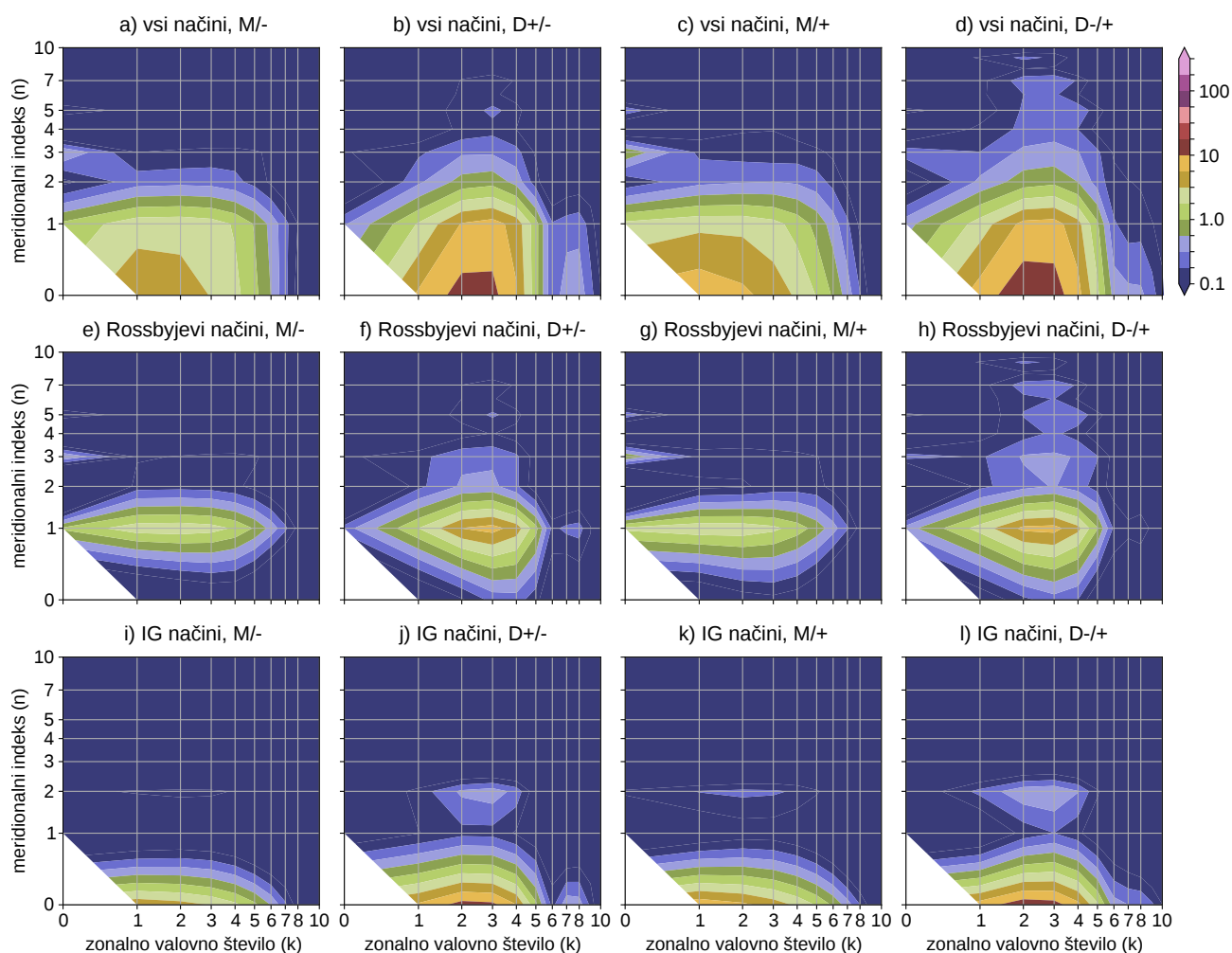
Kratkoročni odziv je večinoma v IG načinih, na 3. dan je v IG načinih približno 60 % celotne variance, od tega večina v Kelvinovem valu. V srednjeročnem odzivu, na 14. dan, je še vedno okrog 10 % celotne in večina IG variance v Kelvinovem valu.

Ne glede na časovno skalo je glavni prispevek k Rossbyjevemu delu variance v Rossbyjevem $n=1$ načinu. Na 3. dan je v njem okrog 80 % variance Rossbyjevih načinov. Na 14. dan je več kot 50 % variance Rossbyjevih načinov v Rossbyjevih načinih z $n>1$, pretežno povezanih z odzivom izven tropskih predelov (RWT).

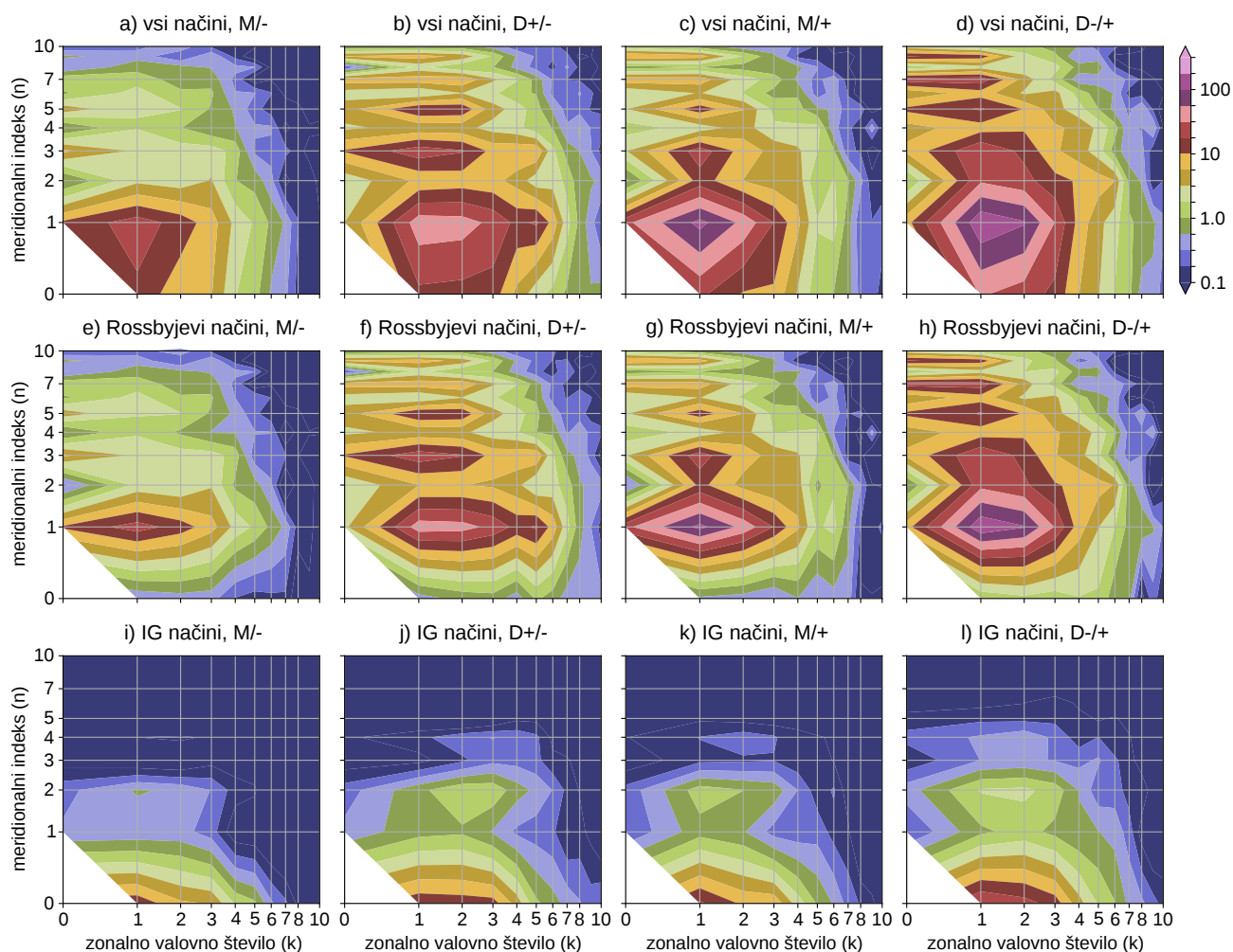
Vpliv orografije severne poloble na odziv izven tropskih predelov

Narejeni so bili trije dodatni eksperimenti z D+/- perturbacijo. V prvem je bila orografija na območju Himalaje in Tibeta znižana na 100 m, v drugem je bilo podobno narejeno za območji Skalnega gorovja in Grenlandije, v tretjem pa za vsa zgoraj omenjena območja.

Visoka orografija severne poloble ima srednjeročen vpliv na obliko in amplitudo RWT, saj omejuje razširjanje odziva v nekaterih smereh. Himalaja in Tibet vplivata predvsem na povečano amplitudo odziva nad Japonsko in vzhodno Azijo ter onemogočata širjenje odziva nad zahodno in centralno Azijo. Skalno gorovje in Grenlandija otežujeta širjenje odziva vzhodno od severne Amerike.



Slika 5. Razporeditev variance med zonalna valovna števila in meridionalne načine na 3. dan (v J/kg). (a-d) Celotna varianca, (e-h) Rossbyjev del in (i-l) IG del.



Slika 6.

Zaključki

Ta dizertacija predstavlja odziv globalne cirkulacije na motnje v tropskem diabatnem gretju in razcep tega odziva na normalne načine gibanj. Razcep na normalne načine omogoča diagnostiko 3D cirkulacije v odvisnosti od prostorske skale, s pomočjo Rossbyjevih in IG valov.

Za numerične simulacije v disertaciji uporabljam model ICTP AGCM (SPEEDY). SPEEDY je poenostavljen model, a še vedno sposoben reproducirati vzorce kratkoročne in povprečne klimatološke cirkulacije na velikih prostorskih skalah.

Glavni fokus te disertacije je na študiji vpliva stacionarnih tropskih diabatnih perturbacij, podobnih Madden-Julianovi oscilaciji (MJO), na globalno cirkulacijo, s poudarkom na njenih Rossbyjevih in IG valovih.

V disertaciji sem pokazala, da realistična formulacija perturbacij v diabatnem gretju, z upoštevanimi povratnimi zankami zaradi vlažnih procesov, ne daje bistveno drugačnih rezultatov kot jih dajejo modeli brez vlage z dodanimi perturbacijami v temperaturi, kakršni so bili pogosto uporabljeni v podobnih študijah. Odziv cirkulacije je večinoma pogojen s pozitivno anomalijo v gretju, vendar meddelovanje obeh polov (pozitivne in negativne anomalije) v dipolu lokalizira odziv v tropih in vpliva na obliko in orientacijo Rossbyjevih valov, ki se širijo iz subtropskih območij. Kratkoročni odziv se projicira predvsem na IG načine, še posebej na Kelvinov val. V srednjeročnem odzivu dominirajo Rossbyjevi načini. Izmed posameznih valov največji prispevek k varianci Rossbyjevih valov prispeva Rossbyjev način $n=1$, ne glede na časovno skalo odziva. Vpliv orografije na razširjanje odziva izven tropov je sicer statistično značilen, a majhen.

Viri

- Adames, A. F. in Wallace, J. M., 2014: Three-dimensional structure and evolution of the MJO and its relation to the mean flow. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 71, 2007-2026
- Cassou, C., 2008: Intraseasonal interaction between the Madden-Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation. *Nature*, Vol. 455, 523-527
- Gill, A. E., 1980: Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 106, 447-462
- Held, I. M., 1983: Stationary and quasi-stationary eddies in the extratropical troposphere: theory. V: Hoskins, B. J. in Pearce, P. R.: *Large-Scale Dynamical Processes in the Atmosphere*. Academic Press, 127-168
- Hendon, H. H. in Salby, M. L., 1994a: Intraseasonal behavior of clouds, temperature, and motion in tropics. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 51, 2207-2224
- Hendon, H. H. in Salby, M. L., 1994b: The life cycle of the Madden-Julian Oscillation. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 51, 2225-2237
- Holton, J. R., 2004: *An introduction to dynamic meteorology*. Elsevier Academic Press
- Kalnay, E., 2003: *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. Cambridge University Press
- Kasahara, A. in Puri, K., 1981: Spectral representation of three-dimensional global data by expansion in normal mode functions. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, 37-51
- Kosovelj, K. in sod., 2019: Modal decomposition of the global response to tropical heating perturbations resembling MJO. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 76, 1457-1469
- Kucharski, F., Molteni, F. in Bracco, A., 2006: Decadal interactions between the western tropical Pacific and the North Atlantic Oscillation. *Clim. Dyn.*, Vol. 26, 79-91
- Lin, H., Brunet, G. in Derome, J., 2009: An observed connection between the North Atlantic Oscillation and the Madden-Julian Oscillation. *J. Climate*, Vol. 22, 364-380
- Lorenz, E. N., 1967: *The nature and theory of the general circulation of the atmosphere*. WMO
- Molteni, F., 2003: Atmospheric simulations using a GCM with simplified physical parametrizations. I: model climatology and variability in multi-decadal experiments. *Clim. Dyn.*, Vol. 20, 175-195
- Poli, P. in sod., 2016: ERA-20C: An atmospheric reanalysis of the twentieth century. *J. Clim.*, Vol. 29, 4083-4097
- Randall, D. A., 2014: *An Introduction to the global circulation of the atmosphere*.
- Madden, R. A. in Julian, P. R., 1971: Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 28, 702-708
- Madden, R. A. in Julian, P. R., 1972: Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 29, 1109-1123
- Matsuno, T., 1966: Quasi-geostrophic motions in the equatorial area. *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 44, 25-43
- Žagar, N., Buizza, R. in Tribbia, J., 2015: A Three-Dimensional Multivariate Modal Analysis of Atmospheric Predictability with Application to the ECMWF Ensemble. *J. Atmos. Sci.*, Vol. 72, 4423-4444
- Žagar, N., 2017: A global perspective of the limits of prediction skill of NWP models. *Tellus A*, Vol. 69, 1317573
- Žagar in sod., 2019: An assessment of scale-dependent variability and bias in global prediction models. *Sprejeto v Clim. Dyn.*

Barokline in barotropske oscilacije zmernih širin

Lina Boljka, Department of Meteorology, University of Reading

Uvod

Oscilacije v atmosferi so del spremenljivosti klimatskega sistema, ki imajo globalen vpliv na lokalno podnebje in vreme. Te oscilacije so ponavadi definirane kot empirične ortogonalne funkcije (EOF), ki predstavljajo največ variance v neki količini. EOF-i imajo prostorski vzorec hkrati pa tudi časovno vrsto, ki ju lahko uporabimo pri naših analizah. Med oscilacije na primer uvrščamo El Niño južno oscilacijo, Madden-Julianovo oscilacijo, severno-atlantsko oscilacijo, arktično in antarktično oscilacijo. V zmerinah širin sta najbolj pomembni oscilaciji arktična (severna polobla) in antarktična (južna polobla) oscilacija (AO oz. AAO; npr. Thompson in Wallace 2000), ki na teh območjih predstavljata pribl. 20-30% variabilnosti v npr. vetru, tlaku oz. geopotencialu. Ker se AO in AAO nahajata v zmerinah širinah, ki spominjajo na obliko torusa oz. v ravnini gre za annulus (angl.) (del ravnine obdane z dvema koncentričnima krogoma različnih radijev; zmerne širine omejujejo polarni in tropski predeli), jima v angleščini pravimo tudi 'annular modes', pri čemer je AAO 'southern annular mode' (SAM) in AO 'northern annular mode' (NAM). Zaradi kvazi-barotropske (oz. šibke) vertikalne strukture teh dveh oscilacij jima lahko tudi rečemo barotropski oscilaciji (črte, plastnice, na sliki 1a). Ti dve oscilaciji sta povezani z meridionalnimi premiki v zonalnem vetru in s tem tudi vplivata na spremembe v temperaturi, porazdelitvi morskega ledu in poti ciklonov na obeh poloblah na časovnih skalah pribl. 10 dni.

Medtem ko poznamo ti dve barotropski oscilaciji, lahko definiramo tudi podobni baroklini oscilaciji na obeh poloblah (črte, plastnice, na sliki 1b; Thompson in Woodworth 2014, Thompson in Li 2015), angl. 'baroclinic annular mode' (BAM), ki sta osnovani na kinetični energiji vrtincev (angl. 'eddy kinetic energy' oz. EKE) in imata močnejšo vertikalno strukturo, ter katerih vplive šele začenjamo razumeti (npr. Thompson in Barnes 2014, Marshall in sod. 2017). BAM ima daljšo časovno skalo pribl. 25 dni, opisuje spremembe v magnitudi EKE oz. aktivnosti ciklov in ga lahko povežemo z baroklinim oscilatorjem (Thompson in Barnes 2014).

Barokline in barotropske oscilacije so zelo pomembne, saj so močno povezane z dinamičnimi procesi v troposferi zmerinah širin, ki vključujejo krepitev (preko baroklinih procesov) in slabitev (preko barotropskih

procesov) ciklonov, in ki se kažejo v povečanju in kasnejšem zmanjšanju EKE. Medtem ko lahko v splošnem opazimo, da so baroklini in barotropski procesi povezani (npr. Simmons in Hoskins 1978, Robinson 2000), sta baroklina in barotropska oscilacija med seboj neodvisni (Thompson in Woodworth 2014, Thompson in Barnes 2014, Boljka in sod. 2018). Slednje je v nasprotju z našim razumevanjem baroklinih in barotropskih procesov, zato sem del doktorskega raziskovanja namenila prav razumevanju povezav med baroklinimi in barotropskimi procesi, in vprašanju, kako sta lahko baroklina in barotropska oscilacija neodvisni, kar predstavljam tudi v tem članku.

Cilj moje doktorske naloge je bil izboljšati razumevanje baroklinih in barotropskih procesov skozi interakcije planetarnih in sinoptičnih valov v atmosferi (Boljka in Shepherd 2018, 2020), za katere do danes še nimamo celovite teorije. Tu predstavljam zgolj del doktorske naloge, ki se nanaša na barokline in barotropske oscilacije (povzeto po Boljka in sod. 2018), ko planetarni valovi niso prisotni oz. so šibki (npr. zmerne širine Zemljine južne poloble).

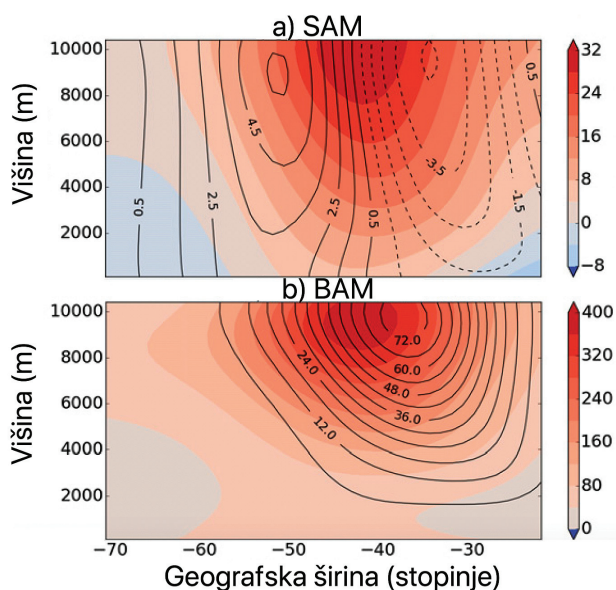
Metode

Rezultati, ki so predstavljeni v tem članku, so bili pridobljeni s pomočjo numeričnega modela, ki je osnovan na t.i. modelu »Held-Suarez« (Held in Suarez, 1994). Ta model je idealizirana verzija podnebne modela, pri čemer se obdrži zgolj dinamično jedro modela, medtem ko se ostale dele modela, ki so velikokrat parametrizirani, poenostavi (relaksacija temperature k podani ravnovesni temperaturi, konstantno trenje pri tleh ter odsotnost vlage). Tak model omogoča študije osnov dinamične meteorologije v zmerinah širinah, kadar ne želimo vplivov parametriziranih procesov, planetarnih valov ipd. Medtem ko tu prikazujem zgolj rezultate idealiziranega modela, ugotovitve na podlagi drugih tipov modelov in tudi reanaliz kažejo podobno sliko, kar pomeni da so rezultati konsistentni.

Ker se bom v tem članku posvetila procesom podobnim Zemljini južni polobli (v idealiziranem modelu), bom večinoma govorila o SAM in BAM (več v uvodu). SAM je povezan z zonalnim vetrom in s tlakom, zato je lahko definiran tako s pomočjo EOF iz

tlaka kot tudi s pomočjo EOF iz zonalnega vetra (u), pri čemer sem jaz uporabila slednjo možnost. Preden sem izračunala SAM, sem najprej povprečila zonalni veter v vertikalni in zonalni smeri, s čimer pridobimo veter kot funkcijo časa (t) in zmerne širine (y) oz. $u(t,y)$. Nato sem uporabila $u(t,y)$ in izračunala njegov EOF, s čimer sem pridobila meridionalni profil zonalnega vetra in njegovo časovno vrsto oz. SAM indeks (barotropsko oscilacijo). Na podoben način lahko definiramo tudi baroklino oscilacijo (BAM), le da sedaj izračunamo EOF iz vertikalno in zonalno povprečene EKE (definirana spodaj), ki ima prav tako meridionalni profil in časovno vrsto. Če naredimo regresijo zonalnega vetra in EKE (na južni polobli troposfere) na časovno vrsto SAM in BAM, dobimo črte (plastnice) na sliki 1, pri čemer barve označujejo povprečne vrednosti zonalnega vetra (slika 1a) in EKE (slika 1b). Plastnice jasno nakazujejo kvazi-barotropsko strukturo zonalnega vetra ob SAM (šibka vertikalna struktura) in baroklino strukturo EKE ob BAM (močna vertikalna struktura), kar daje dodaten razlog za njuni imeni 'barotropska' oz. 'baroklina' oscilacija, kot že omenjeno zgoraj. Korelacija med baroklino in barotropsko oscilacijo je majhna, sploh v reanalizah, od koder tudi deloma izhajajo zaključki o neodvisnosti.

Pri analizi barotropskih in baroklinih oscilacij sem uporabila tudi spektralne metode (Fourierova transformacija), predvsem spektralno moč (angl. 'power spectrum'), ki nam pomaga pri iskanju časovne skale, na kateri je oscilacija najbolj dejavna, ter t.i. 'cross-spectrum' (Lorenz in Hartman, 2001), ki nam pomaga razumeti povezave med različnimi komponentami v enačbi in s tem tudi kaj najbolj vpliva na oscilacije (več spodaj).



Slika 1. SAM (a) in BAM (b) struktura ponazorjena s črtami in povprečen zonalni veter (a) oz. EKE (b) ponazorjena z barvami. Enote v (a) so m/s, v (b) pa m^2/s^2 .

Teorija

Tako baroklino kot tudi barotropsko oscilacijo lahko povežemo z dinamičnimi enačbami. Enačba za barotropsko oscilacijo je enačba za zonalni veter (povprečena vertikalno in zonalno), ker je s pomočjo zonalnega vetra ta oscilacija tudi definirana (npr. Lorenz in Hartmann 2001):

$$\frac{\partial z_u}{\partial t} = m - \frac{z_u}{\tau} \quad (1)$$

kjer je z_u zonalni veter, m je konvergenca transporta gibalne količine, ki ga povzročajo cikloni (vrtinci) [angl. 'eddy momentum flux (v nadaljevanju EMF) convergence'], in τ je konstanta, pri čemer z_u/τ predstavlja trenje. Če uporabimo Fourierjevo transformacijo enačbe (1), dobimo enačbo za 'cross-spectrum' (npr. Lorenz in Hartmann 2001)

$$\frac{\overline{ZM}}{\overline{ZZ}} = i\omega + \frac{1}{\tau} \quad (2)$$

kjer je Z Fourierjeva transformacija z_u , M Fourierjeva transformacija m , horizontalna črta nad Z ponazarja kompleksno konjugacijo Z , in ω je kotna hitrost (angl. 'angular frequency'). V kolikor enačba (1) zajema vso variabilnost zonalnega vetra, lahko imaginarni del 'cross-spectrum'-a (leva stran enačbe (2)) opišemo z ω , medtem ko je realni del konstanten ($= 1/\tau$). Tako lahko testiramo, koliko variabilnosti v zonalnem vetru lahko opiše konvergenca EMF (slika 2 v rezultatih).

Podobni enačbi lahko zapišemo tudi za EKE, vendar pa je enačba predstavljena spodaj zgolj približek dejanske enačbe za EKE (npr. Plumb 1983), ki ga uporabimo za testiranje neodvisnosti BAM in SAM (glej rezultate). Približna enačba za EKE je torej (npr. Thompson in sod. 2017):

$$\frac{\partial [K_E]}{\partial t} = \alpha_{EKE} [v^* \theta^*] - \frac{[K_E]}{\tau_{EKE}} \quad (3)$$

kjer je $K_E (= 0.5(u^{*2} + v^{*2}))$ EKE na 300 hPa ploskvi, $v^* \theta^*$ je transport toplote na 850 hPa ploskvi, ki ga povzročajo cikloni (vrtinci) [angl. 'eddy heat flux'; v nadaljevanju EHF], pri čemer je v meridionalni veter, θ potencialna temperatura in $*$ odklon od zonalnega povprečja, α_{EKE} in τ_{EKE} sta konstanti, in oglati oklepaji ponazarjajo zonalno povprečje. Tu K_E/τ_{EKE} ponazarja vse ostale člene celotne enačbe za EKE, ki lahko vključujejo EMF (oz. m) iz enačbe (1). Torej, če enačba (3) deluje (torej EMF ne prispeva k variabilnosti EKE), potem sta SAM in BAM lahko neodvisna. To lahko zopet testiramo s Fourierjevo transformacijo in dobimo 'cross-spectrum' za EKE (Boljka in sod. 2018):

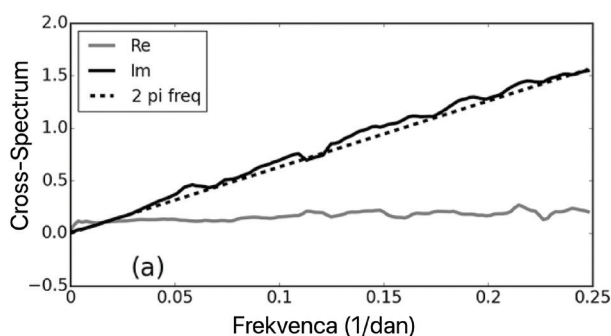
$$\alpha_{EKE} \frac{\overline{EH}}{\overline{EE}} = i\omega + \frac{1}{\tau_{EKE}} \quad (4)$$

kjer je E Fourierjeva transformacija K_E , H je Fourierjeva transformacija EHF in ostale oznake so definirane zgoraj. Podobno kot za enačbi (1) in (2) je tudi tu enačba (4) test za enačbo (3) – torej vprašanje je, ali lahko opišemo variabilnost EKE zgolj z EHF, ali potrebujemo tudi ostale dele EKE enačbe, ki bi vsebovali npr. EMF in posledično povezovali barokline in barotropske procese? Boljka in Shepherd (2018) sta predlagala, da je povezava EKE in EHF brez vpliva EMF možna zgolj, če povprečimo meridionalno po zmernih širinah, zonalno in v času (najmanj 10-dnevno povprečje oz. povprečje po sinoptičnih skalah). To tezo preverjam v rezultatih predstavljenih v naslednjem odstavku (slika 3).

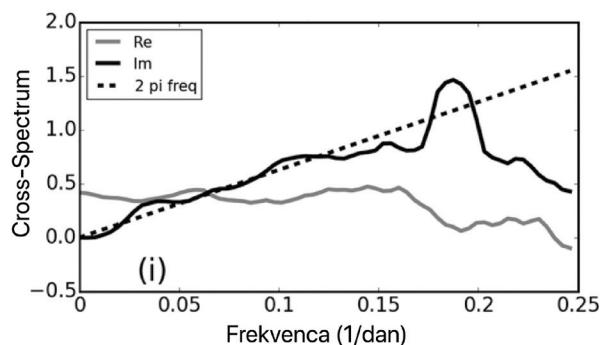
Rezultati

Slika 2 prikazuje imaginarni (neprekinjena črna črta) in realni (neprekinjena siva črta) del 'cross-spectrum'-a za zonalni veter in m (enačba (2)). Da sem dobila sliko 2, sem najprej naredila regresijo z_u in m na meridionalni profil SAM, kar pomeni, da slika avtomatično prikazuje tudi variabilnost SAM-a. Ker je realni del 'cross-spectrum'-a konstanten in približno enak $1/\tau$, in ker leži imaginarni del 'cross-spectrum'-a na črtkani črti, ki prikazuje ω , lahko zaključimo, da SAM poganja zgolj EMF (oz. m iz enačbe (1)) na vseh časovnih skalah (do istih zaključkov sta prišla tudi Lorenz in Hartmann 2001 v reanalizah).

Medtem ko je povezava med EMF in zonalnim vetrom oz. SAM-om jasna in razmeroma enostavna, je povezava med EHF in BAM-om bolj kompleksna (predvsem zaradi uporabljenih približkov – enačba (3)). Slika 3 prikazuje imaginarni (neprekinjena črna črta) in realni (neprekinjena siva črta) del 'cross-spectrum'-a za EKE in EHF (enačba (4)). Tu sem uporabila zonalno in meridionalno (v zmernih širinah) povprečena EKE in EHF na različnih višinah (glej enačbo (3)) namesto regresije na BAM profil (če ne povprečimo meridionalno, ne moremo dobiti rezultatov predstavljenih spodaj). Čeprav



Slika 2. 'Cross-spectrum' iz enačbe (2), ki preverja povezavo med EMF in zonalnim vetrom. Črna črtkana črta ponazarja ω , črna neprekinjena črta ponazarja imaginarni del 'cross-spectrum'-a in siva neprekinjena črta ponazarja realni del 'cross-spectrum'-a. Kadar se črni črti ujemata, povezava, ki jo testiramo, deluje (torej v tem primeru EMF povzroča vso variabilnost v zonalnem vetru), sicer ne.



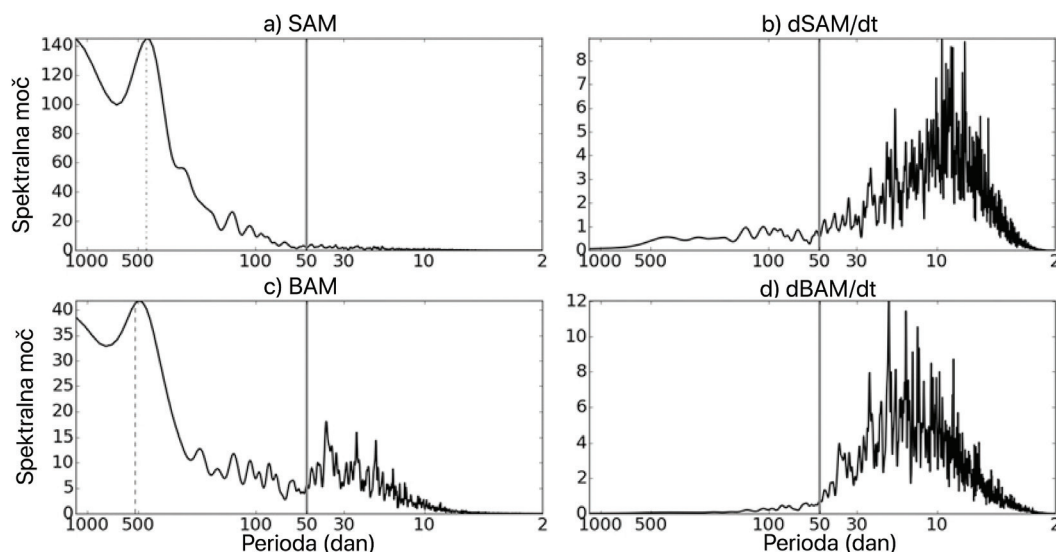
Slika 3. Kot na sliki (2), le da je tu 'cross-spectrum' iz enačbe (4), ki preverja povezavo med EHF in EKE (enačba (3)).

direktne povezave z BAM v tem 'cross-spectrum'-u ni, so zaključki še vedno relevantni tudi za BAM.

Slika 3 je podobna sliki 2 zgolj na časovnih skalah daljših od 10 dni (oz. frekvencah krajših od 0.1/dan), kar pomeni, da na časovnih skalah daljših od 10 dni enačba (3) pravilno opiše variabilnost v EKE, hkrati pa se to tudi sklada z zaključki o BAM, ki ima časovno skalo pribl. 25 dni in ki je povezan zgolj z EHF in je neodvisen od barotropskih procesov in od SAM. To pomeni, da so na časovnih skalah daljših od 10 dni barotropski in baroklini procesi lahko neodvisni (zgolj v smislu variabilnosti in ne v povprečnem smislu), saj EHF ni povezan s SAM, EMF ni povezan z BAM ter SAM in BAM nista korelirana.

Na časovnih skalah krajših od 10 dni ne realni ne imaginarni del 'cross-spectrum'-a ne sledita enačbi (4) (t.j. realni del ni konstanten in imaginarni del ne sledi črtkani črti za ω), kar pomeni, da enačba (3) ne more opisati variabilnosti v EKE na krajših časovnih skalah. Na krajših časovnih skalah so nujno potrebni tudi drugi členi enačbe za EKE (Plumb 1983), kar vključuje EMF in povezavo z barotropskimi procesi (kot je to običajno pri krepitvi in slabitvi ciklonov, npr. Simmons in Hoskins 1978).

Zgornje rezultate o neodvisnosti BAM in SAM podpirajo tudi grafi spektralne moči za SAM in BAM (slika 4). Ti jasno prikazujejo, da imata SAM in BAM na krajših časovnih skalah (slika 4b,d) vrhova pri različnih periodah (SAM pri pribl. 8 dneh; BAM pri pribl. 20 dneh). Podoben razkorak je opazen tudi na daljših časovnih skalah, kjer ima BAM vrh pri pribl. 30-40 dneh, SAM pa ima vrh zgolj na daljših časovnih skalah (pribl. 500 dni), ki tudi ne sovпада z vrhom v BAM na daljših časovnih skalah. Prav ti vrhovi na daljših časovnih skalah pa sicer pokažejo še en režim, kjer se baroklini in barotropski procesi dobro ujemajo, pri čemer gre za pozitivno baroklino povratno zanko (Robinson 2000), vendar pa je potrebno za robustne rezultate tega režima raziskati EOF-e, ki opišejo nekoliko manj variabilnosti kot zgoraj omenjena SAM in BAM (Boljka in sod. 2018). Ti drugi EOF-i tudi potrjujejo povezavo na krajših časovnih skalah.



Slika 4. Spektralna moč za SAM (a), $dSAM/dt$ (SAM krajših časovnih skal) (b), BAM (c), $dBAM/dt$ (BAM krajših časovnih skal) (d). Sive vertikalne črte v tem članku niso pomembne.

Zaključek

To delo je deloma razrešilo razkorak med tradicionalnim razumevanjem baroklinih in barotropskih procesov, ki so močno povezani med seboj, ter neodvisnostjo baroklinih in barotropskih oscilacij. Pri tem sem povezave med baroklinimi in barotropskimi procesi razdelila na 3 časovne skale:

- baroklini in barotropski procesi so med seboj močno povezani na krajših časovnih skalah (< 10 dni; pri krepitvi in slabitvi ciklonov; npr. Simmons in Hoskins 1978);
- baroklini in barotropski procesi so tudi močno povezani v povprečnem smislu oz. na daljših časovnih skalah (pozitivna baroklina povratna zanka; npr. Robinson 2000);
- na časovnih skalah barokline oscilacije (20-30 dni) so baroklini in barotropski procesi lahko neodvisni, ampak zgolj kadar povprečimo zonalno, meridionalno in v času (vsaj na sinoptičnih skalah), in kadar planetarni valovi niso prisotni (kar potrjujejo tezo, ki sta jo postavila Boljka in Shepherd 2018). To pomeni, da so barokline in barotropske oscilacije neodvisne (ker so tako tudi definirane), vendar pa je lokalno to bolj zapleteno in načeloma se baroklini in barotropski procesi lahko povezujejo (npr. Novak in sod. 2015).

Viri

- Boljka, L., in T. G. Shepherd, 2018: A multiscale asymptotic theory of extratropical wave-mean flow interaction. *J. Atmos. Sci.*, 75, 1833–1852.
- Boljka, L., in T. G. Shepherd, 2020. Multiscale extratropical barotropic variability on the subseasonal-to-seasonal time-scale. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 146, 301–313.
- Boljka, L., T. G. Shepherd, in M. Blackburn, 2018: On the coupling between barotropic and baroclinic modes of extratropical atmospheric variability. *J. Atmos. Sci.*, 75, 1853–1871.
- Held, I.M., in M. J. Suarez, 1994: A proposal for the intercomparison of the dynamical cores of atmospheric general circulation models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 75, 1825–1830.
- Lorenz, D. J. in D. L. Hartmann, 2001: Eddy-zonal flow feedback in the Southern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, 58, 3312–3327.
- Marshall, G. J., D. W. J. Thompson, in M. R. van den Broeke, 2017: The signature of Southern Hemisphere atmospheric circulation patterns in Antarctic precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 44, 11580–11589.
- Novak, L., M. H. P. Ambaum in R. Tailleux, 2015: The life cycle of the North Atlantic storm track. *J. Atmos. Sci.*, 72, 821–833.
- Plumb, R. A., 1983: A new look at the energy cycle. *J. Atmos. Sci.*, 40, 1669–1688.
- Robinson, W. A., 2000: A baroclinic mechanism for the eddy feedback on the zonal index. *J. Atmos. Sci.*, 57, 415–422.
- Simmons, A. J., in B. J. Hoskins, 1978: The life cycles of some nonlinear baroclinic waves. *J. Atmos. Sci.*, 35, 414–432.
- Thompson, D. W. J., in E. A. Barnes, 2014: Periodic variability in the large-scale Southern Hemisphere atmospheric circulation. *Science*, 343, 641–645.
- Thompson, D. W. J., B. R. Crow in E. A. Barnes, 2017: Intra-seasonal periodicity in the Southern Hemisphere circulation on regional spatial scales. *J. Atmos. Sci.*, 74, 865–877.
- Thompson, D. W. J., in Y. Li, 2015: Baroclinic and barotropic annular variability in the Northern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, 72, 1117–1136.
- Thompson, D. W. J. in J.M. Wallace, 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. *Journal of Climate*, 13, 1000–1016.
- Thompson, D. W. J., in J. D. Woodworth, 2014: Barotropic and baroclinic annular variability in the Southern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, 71, 1480–1493.

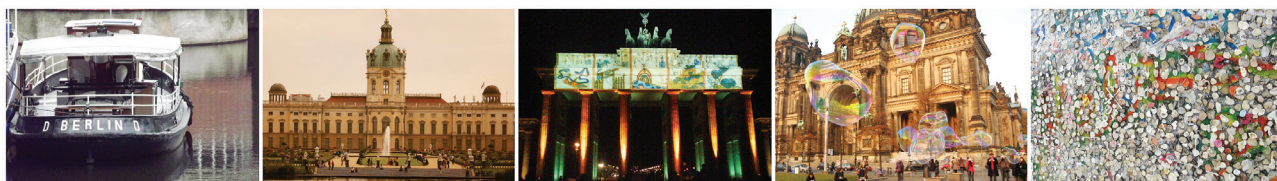
Moje študijsko meteorološko popotovanje: izkušnje iz tujine

Iz Ljubljane preko Berlina v München in nazaj v domače kraje

Nina Črnivec

Že od mladih nog me je zanimala matematika, hkrati pa sem vedno z občudovanjem opazovala naravo – oboje se tesno prepleta v študijskih smereh fizika in meteorologija, ki sem ju zaključila na Univerzi v Ljubljani. Moja radovedna osebnost in želja po samostojnem življenju me je že v času dodiplomskega izobraževanja povedla na izmenjavo v multikulturno prestolnico Evrope – Berlin, kjer sem leto dni obiskovala Technische Universität Berlin. Življenje v zgodovinsko in umetniško bogatem mestu je ponujalo obilo možnosti za prostočasno udejstvovanje ter druženje z ostalimi Erasmus študenti, kar mi ostaja v lepem spominu.

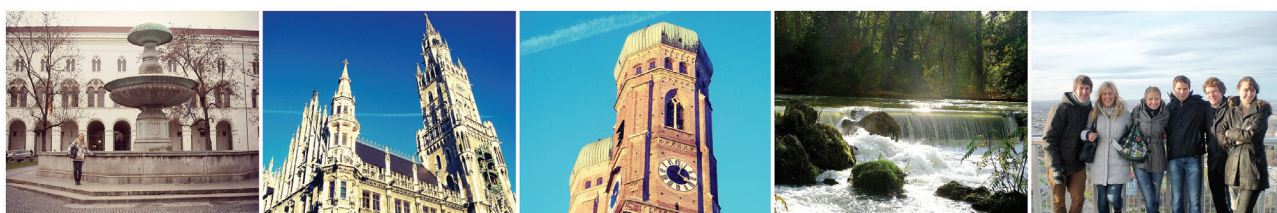
Po kratki vrnitvi v Slovenijo me je življenjska pot znova popeljala v tujino, tokrat v nekoliko bližnjo Bavarsko, kjer sem se vpisala na magistrski študij meteorologije na Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU). Privlačnost študija na Meteorološkem Inštitutu München v okviru LMU je bila pestra izbira meteoroloških predmetov. Poleg klasičnih vsebin so se mi v spomin najbolj vtisnili predmeti “Zračni promet in podnebje”, “Atmosfera kot del podnebne sistema” ter “Biologija človeka in UV sevanje”. Medtem ko se je bilo na predavanjih, ki so v celoti potekala v nemščini, mogoče razmeroma enostavno privaditi, sem imela večje težave pri pogovornem narečnem jeziku mladih sovrstnikov.



Slika 1. Znamenitosti in utrip mesta Berlin. Foto: osebni arhiv.

Celotno drugo leto magistrskega študija je bilo osredotočeno na raziskovalno delo, ki sem ga opravljala v mednarodni delovni skupini za Tropsko meteorologijo. V magistrskem delu sem pod mentorstvom profesorja dr. Rogerja Smitha proučevala problematiko intenzifikacije tropskih ciklonov. Odnosi v tej razmeroma majhni skupini so bili zelo prijetni in sproščeni. Hitra delovna komunikacija na dnevni ravni je bila velika prednost, kar se je odražalo v plodnem letu raziskav. Ta dragocena izkušnja mi je odprla vrata vse do Kalifornije, kjer sem imela možnost mesec dni delovati na Naval Postgraduate School v slikovitem obmorskem

mestecu Monterey. Slednje je širše znano po številnih zaščiteneh rastlinskih in živalskih vrstah. Pogled na množice morskih levov, ki so se sončili na plaži, in plezali po ribiških čolnih, je bil ob večernih sprehodih ob obali vsakič znova neverjetno doživetje. Vrhunec ameriškega znanstvenega obiska pa je predstavljala udeležba na Hurricane and Severe Storm Sentinel (HS3) v NASA centru pri San Franciscu. Sledilo je še nepozabno počitniško potovanje po Ameriki z obiskom znamenitih velemest (Los Angeles, Las Vegas) ter narodnih parkov (Grand Canyon, Bryce Canyon idr.).



Slika 2. Prihod na Ludwig-Maximilians-Universität München in ostale podobe bavarske prestolnice. Foto: osebni arhiv.



Slika 3. Naval Postgraduate School, idilični prizori Kalifornijske obale v okolici Montereyja, udeleženci HS3 srečanja v znanstvenem parku NASA ter občudovanje Bryce Canyona med zaključnim potovanjem. Foto: osebni arhiv.

Življenje na Bavarskem mi je bilo zelo všeč. To ni samo dežela piva in Oktoberfesta, ampak ponuja veliko možnosti za izlete v naravo: bogata je z jezeri (Starnberger See, Ammersee, Chiemsee, Tegernsee), ugodnimi za poletno ohladitev. Povsod je na voljo veliko lepo urejenih kolesarskih stez – pravi raj za ljubitelje kolesarjenja kot sem jaz. Podobno obstaja obilo možnosti za pohodniške izlete v hribe, saj je iz Münchena do severne strani Alp samo dobro uro vožnje. V zimskem času je bilo s sodelavci priljubljeno smučanje v Garmisch-Partenkirchenu in drugih manjših smučiščih.

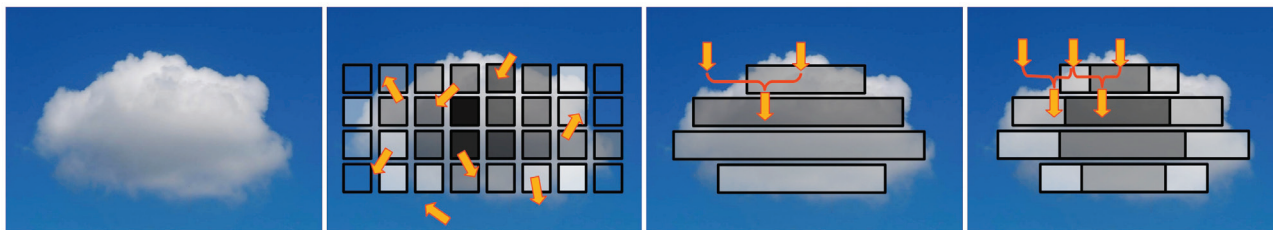
Tako sem z veseljem nadaljevala z doktorskim študijem na LMU v delovni skupini "Daljinsko zaznavanje in sevalni transport" pod vodstvom profesorja dr. Bernharda Mayerja, kjer sem raziskovala interakcijo atmosferskega sevanja in oblakov z namenom izboljšanja vremenskih in podnebnih modelov. Udejstvovanje v večji delovni skupini, kjer sem se med Bavarci znašla

kot edina tujka, mi je povzročalo kar nekaj jezikovnih težav. Kljub temu sem se v času doktorskega raziskovanja veliko naučila. Hvaležna sem za ponujeno priložnost opravljanja pedagoškega dela, saj svoje znanje rada predajam drugim. Tako sem tri leta vodila asistentske vaje iz predmeta "Wolken: Mikrophysik und Konvektion" (v prevodu: "Oblaki: Mikrofizika in konvekcija") ter se imela tudi sama možnost preizkusiti kot mentorica diplomskega dela, kar mi je bilo v svojevrsten izziv.

Moj doktorski študij je potekal pod okriljem vse-nemškega raziskovalnega projekta Waves To Weather (W2W), ki je združeval več nemških univerz. Poleg LMU so bile v sodelovanje vpete še: Tehniška univerza v Münchnu, Inštitut za tehnologijo Karlsruhe, Univerza v Heidelbergu in Univerza Johannes Gutenberg v Mainz. Na ta način sem dodobra spoznala ostale nemške univerzitetne meteorološke oddelke, izkoristila pa sem



Slika 4. Lepote dežele Bavarske, med drugim pravljica Neuschwanstein in druženje v tujini živečih Slovencev na planinskih izletih. Foto: osebni arhiv.



Slika 5. Modeliranje interakcije sevanja in oblakov (puščice ponazarjajo sevalne tokove, sivo senčenje pa optično debelino oblaka): referenčen tridimenzionalen izračun sevanja na visokoločljivem oblačnem polju (prva shema), tradicionalni enodimenzionalni približek v vremenskih in podnebnih modelih predpostavljajoč horizontalno homogene plasti delne oblačnosti (druga shema) ter izboljšana "Tripleclouds" metodika (tretja shema) – predmet mojega doktorskega raziskovanja.

tudi priložnost krajšega praktičnega usposabljanja pri Nemški meteorološki službi (Deutscher Wetterdienst). Doktorski in podoktorski W2W študenti smo se redno udeleževali tudi tako imenovanih "Early Career Scientists" znanstvenih delavnic. Srečanja so se odvijala na različnih kottičkih prostrane Nemčije, med drugim v prelepi dolini Rena, v historičnem univerzitetnem mestu Heidelberg, v številnih značilnih bavarskih mestecih (Bad Tölz, Kempten) ter celo v mistični gorski koči

Schneefernerhaus tik pod najvišjim vrhom Nemčije. Študij in življenje v tujini je neprecenljiva izkušnja, ki zahteva premagovanje nekaterih ovir, hkrati pa človeku močno razširi obzorja. Krajšo ali daljšo študijsko udejstvovanje v tujini bi tako priporočila vsakomur. Sama trenutno zaključujem doktorsko nalogo, hkrati pa sem zaposlena v prijetni ekipi za Meteorološko in hidrološko modeliranje na ARSO v domači Sloveniji.



Slika 6. Levo: srečanje mladih doktorskih in podoktorskih raziskovalcev v okviru projekta W2W v Kaubu. Desno: znanstvena delavnica "Machine Learning and Neural Networks" pod vrhom Zugspitze (2962 m), v ozadju vidna meteorološka in okoljska raziskovalna postaja Schneefernerhaus. Foto: Waves To Weather.

Padavinski gradienti v alpskih dolinah na primeru izbranih dolin Julijskih Alp

dr. Matej Ogrin, Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani;
matej.ogrin@ff.uni-lj.si

Erika Kozamernik, Gozdarski inštitut Slovenije, Oddelek za gozdno ekologijo

Povzetek

Čeprav imajo Alpe med vsemi svetovnimi gorstvi najgostejšo mrežo padavinskih postaj, je poznavanje padavinskih razmer marsikje še vedno pomanjkljivo. To nam dokazujejo študije na mikro ravni, ki v gorskih pokrajinah potrjujejo domneve o precej večjih padavinskih gradientih kot na nižinskih območjih. V gorah je zaradi večje vetrovnosti in večjega deleža snežnih padavin problematična tudi natančnost meritev. To pomeni, da na območjih z največjo količino padavin o njihovi količini vemo mnogo manj kot bi si želeli, pomanjkljiva informacija o količini padavin pa vodi v številne napake, kot na primer pri oceni vodne bilance in pri oceni nevarnosti snežnih plazov. Prispevek govori o izsledkih meritev količine padavin v alpskih dolinah, na podlagi katerih smo izračunali horizontalne padavinske gradiente.

Ključne besede: gorsko podnebje, horizontalni padavinski gradienti, lokalno podnebje, orografske padavine, Julijske Alpe, alpske doline.

Abstract

Although the Alps have the densest network of precipitation stations among world's mountain areas, detail knowledge of precipitation conditions is still lacking. This is evidenced by microlevel studies, which confirm assumptions of much higher precipitation gradients in mountain areas than in lowland areas. Due to higher windiness and higher proportion of solid precipitation the measurements of precipitation in mountains is affected by high measurement error. This leads to insufficient knowledge about precipitation amount, which further leads to many uncertainties, such as in assessing the risk of avalanches. The paper discusses the results of measurements of precipitation in the Alpine valleys, on the basis of which we calculated horizontal precipitation gradients. The uncertainty of scale parameter evaluated on a single station dataset is much higher than the uncertainty of the location parameter. We reduced this uncertainty of the scale parameter with mapping the ratio of scale and location parameters as we assume almost stationary values of the ratio on a regional level. Kriging steps used were the same as for location parameter. Gridded values of scale parameter were then calculated by multiplying the maps of location parameter and the ratio.

Keywords: : mountain climate, horizontal precipitation gradients, local climate, orographic precipitation, Julian Alps, Alpine valleys

Uvod

O orografskem učinku na količino padavin je na svoj način pisal že Valvasor, ki pravi: »Po dežju Kranjske ne žeja...Včasih ne vidiš oblaka, in glej nenadoma se v gorah, zlasti v visokih snežnikih, dvigne meglica, ki se takoj spremeni v ploho...In večkrat dežuje dvakrat, trikrat ali celo štirikrat na dan, posebno na Gorenjskem pod snežniki...« (Valvasor, 1978, str. 93, 94). Verjetno prvi, ki se je bolj podrobno lotil proučevanja padavinskih razmer na Slovenskem, pa

je bil Ferdinand Seidl, v poznanem delu Das Klima von Krain (1891). Pri proučevanju padavinskih razmer takratne Kranjske dežele je na primer navedel podatke s padavinske postaje Kranjska Gora (Kronau) z letno količino padavin 1599 mm (Seidl, 1891). Tudi on je ugotovil, da ima bližina gora pomemben vpliv na količino padavin.

Merjenje padavin v gorskih pokrajinah je težje in manj natančno. Lokacije meritev pogosto niso obljudene, zato meritve pogosto potekajo s pomočjo

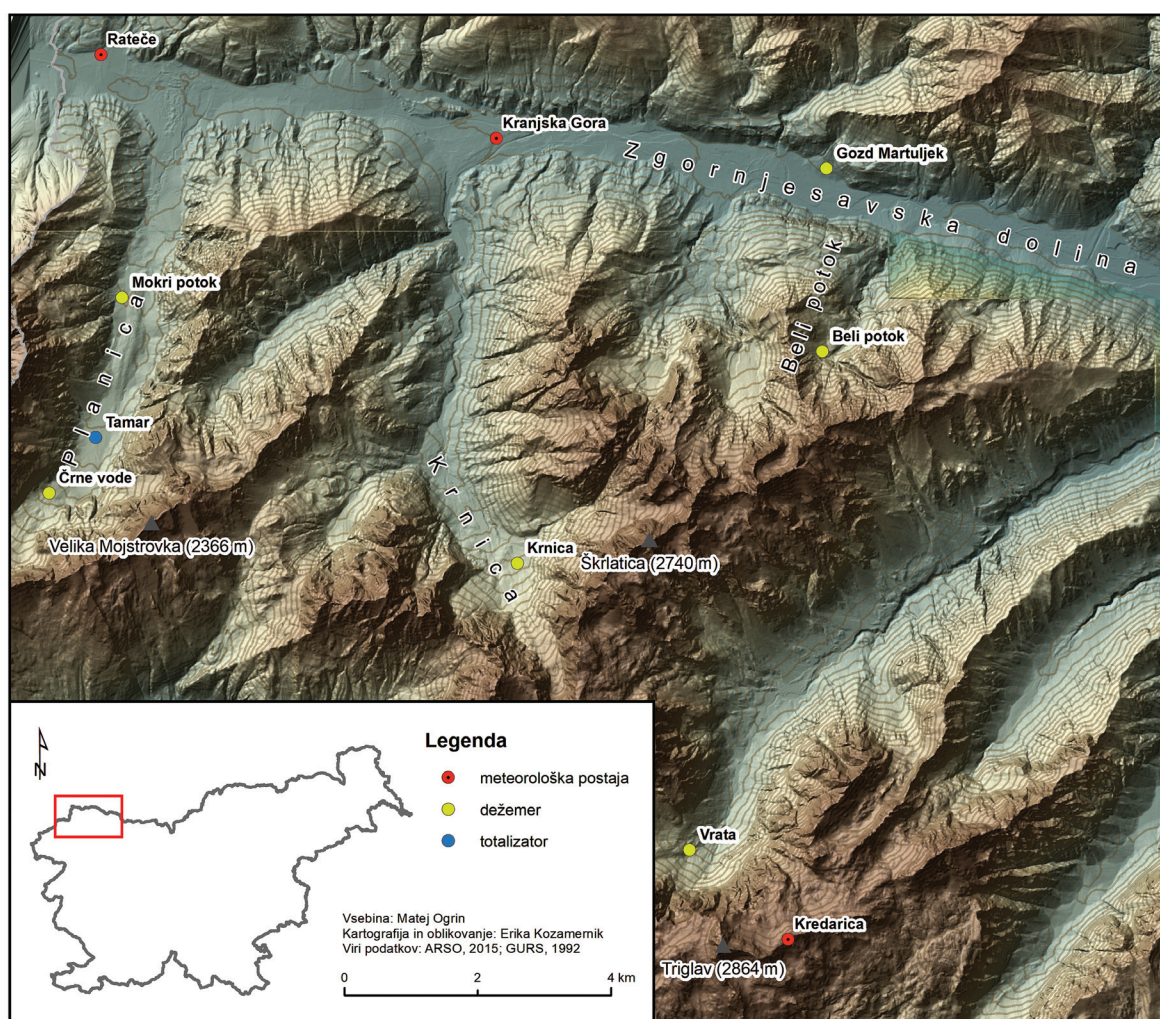
totalizatorjev, ki jih opazovalci običajno izprazni enkrat letno. Večja vetrovnost in večji delež snežnih padavin vodita k manjši natančnosti meritev. Z napakami pri meritvah padavin v gorah so se v sodobnem času ukvarjali tudi nekateri slovenski meteorologi. Za slovenski gorski svet je pomembna podnebna študija z naslovom *Klima Triglavskega Narodnega parka*, (Pristov in sod., 1998). V tej študiji avtorji navajajo korekcijske faktorje za izmerjeno količino padavin. Avtorji tudi ugotavljajo, da padavine običajno naraščajo z nadmorsko višino, kar pa ne velja vedno. Veliko raziskav orografskih procesov je tudi v ostalih alpskih državah in drugod po svetu (npr. Bonacina 1945, Sharon 1970, Barros in Lettenmaier 1994, Blumer 1994, Sevruck 1997).

Glavni razlog za obilnejše padavine v gorskih pokrajinah je orografski učinek. Slednji predstavlja dviganje zraka in kondenzacijo vodne pare ob potovanju preko gora, kar je pogosto povezano s prosto in prisilno konvekcijo. Padavine so v gorah intenzivnejše, pogostejše in običajno trajajo tudi dlje časa. K večji namočenosti prispevajo tudi padavine

iz megle, ki v resnici predstavlja oblak. Gre za ivje ali pa prestrezanje lebdečih kapljic oblaka na vegetaciji in ostalih površinah. V gorskih območjih višjih geografskih širin v oblačnih dneh v hladni polovici leta na privetnih straneh nastajajo večje količine ivja, ki pomembno prispevajo k skupni količini padavin na letni ravni. (Bach in Pryce 2013)

Predmet naše raziskave so bili horizontalni gradienti padavin v alpskih dolinah. Gradient padavin definiramo kot spremembo količine padavin na določeno razdaljo. Vertikalni gradient (dRR/dh) pomeni spremembo količine padavin z nadmorsko višino, horizontalni gradient (dRR/dx) pa predstavlja spremembo količine padavin v vodoravni smeri.

Ko govorimo o padavinskem gradientu v horizontalni smeri, gre v našem primeru za smer vzdolž posamezne alpske doline. V smeri proti zatrepu je gradient pozitiven, v obratni smeri pa negativen. Količina padavin je tako v dolinah v bližini gora, v primerjavi z ravninskimi območji na isti nadmorski višini, običajno bistveno večja.



Slika 1. Območje proučevanja z lokacijami merilnih mest.

Figure 1. Research area with locations of measurement sites.

Preglednica 1. Metapodatki o merilnih mestih

Table 1. Measurement sites metadata.

Postaja	Tip postaje	Koordinate		Nadmorska višina (m)
		GKX (m)	GKY (m)	
Rateče	meteorološka postaja ARSO	151162	401543	864
Kredarica	meteorološka postaja ARSO	137888	411852	2517
Kranjska Gora	padavinska postaja ARSO	149905	407467	800
Beli potok	totalizator	146706	412363	1375
Tamar	totalizator ARSO	145419	401462	1112
Črne vode	totalizator	144585	400763	1221
Vrata	totalizator	139229	410374	1271
Mokri potok	totalizator	147517	401858	1048
Krnica	totalizator	143529	407791	1219
Gozd Martuljek	totalizator	149452	412425	760

Proučevano območje

Območje raziskovanja predstavlja Zgornjesavska dolina ter tri stranske doline Julijskih Alp: Krnica, Planica in dolina Belega potoka.

Dolina Belega potoka je tipična obvisela dolina. V dolžino meri približno dva kilometra, tako vzdolžni profil kot tudi morfologija doline pa sta zelo raznolika. V zatrepnem delu se dolina razširi in zavije proti jugozahodu ter na koncu proti zahodu, en krak pa proti jugovzhodu. V zatrepu jo z vseh strani zapirajo vrhovi Martuljkove skupine. Totalizator je bil postavljen v zatrepnem delu, ki je usmerjen proti zahodu na nadmorski višini 1375 m.

Dolina Krnica predstavlja zgornji del doline Velike Pišnice, ki se začne pri Kranjski Gori in poteka pretežno v smeri sever-jug. Dolina se v zgornjem delu usmeri proti jugovzhodu, kjer se konča v obliki krnice pod ostenji Prisojnika (2547 m), Kriške stene (2375 m) ter Razorja (2501 m). Kranjska Gora leži na nadmorski višini 810 m, dolina Krnice pa se enakomerno vzpenja do nadmorske višine okoli 1150 m, kjer preide v zatrepni del in se tik pod Kriško steno dvigne vse do 2000 m. Totalizator je bil postavljen v melišču zatrepnega dela na nadmorski višini 1219 m.

Dolina Planice je od vseh treh najbolj zahodno ležeča alpska dolina in poteka pretežno v smeri sever-jug. Začne se na delu Rateškega polja, imenovanem Ledine, na nadmorski višini okoli 820 m. Od tod se približno enakomerno vzpenja do nadmorske višine okoli 1200 m, kjer se začne zatrepni del doline, ki se zaključuje z ostenjem Jalovca (2645 m). V dolini Planice je bilo število merilnih mest največje. Postavljena sta bila dva dežemera, in sicer na lokaciji Mokri potok na nadmorski višini 1048 m in na lokaciji Črne vode, na nadmorski višini 1221 m. V analizo padavinskih razmer smo vključili še dve merilni mesti ARSO, in sicer meteorološko postajo v Ratečah, ki je na stiku

doline Planice in Zgornjesavske doline, ter totalizator pri planinski koči v Tamarju.

Metodologija raziskave

Meritve padavin so potekale v poletnih sezonah, z začetkom med koncem aprila in začetkom junija, trajale pa so do druge ali tretje deкаде novembra, in sicer v letih 2012–2015 (Preglednica 2).

Dežemeri so bili prirejeni le za meritve dežja oziroma majhnih količin snega (do 20 cm pod pogojem, da se je sneg zaradi visokih temperatur stalil sam), saj padavin niso talili. Padavinska voda iz lovilne posode se je preko lija in ozke cevi pretakala v 50 do 100 litrov velike posode. Na koncu meritev smo stehali deževnico, ki se je v času meritev nabrala v posodah. Ker so meritve trajale do novembra, smo v posode dodali kuhinjsko sol, ki je preprečila zmrzovanje deževnice v njih. Izhlapevanje vode iz posode je bilo zanemarljivo, saj je bila posoda z dežemerom povezana preko skoraj meter dolge ozke cevi s premerom 2 cm.

Lij s površino 200 cm² je bil pritrjen ter postavljen v vodoravni položaj približno 1,8 m nad tlemi in povezan z lovilno posodo. Ob koncu merilnega obdobja smo raztopino deževnice in soli v totalizatorju stehali ter od mase raztopine odšteli maso soli, ki je bila predhodno dodana v lovilno posodo.

Preglednica 2. Trajanje meritev padavin.

Table 2. Period of precipitation measurements.

Leto	Začetek meritev	Konec meritev
2012	27. 4. 2012	24. 11. 2012
2013	25. 5. 2013	16. 11. 2013
2014	6. 6. 2014	23. 11. 2014
2015	2. 5. 2015	12. 11. 2015



Slika 2. Dežemer z lijem in lovilno posodo, ki ju med seboj povezuje ozka cev (foto: M. Ogrin).

Figure 2. Rain gauge with a catch container (foto: M. Ogrin).

Napake meritev

Pri meritvah padavin v gorskih območjih so napake večje kot v nižinskih območjih. Glavna razloga za napake sta velika vetrovnost in večji delež snežnih padavin, vplivata pa tudi omočenost dežemera in izhlapevanje (Sevruk 1997, Pristov in sod., 1998). Zlasti pri snežnih padavinah je napaka meritev lahko precejšnja. Yang in sodelavci (1994) navajajo, da v primeru sneženja dežemeri ujamejo le 22 %–87 % padavin, Sevruk (1972) pa v primeru snežnih neviht na strmih izpostavljenih pobočjih navaja napake celo do 80 oziroma 90 %.

Za območje naše raziskave so Pristov in sodelavci (1998) ugotavljali vplive napak meritev padavin in izračunali korekcijske faktorje. Ocenjene napake so

precej nižje od tistih, ki jih navajajo Sevruk (1972) ali Yang s sodelavci (1994). Za dolinske postaje so korekcijski faktorji razmeroma majhni in do nadmorske višine 1000 m dosegajo okoli 1,1, na višini okoli 1500 m pa do 1,16. V študiji Izračun korigiranih padavin v obdobju 1971–2000 (Dolinar in sod., 2006) so avtorji predstavili prostorsko razporeditev korigiranih padavin in natančno predstavili tudi metodologijo računanja korekcij. V dosedanjih raziskavah je bilo tudi ugotovljeno, da korekcijski faktorji z višino naraščajo ter da pri večini meteoroloških postaj gorskih območij presegajo 35 %, sicer pa po nižinah dosegajo od 5 % na zahodu do okoli 15 % na vzhodu (Dolinar in sod., 2006).

Dežemeri v naši raziskavi so bili postavljeni na nadmorski višini med 750 m in 1400 m. Postavljeni so bili v dna ali v zatrepnih delih dolin, kjer je vetra bistveno manj v primerjavi z vrhovi in grebeni. Poleg tega smo merili le v poletni sezoni oziroma skoraj izključno padavine v obliki dežja. Ocenjujemo, da so napake v našem primeru znašale do 10 %.

Izračun horizontalnih padavinskih gradientov

Horizontalni gradient padavin nam pove spremembo količine padavin na določeni razdalji v vodoravni smeri. Gradient na krajših razdaljah je pogosto posledica spremembe nadmorske višine nekega območja, kar vpliva na dvig ali spust zračnih mas ob pomikanju preko tega območja. Tako je pozitivni gradient največkrat posledica intenzivnosti dviganja površja in posledično tudi dviganja zračnih mas, negativni gradient pa posledica spuščanja le teh. V gorskih pokrajinah lahko padavinsko sliko zaplete slemenitev grebenov in oddaljenost od njih. Ponekod sama nadmorska višina nekega kraja ne pojasni nujno količine padavin, niti tega, ali imajo okoliške postaje, upošteva le nadmorsko višino, zaradi tega več ali manj padavin. Ključnega pomena je ali se zračne mase ob situacijah, ki prinašajo večino padavin, preko neke lokacije intenzivno dvigajo ali spuščajo. V Preglednici 3 navajamo razmerja med letno

Preglednica 3. Razmerje v količini padavin med izbranimi postajami v alpskem svetu zahodne Slovenije in standardni odklon razmerja.

Table 3. Precipitation ratio between selected stations in the Alpine area of western Slovenia and the standard deviation of the ratio.

	Gorjuše (940 m) / Boh. Češnjica (596 m) 2004–2010	Gorjuše (940 m) / Boh. Bistrica (507 m) 2004–2010	Javorniški Rovt (939 m) / Breg pri Jesenicah (543 m) 2004–2019	Trenta (622 m) / Soča (485 m) 2004–2010 2012–2019	Dražgoše (857 m) / Železniki (476 m) 2004–2019
Razmerje v letni količini padavin	1,0076	0,9565	1,2964	0,8223	1,0269
Standardni odklon	0,074	0,054	0,103	0,071	0,046

Preglednica 4. Razmerje v količini padavin med izbranimi postajami v alpskem svetu zahodne Slovenije v poletni (maj–okt.) in zimski sezoni (nov.–apr.)

Table 4. Precipitation ratio between selected stations in the Alpine area of western Slovenia in summer (May–Oct.) and winter (Nov.–Apr.) season.

	Gorjuše (940 m) / Boh. Češnjica (596 m) 2004–2010	Gorjuše (940 m) / Boh. Bistrica (507 m) 2004–2010	Javorniški Rovt (939 m) / Breg pri Jesenicah (543 m) 2004–2019	Trenta (622 m) / Soča (485 m) 2004–2010 2012–2019	Dražgoše (857 m) / Železniki (476 m) 2004–2019
maj–okt.	0,99	0,96	1,29	0,85	1,04
nov.–apr.	1,06	0,94	1,31	0,80	1,00

količino padavin na nekaterih postajah v alpskem svetu. Podatki kažejo, da bližnje postaje ne sledijo vedno vzorcu prirasta padavin z nadmorsko višino. Tak primer je med Gorjušami (940 m) in Bohinjsko Češnjico (596 m) ali med Gorjušami (940 m) in Bohinjsko Bistrico (507 m) v Bohinju ali pa npr. med Trento (622 m) in Sočo (485 m) v zgornjem Posočju oziroma med Dražgošami (857 m) in Železniki (476 m). Bolj pričakovano je razmerje med Javorniškimi Rovtom (939 m) in Bregom (543 m), kjer je prirast padavin z nadmorsko višino očiten. V alpskih dolinah obravnavanega območja je razporeditev padavin manj zapletena, saj se vse končajo z zatrepi pod grebenom osrednjega masiva Julijskih Alp, njihova smer pa poteka bolj ali manj prečno na glavni greben, z oddaljevanjem od grebena pa se spuščajo tudi gore, ki omejujejo te doline. Hkrati pa poteka usmerjenost dolin od severa proti jugu, kar v grobem ustreza smeri vetrov južnega kvadranta, ki prinašajo glavno padavin od vzpenjanju preko glavnega grebena. Preglednica 3 nam tudi pokaže, da so razmerja med padavinskimi razmerami na bližnjih lokacijah precej podobna. Kljub veliki variabilnosti padavin, ki je značilna za zmerne geografske širine in tudi Slovenijo, pa so razmerja med padavinami bližnjih krajev precej manj spremenljiva, kar nam potrjujejo standardni odkloni razmerij v Preglednici 3. Da so razmerja med količino padavin bližnjih krajev precej stalna je bila tudi naša predpostavka, ki se je v nekajletnih meritvah tudi potrdila, kljub temu, da je količina padavin precej nihala.

Količino padavin, izmerjeno pretežno v poletni sezoni, smo preračunali na letno raven ob predpostavki, da so podobna padavinska razmerja med lokacijami tudi v zimski sezoni. V preveritev te predpostavke, smo izračunali razmerja med količino padavin med nekaterimi postajami v alpskem svetu zahodne Slovenije v poletni (maj – oktober) in zimski (november – april) sezoni. Rezultati (Preglednica 4) kažejo, da so razmerja med različnimi postajami v zimski in poletni sezoni precej podobna, kar potrjuje našo predpostavko.

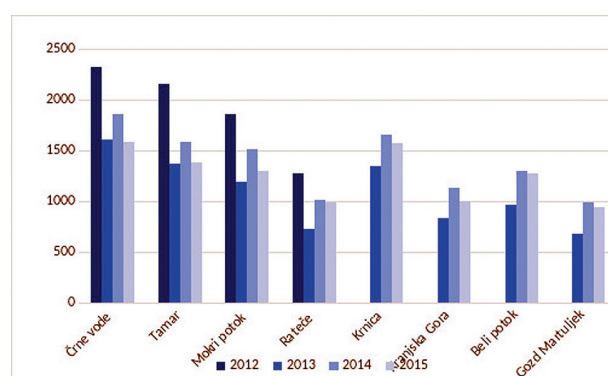
Celoletno količino padavin v obravnavanih dolinah smo dobili tako, da smo za posamezno dolino poletno

količino padavin pomnožili z razmerjem med celoletno količino padavin in poletno količino padavin na najbližji padavinski postaji. V našem primeru sta to padavinski postaji Rateče in Kranjska Gora:

- $RR_i^{\text{Tamar}} = \text{poletne } RR_i^{\text{Tamar}} \cdot (RR_i^{\text{Rateče}} / \text{poletne } RR_i^{\text{Rateče}})$
- $RR_i^{\text{Kr. Gora}} = \text{poletne } RR_i^{\text{Kr. Gora}} \cdot (RR_i^{\text{Kr. Gora}} / \text{poletne } RR_i^{\text{Kr. Gora}})$
- $RR_i^{\text{Beli potok}} = \text{poletne } RR_i^{\text{Beli potok}} \cdot (RR_i^{\text{Martuljek}} / \text{poletne } RR_i^{\text{Martuljek}})$
- $RR_i^{\text{Martuljek}} = \text{poletne } RR_i^{\text{Martuljek}} \cdot (RR_i^{\text{Kr. Gora}} / \text{poletne } RR_i^{\text{Kr. Gora}})$

kjer je RR količina padavin in i označuje tekoče leto.

Slika 3 nazorno prikaže očitne razlike v količini padavin v poletnih sezonah 2012–2015. V vseh dolinah je zaznan padec količine padavin v smeri



Slika 3. Količina padavin v poletni sezoni na merilnih postajah ARSO (Rateče, Kranjska Gora, totalizator Tamar) in na merilnih totalizatorjih, ki smo jih postavili v času meritev (Črne vode, Mokri potok, Krnica, Beli potok, Gozd Martuljek). Vir podatkov za Rateče in Kranjsko Goro: Arhiv ARSO

Figure 3. The amount of precipitation in summer season on ARSO (Rateče, Kranjska Gora, Tamar) measuring sites and on measuring sites which were set up for the measuring campaign (Črne vode, Mokri potok, Krnica, Beli potok, Gozd Martuljek). Data source for Rateče and Kranjska Gora: ARSO



Preglednica 5. Horizontalni gradienti padavin na letni ravni za obdobje 2012–2015 v dolini Planice in za obdobje 2013–2015 v Krnici in Belem potoku

Table 4. Annual horizontal precipitation gradients for valleys Planica (2013–2015), Krnica (2013–2015) and Beli potok (2013–2015).

	Poletni padavinski gradient (mm/km)	Letni padavinski gradient (mm/km)
dolina Planice	127	216
Krnica	91	165
dolina Belega potoka	107	192

proti nižjim delom doline, izkazalo pa se je, da je v obravnavanem obdobju največ padavin padlo v zatrepu doline Planice, kjer se lahko količina padavin od Rateč do Črnih vod tudi podvoji. Manj izrazit, a še vedno očiten je bil prirast v Krnici glede na Kranjsko Goro, pri čemer je bila količina padavin v Kranjski Gori za malenkost (8 %) višja od količine padavin v Ratečah, v Krnici pa je padlo približno 9 % manj padavin kot v zatrepu doline Planice. Dolina Belega potoka je prejela najmanj padavin od treh dolin, le 16 % več kot Kranjska Gora.

V Preglednici 5 so navedeni gradienti padavin v obdobju meritev in preračunani na letno raven. Preračunani so bili na osnovi podatkov o celoletnih padavinah za Rateče in Kranjsko Goro. V primeru doline Planice smo upoštevali obe skrajni postaji, izkazalo pa se je, da je gradient po dolini Planice precej enakomeren. Za Gozd Martuljek smo pripravili oceno celoletnih padavin glede na padavine v Kranjski Gori.

Razprava

Največja količina padavin na letni ravni pade v okolici gorskih grebenov oziroma najvišjih delov gora, če ti ne sežejo višje, kot je območje najbolj intenzivnih padavin. Količina padavin z nadmorsko višino narašča le do višine baze oblaka, nato pa upada (Lauer 1975), saj se vsebnost vodne pare od baze oblaka navzgor znižuje (Miniscloux et al. 2001). Meja te višine je v različnih geografskih širinah različna (McGinnis 2000; Barry 2008) in v zmernih geografskih širinah višja v primerjavi s tisto v tropskih območjih. Ugotovitve naših meritev se skladajo z ugotovitvami preteklih raziskav in izkazalo se je, da so zatrepni deli obravnavanih dolin bistveno bolj namočeni od nižjih delov dolin oziroma naselij ob vhodu v doline (Rateče, Kranjska Gora, Gozd Martuljek).

Horizontalni gradienti padavin na letni ravni nam pokažejo precej visoke vrednosti. Največji gradient

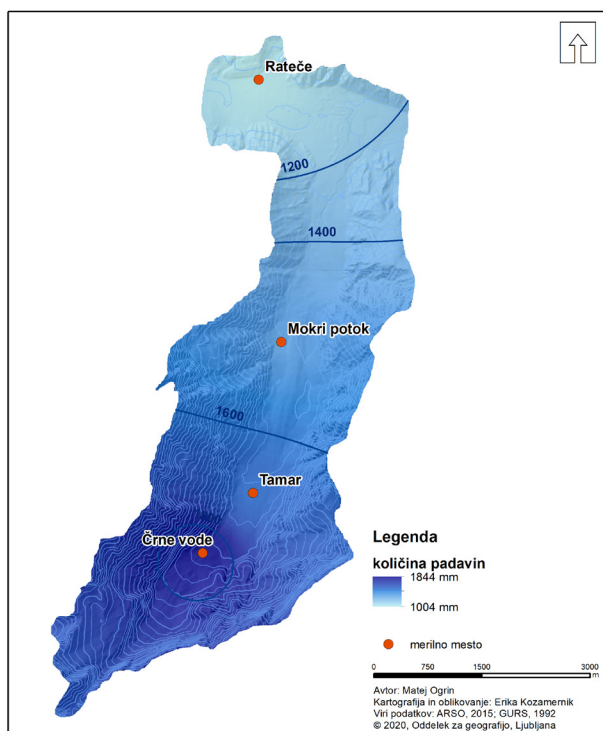
je v dolini Planice, kjer smo ga izračunali na podlagi vrednosti v Ratečah in Črnih vodah. Aritmetična sredina štirih let znaša kar 216 mm/km, s standardnim odklonom 40 mm/km. V Belem potoku je padavinski gradient 192 mm/km, s standardnim odklonom 39 mm/km in v Krnici 165 mm/km, s standardnim odklonom 40 mm/km. Razlogi za razlike v padavinskih gradientih so po našem mnenju v usmerjenosti in naklonih dolin.

Dolina Planice poteka pravokotno na glavni greben zahodnih Julijskih Alp in se konča v zatrepu, ki je obdan z vrhovi, višjimi od 2000 m. Proti izhodu se hitro spušča in odpira, ter pri Ratečah precej razširi in odpre. Dolina Belega potoka je sicer precej krajša od ostalih dveh, vendar pa je njen naklon precej večji in se na razdalji 2,9 km spusti za okoli 700 metrov. Velik naklon dna doline povzroči hiter padeč količine padavin. Dolina Krnice ima, glede na izmerjeno količino padavin, manjši gradient. Deloma je to zaradi večje količine padavin v Kranjski Gori v primerjavi z Ratečami, deloma pa zaradi nižje količine padavin v zatrepu. Prvo je posledica manjše odprtosti Zgornjesavske doline pri Kranjski Gori v primerjavi z Ratečami, oziroma večje razdalje med najvišjimi deli gorskih pregrad Julijskih Alp in Karavank, v smeri sever jug v Ratečah. Rateče ležijo na karavanški strani Zgornjesavske doline in tam je spuščanje zraka ob južnih vetrovih bolj izrazito kot v Kranjski Gori, kar nam potrjuje tudi fensko okno ob južnih padavinskih situacijah. Le to je po naših opazovanjih v Ratečah pogostejše in bolj izrazito kot v Kranjski Gori. Po drugi strani pa je bila v zatrepnem delu doline Planice izmerjena večja količina padavin kot v Krnici, kar je posledica drugačne lege doline. Krnica leži v zavetrni legi osrednjega masiva Julijskih Alp, deloma že v zavetrju Triglavskega pogorja medtem, ko dolina Planice v svojem zatrepu doseže ostenje Jalovca, kjer se že pozna padavinski vpliv Zgornjega Posočja, ki je najbolj namočeno območje v Sloveniji.

Doline v Julijskih Alpah najdemo tudi na južni strani, kjer je površje bolj razčlenjeno. Tam doline ne potekajo prečno na osrednji greben (npr. Trenta, Koritnica, Zadnjica). Nekatere so izrazito zaprte v smeri proti jugu in z vseh strani obdane z visokimi gorami (Zadnjica, Zadnja Trenta, Bavšica) in je zato fenizacija manj izrazita. Poleg tega prihaja do izrazite orografske krepitve padavin že v predgorju Julijskih Alp, tako da se večji gradienti pojavijo že na območju od Vipavske doline v smeri Trnovskega gozda.

Sklep

V okviru raziskave je bilo ugotovljeno, da na gradientu vpliva usmerjenost dolin glede na greben, njihov naklon, ter morfologija okolice. V dolinah Planica, Krnica in Beli potok, ki se nahajajo v Julijskih Alpah na severozahodu Slovenije, so padavinski gradienti



Slika 4. Padavinska karta doline Planice v obdobju 2012–2015.

Figure 4. Precipitation map of Planica valley for period 2012 – 2015.

na letni ravni v proučevanem obdobju na letni ravni dosegli vrednosti 165 mm/km v Krnici, 192 mm/km v dolini Belega potoka in 216 mm/km v dolini Planice in sodijo med najvišje poznane gradiente v Sloveniji. Pri tem je potrebno poudariti, da so lokalne padavinske značilnosti v ostalih dolinah še precej slabo poznane. Rezultati raziskave potrjujejo predhodne ugotovitve v okviru drugih raziskav o prirastu padavin v gorskih območjih. Hkrati nas opozarjajo, da je potrebno te ugotovitve prenesti tudi v praktična znanja pri vrednotenju posledic padavinskih prirastov proti najvišjim delom gora. Ugotovitve so pomembne z vidika varstva pred snežnimi plazovi, vrednotenja izrednih padavinskih dogodkov in z njimi povezanih naravnih nesreč. Sklenemo lahko, da padavinska in posledično podnebna pestrost gorskih območij odkriva novo področje geodiverzitete kot raznolikosti neživega sveta, ki se v gorskih območjih kaže ne le na ravni reliefnih oblik pač pa tudi podnebnih pojavov.

Viri

- Arhiv ARSO URL: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/> (citirano 20. 8. 2020)
- Bach, J., A., Pryce, L. W., 2013. *Mountain Climate*. In: *Mountain Geography, Physical and Human Dimensions*, University of California Press, Los Angeles, 400 pp. DOI: <https://doi.org/10.1029/94RG00625>.
- Barros, A. P., Lettenmaier, D. P., 1994. *Dynamic Modeling of Orographically Induced Precipitation*, *Reviews of Geophysics*, Vol. 32, No. 3, pp. 265–284. DOI: <https://doi.org/10.1029/94RG00625>.
- Barry, R. G., 2008. *Mountain Weather and Climate*. Cambridge University Press, Cambridge, 506 pp.
- Blumer, F., 1994. *Altitudinal Dependence of Precipitation in the Alps*, Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich, Diss. No. 10784, p. 242.
- Bonacina, L. C. W., 1945. *Orographic Rainfall and Its Place in the Hydrology of the Globe*, *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society* Vol. 71, No. 307-308, pp. 41–55. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.49707130705>.
- Lauer, W. 1975. *Klimatische grundzuge der hohenstufung tropischer gebirge*. In F. Steiner, ed., *Tagungsbericht und Wissenschaftliche Abhandlungen*, 40 Deutscher Geographentag, Innsbruck pp. 79-90.
- McGinnis, D. L., 2000. *Synoptic controls on upper Columbia River basin snowfall*. *International Journal of Climatology* 20: pp. 131-149. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(200002\)20:2<131::AID-JOC465>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(200002)20:2<131::AID-JOC465>3.0.CO;2-H).
- Miniscloux, F., Creutin, D. and Anquetin, S. 2001. *Geostatistical analysis of orographic rainbands*. *Journal of Applied Meteorology* 40: pp.1835-1854. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<1835:GA00R>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<1835:GA00R>2.0.CO;2).
- Pristov, P., Pristov, N., Zupančič, B., 1998: *Klima Triglavskega Narodnega parka*. HMZ S, TNP, Bled, 60 pp.
- Seidl, F. (1891): *Das Klima von Krain*. Bamberg : Kleinmayr & Fed, Laibach, 649 pp.
- Sevruck, B., 1972. *Precipitation Measurements by Means of Storage Gauges with Stereo and Horizontal Orifices in the Baye de Montreux Watershed*, *World Meteorological Organization, WMO/OMM No. 326*, pp. 86–95.
- Sevruck, B., 1997. *Regional dependency of precipitation – altitude relationship in the Swiss Alps*. *Climate Change*, Vol. 36, No. 3 – 4, pp. 355 – 369. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005302626066>.
- Sharon, D., 1970. *Topography-Conditioned Variations in Rainfall as Related to the Runoff-Contributing Areas in a Small Watershed*, *Israel Journal of Earth Sciences*, Vol. 19, No. 1, pp. 85–89.
- Valvasor, J., V., 1978. *Slava Vojvodine Kranjske*. Ljubljana, Mladinska knjiga, 365 pp.
- Yang, D., B. Sevruck, E. Elomaa, V. Golubev, B. Goodison, and T. Gunther, 1994: *Wind-Induced Error of Snow Measurement: WMO Intercomparison Results*. *Proc. 23d Int. Tagung fur Alpine Meteorologie, Annalen der Meteorologie* 30. Offenbach am Main.

Zahvala

Avtorja se za pomoč pri meritvah zahvaljujeta Filipu Štucinu, Petru Steletu, Gregorju Vertačniku, Ajdi Kafol Stojanovič, Tilnu Siršetju, Žigi Novaku, Gašperju Petretiču, Marku Podlesniku, Jaki Ortarju in Mojci Ošep.



Časovno in prostorsko glajeni povratni nivoji ekstremnih nalivov

Katja Kozjek, Gregor Vertačnik, Agencija Republike Slovenije za okolje
katja.kozjek@gov.si

Povzetek

Posplošena teorija o ekstremnih vrednostih (angl. kratica GEV) je v literaturi zelo pogosto uporabljena v modeliranju ekstremnih nalivov. Porazdelitve GEV smo se poslužili tudi v raziskavi za izračun povratnih nivojev letnih maksimalnih nalivov (največje vrednosti v letu za izbran časovni interval) za 22 različnih časovnih intervalov (od 5 minut do 120 ur). Iz meritev pluviografskih postaj z vsaj 15-letnim nizom podatkov smo izračunali parametre porazdelitve GEV (parametri lege, širine in oblike) na lokacijah merilnih postaj. Izračunane vrednosti parametrov GEV smo uporabili pri prostorski analizi nalivov, saj je njihova prostorska spremenljivost manjša kot pri neposrednih padavinskih meritvah.

Ključne besede: ekstremni naliv, porazdelitev GEV, prostorsko glajenje, časovno glajenje, povratni nivo, povratna doba

Abstract

Generalized extreme value (GEV) distribution was used to calculate return levels for annual maximum precipitation of different time intervals (from 5 minutes to 120 hours). Pluviographic stations data of at least 15 years length were used to determine GEV parameters (location, scale and shape) at station location.

Further spatial analysis has been done using these calculated GEV parameters as their spatial variability is smaller than variability of rainfall intensity. In the first stage GEV parameters were interpolated onto regular grid. Different spatial models were used for the interpolation of each parameter.

Location parameter was defined using regression-kriging of location parameter calculated from measured precipitation intensity. Slovenia is due to the Alps and the Dinaric Alps climatically divided into two distinctly different regions, therefore for short duration rainfall, kriging was applied separately for the littoral and continental region. Results from both regions were merged along the border between Adriatic Sea and Black Sea drainage basins.

The uncertainty of scale parameter evaluated on a single station dataset is much higher than the uncertainty of the location parameter. We reduced this uncertainty of the scale parameter with mapping the ratio of scale and location parameters as we assume almost stationary values of the ratio on a regional level. Kriging steps used were the same as for location parameter. Gridded values of scale parameter were then calculated by multiplying the maps of location parameter and the ratio.

According to the literature shape parameter is only slowly varying in space. Due to relatively high uncertainty of estimated shape parameter on a station level we decided to set the same value of shape parameter for the entire territory of Slovenia for every precipitation intensity time interval separately.

Resulting maps of GEV parameters for all time intervals were then smoothed using LOESS. Final results are spatially and temporally consistent, i.e. the parameters smoothly change both in space and time. Calculated parameters values were used to calculate return levels for 22 time intervals of different return periods (e.g. 2, 5, 10, 25, 50, 100 and 250 years) in a 1 kilometer grid, covering the whole territory of Slovenia.

Keywords: extreme rainfall, GEV distribution, spatial smoothing, temporal smoothing, return level, return period

Uvod

Ekstremni padavinski dogodki so glavni vzrok poplav. Veliko pozornosti je tako posvečeno modeliranju ekstremnih nalivov, saj nam je to lahko v veliko

pomoč pri obvladovanju poplavnih ujm ter spremljanju podnebnih sprememb. Statistični izračuni pogostosti ekstremnih padavin so bili za posamezna merilna mesta v Sloveniji opravljeni že pred desetletji (Rink in Cegnar, 1987), kasneje pa je bila Gumbelova

metoda uporabljena na merilnih nizih več kot 60 postaj (Agencija RS za okolje, 2009); izračuni so bili z dodajanjem novih podatkov večkrat osveženi.

V literaturi je posplošena teorija o ekstremnih vrednosti (angl. generalized extreme value theory, kratica GEV) zelo pogosto uporabljena v modeliranju ekstremnih nalivov. Funkcija, ki opisuje pogostost ekstremnih nalivov, ima tri proste parametre: lego, širino in obliko. Obsežna raziskava na 15.137 nizih dnevne višine padavin z različnih predelov po svetu je pokazala, da na izračunane vrednosti parametrov porazdelitve znatno vplivata dolžina merilnega niza in geografska lega merilnega mesta (Papalexiou in Koutsoyiannis, 2013). Najbolj se merilnim nizom prilega Frechejeva porazdelitev z vrednostjo parametra porazdelitve okoli 0,11. Podobne rezultate daje raziskava z mnogo manjšim naborom sicer zelo dolgih merilnih nizov (Koutsoyiannis, 2004a in 2004b). Povratni nivoji z daljšanjem povratne dobe po Frechetovi porazdelitvi naraščajo znatno hitreje kot po Gumbelovi porazdelitvi, kar lahko privede do pomembnih sistematičnih razlik pri zelo dolgih povratnih dobah (več kot nekaj desetletij).

Na podlagi literature in dosedanjih izkušenj na ARSO smo se porazdelitve GEV poslužili tudi v naši raziskavi izračunanih povratnih nivojev letnih maksimalnih nalivov za 22 različnih časovnih intervalov (od 5 min do 120 ur). Za izračun parametrov GEV smo uporabili pluviografske meritve dolžine vsaj 15 let. Cilj raziskave je bil izboljšati prostorsko porazdelitev ekstremnih nalivov s prostorsko interpolacijo parametrov porazdelitve GEV. Izračuni parametrov na posameznih, zlasti krajših merilnih nizih, so precej negotovi, zato smo poskusili zmanjšati negotovost parametrov s kartiranjem postajnih vrednosti parametrov GEV in hkrati pridobiti oceno povratnih nivojev za vse kraje v Sloveniji.

Podatki

Vhodni podatki za raziskavo so bile petminutne meritve višine padavin na pluviografskih postajah. Upoštevali smo merilne nize z vsaj 15 leti podatkov. Kljub redni kontroli podatkov zaradi narave podatkov ocenjujemo, da so številni izmerki obremenjeni z znatno napako. Velik del te raziskave je bil tako namenjen predpripravi oziroma popravkom vhodnih podatkov.

Predpriprava podatkov

Popravkov vhodnih podatkov smo se lotili z uvedbo filtrov na različnih stopnjah postopka. Za referenco pri popravljanju vhodnih podatkov smo uporabili homogenizirane nize dnevne višine padavin z dežemernih postaj.

V prvem koraku postopka smo filtrirali osnovne petminutne pluviografske podatke na letnem in nato še na mesečnem nivoju.

Filtra sistematičnega odstopanja:

- **Letni filter:**

Za vsako postajo smo poiskali dneve, ko so bili na voljo popolni podatki s pluviograma kot tudi iz dežemera. S temi podatki smo izračunali »letno« vsoto padavin. Če je bil količnik vsote padavin iz dežemera in vsote padavin po pluviogramu med 0,8 in 1,2, smo petminutne padavine s pluviograma pomnožili s tem količnikom (t. i. korekcijskim faktorjem), če pa je bil količnik izven omenjenega intervala, smo tisto leto podatkov zavrgli.

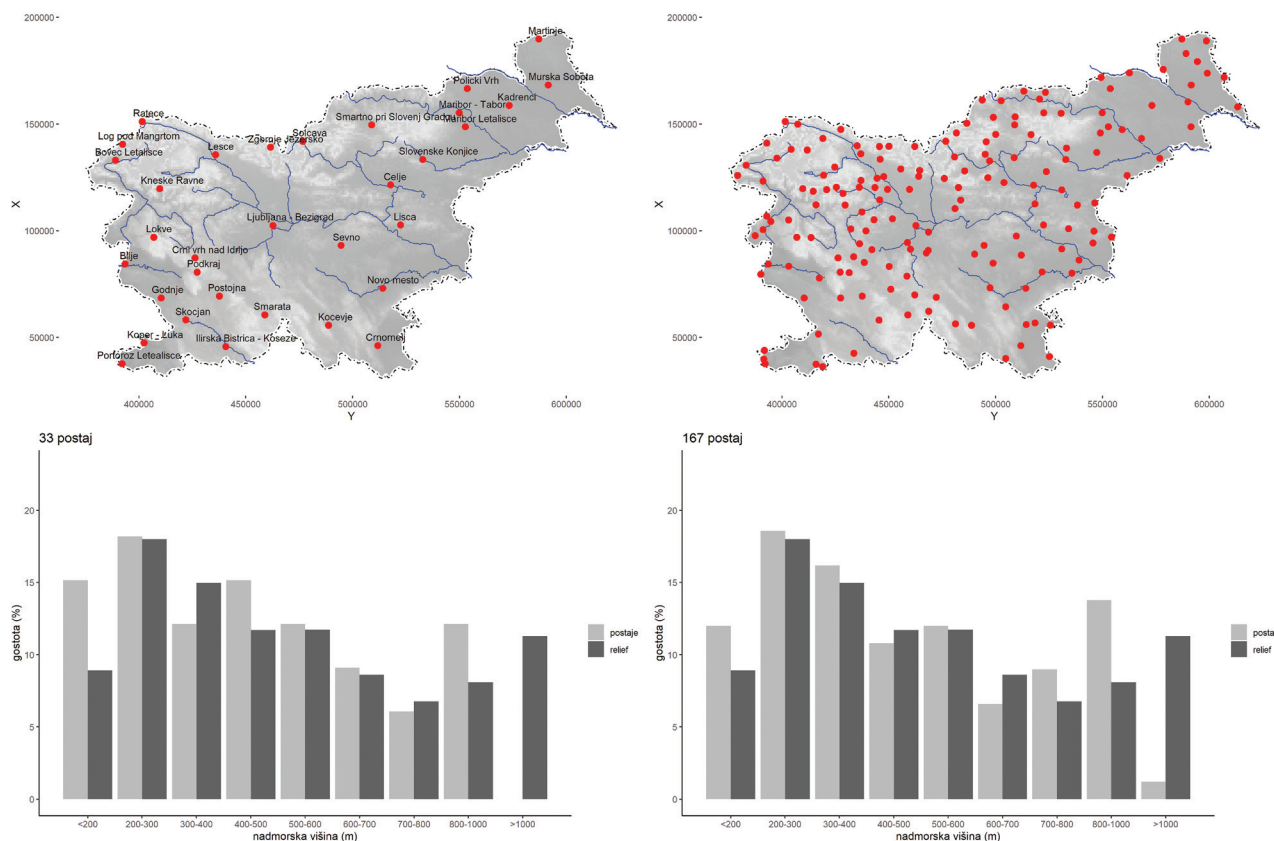
- **Mesečni filter:**

Podobno kot pri letnem filtru smo tudi na mesečnem nivoju poiskali mesece, ko je bil količnik vsote padavin z dežemera in vsote padavin po pluviogramu med 0,8 in 1,2 (z dodatnim dopustnim odstopanjem 10 mm, ker so posamezni meseci lahko zelo suhi in lahko že majhna razlika med meritvami pripelje do velikega količnika vsot) in v tem primeru petminutne padavine s pluviograma pomnožili s tem količnikom, če pa je bila vsota izven tega intervala, smo tisti mesec podatkov zavrgli.

V nadaljevanju smo iz petminutnih pluviografskih podatkov izračunali drsečo vsoto za 21 različnih dolžin – časovnih intervalov: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360, 540, 720, 900, 1080, 1440, 2880, 4320, 5760, 7200 minut. Krajše in daljše časovne intervale smo nato obravnavali ločeno.

- **Časovni intervali krajši od 6 ur:** Za vsako postajo smo za vsako leto podatkov preverili razpoložljivost podatkov s pluviogramov za mesece od maja do oktobra. Če ni bilo podatkov za vse mesece, smo tisto leto podatkov izločili iz nadaljnje obravnave. Pri teh časovnih intervalih smo zanemarili mesece od novembra do aprila, saj so najmočnejše padavine v nekajminutnih do nekajurnih obdobjih praviloma vsaj deloma konvektivnega značaja in znatno odvisne od temperature in vlažnosti zračne mase.

- **Časovni intervali dolžine 6–18 ur:** Za vsako postajo smo za vsako leto poiskali največjo dvodnevno vrednost padavin po dežemeru, izračunali dve tretjini te vrednosti in poiskali vse dvodnevne vrednosti nad to mejo in pripadajoče datume. Nato smo preverili razpoložljivost podatkov s pluviogramov v teh terminih. V nadaljnji obravnavi smo upoštevali le leta s popolnimi podatki za prej omenjene dvodnevne dogodke. Na ta način smo se poskusili izogniti temu, da v izračun ne bi vzeli dogodkov, ki so približno enakomerno razdeljeni med dva dneva (npr. naliv od sredine noči do dopoldneva). Posamezne dnevne vrednosti padavin



Slika 1. Lokacije 33 pluviografskih postaj uporabljenih za krajše časovne intervale (zgoraj levo) in 167 postaj uporabljenih za daljše intervale (zgoraj desno) prikazanih na reliefu Slovenije. Relativna gostota porazdelitve postaj in reliefa v kilometrski ločljivosti glede na nadmorsko višino za krajše intervale (spodaj levo) in za daljše intervale (spodaj desno).

Figure 1. Location of 33 pluviographic stations used for shorter intervals (top left) and 167 stations used for longer intervals (top right) shown on relief map of Slovenia. The relative frequency distribution of stations and of relief in 1 km resolution according to the elevation for shorter intervals (bottom left) and for longer intervals (bottom right).

v takšnih primerih pogosto ne dajo slutiti, da je šlo za posebno močan naliv.

- **Časovni intervali dolžine 24 ur in več:** Za najdaljše časovne intervale (od 24 do 120 ur) smo z uporabo homogeniziranih dnevnih podatkov o višini padavin iz dežemerov močno povečali gostoto meritev. Dnevne podatke s 167 dežemernih postaj smo uporabili za prilagoditev pluviografskih meritev.

Najprej smo izračunali parametre porazdelitve GEV za 1-, 2-, 3-, 4- in 5-dnevne nalive iz petminutnih podatkov s pluviogramov (od 7. do 7. ure po srednjeevropskem času, da je primerljivo z dnevno višino padavin po dežemeru) in dnevnih podatkov z dežemerov. Nato smo primerjali te parametre za isto časovno obdobje in na ta način za vsak časovni interval posebej določili korekcijski faktor. S temi faktorji smo nato pomnožili 24, 48, 72, 96 in 120-urne nalive s pluviogramov.

Na koncu smo na letnih maksimalnih daljših nalivih uporabili še en filter. Če se je letni maksimalni naliv po pluviogramu (od 7. do 7. ure

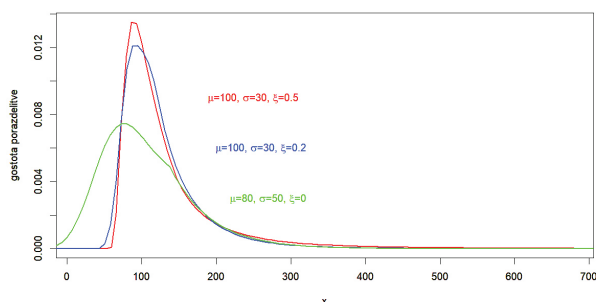
po srednjeevropskem času, da je primerljivo z dnevnimi padavinami po dežemeru) še vedno razlikoval za več kot 20 % od letnega maksimalnega naliva po dežemeru, smo tisto leto odstranili.

Na opisani način smo pripravili vhodne podatke za nadaljnjo analizo. Za krajše časovne intervale (od 5 minut do 18 ur) smo imeli na voljo vsaj 15-letne časovne nize 33 pluviografskih postaj; pri daljših časovnih intervalih (od 24 do 120 ur) smo imeli na voljo prilagojene časovne nize 167 dežemernih postaj. Velika večina zajetih merilnih postaj leži v nižinskem ali gričevnatem svetu (pod nadmorsko višino 600 metrov), nad 1000 metri pa postaj ni ali jih je zelo malo (slika 1).

Metode

Kratek opis posplošene teorije o ekstremnih vrednostih

Možnost nastopa dogodka v statistiki predstavimo z verjetnostjo. Ekstremni dogodki so po definiciji



Slika 2. Trije primeri porazdelitve GEV, ki se razlikuje v vsaj enem od treh parametrov.

Figure 2. Three examples of GEV distribution, differing in at least one of the parameters.

izstopajoči dogodki s praviloma zelo majhno verjetnostjo. Denimo, da imamo zaporedje naključnih spremenljivk $X_1, X_2, \dots, X_n$, ki jih razvrstimo v bloke dolžine n . Največja od vrednosti v vsakem bloku je bločni maksimum; zaporedje teh maksimumov (dolžine m) zapišemo kot $M_{n,1}, \dots, M_{n,m}$. V naši raziskavi X_i predstavlja dnevno višino padavin. Če n predstavlja število podatkov v letu, potem $M_{n,i}$ predstavlja letni maksimum. Za zadosti velika n in m (ki v našem primeru predstavlja velikost bloka in število let) lahko porazdelitev $M_{n,m}$ vsaj približno opišemo s posplošeno porazdelitvijo ekstremnih vrednosti (angl. Generalized Extreme Value Distribution), v nadaljevanju GEV (Coles, 2004).

Ta porazdelitev združuje tri družine porazdelitev ekstremnih vrednosti (Gumbelova, Fréchetova in Weibullova porazdelitev) in je definirana kot:

$$G(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} e^{-(1+\xi \frac{x-\mu}{\sigma})^{\frac{1}{\xi}}} & , \quad \xi \neq 0, \\ e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}} & , \quad \xi = 0 \end{cases}$$

kjer je $1+\xi \frac{x-\mu}{\sigma} > 0$, $\mu, \sigma \in \mathbb{R}$ in $\sigma > 0$.

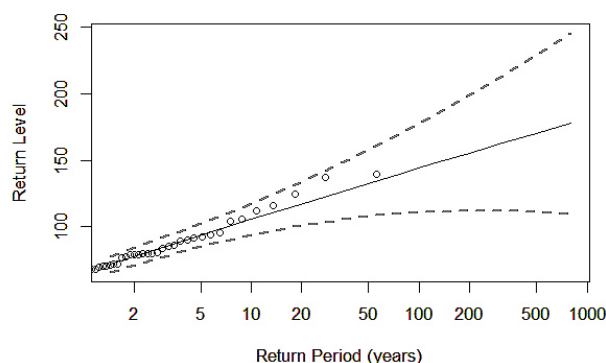
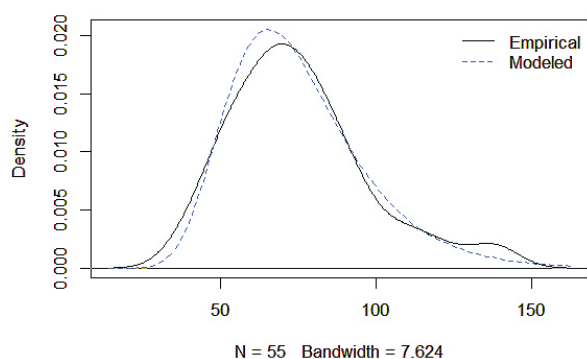
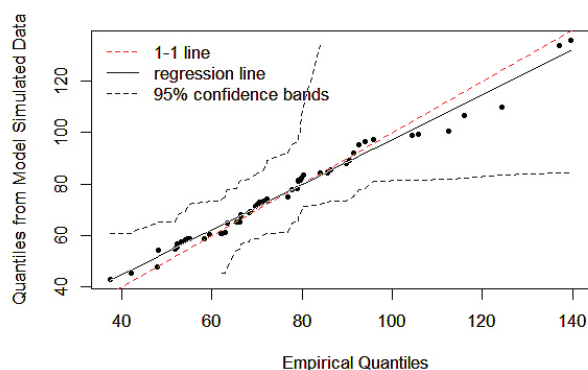
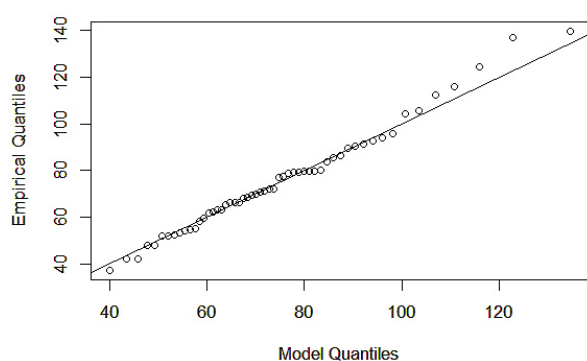
Porazdelitev ima tri parametre (slika 2):

- Parameter lege (μ), ki določa lego vrha porazdelitve.
- Parameter širine ali merila (σ), ki določa širino verjetnostne porazdelitve.
- Parameter oblike (ξ), ki določa obliko porazdelitvene funkcije. Večji kot je ξ , težji (debelejši) je rep porazdelitve. Vrednosti $\xi > 0$ opisujejo Fréchetovo porazdelitev, $\xi < 0$ Weibullovo in $\xi = 0$ Gumbelovo porazdelitev.

Vrednosti porazdelitve GEV pri izbranem kvantilu lahko ocenimo tako, da obrnemo osnovno enačbo:

$$z_p = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\xi} [1 - \{-\log(1-p)\}^{-\xi}], & \xi \neq 0, \\ \mu - \sigma \log\{-\log(1-p)\}, & \xi = 0, \end{cases}$$

kjer je p izbrani kvantil porazdelitve, pri čemer velja $G(x_p) = 1 - p$. Vrednost z_p je poznana kot **povratni nivo**



Slika 3. Primer prilagajanja porazdelitve GEV na 50-letni niz podatkov

Figure 3. An example of fitting GEV to the 50-year data timeseries

s povratno dobo $1/p$. Povratni nivo z_p je pričakovano presežen v povprečju enkrat vsakih $1/p$ let.

V naši raziskavi smo porazdelitev GEV prilagajali letnim maksimalnim nalivom s pluviografskih postaj. S funkcijo `fevd()` iz paketa `extRemes` v programskem jeziku R smo izračunali vse tri parametre GEV. Za prilagajanje smo uporabili metodo največjega verjetja (angl. Maximum likelihood estimation, MLE) (slika 3).

Prostorsko glajenje

Na podlagi izračunanih vrednosti parametrov GEV za posamezne postaje smo izvedli prostorsko interpolacijo. V nadaljevanju opisujemo postopek interpolacije za vsak parameter posebej.

Parameter lege

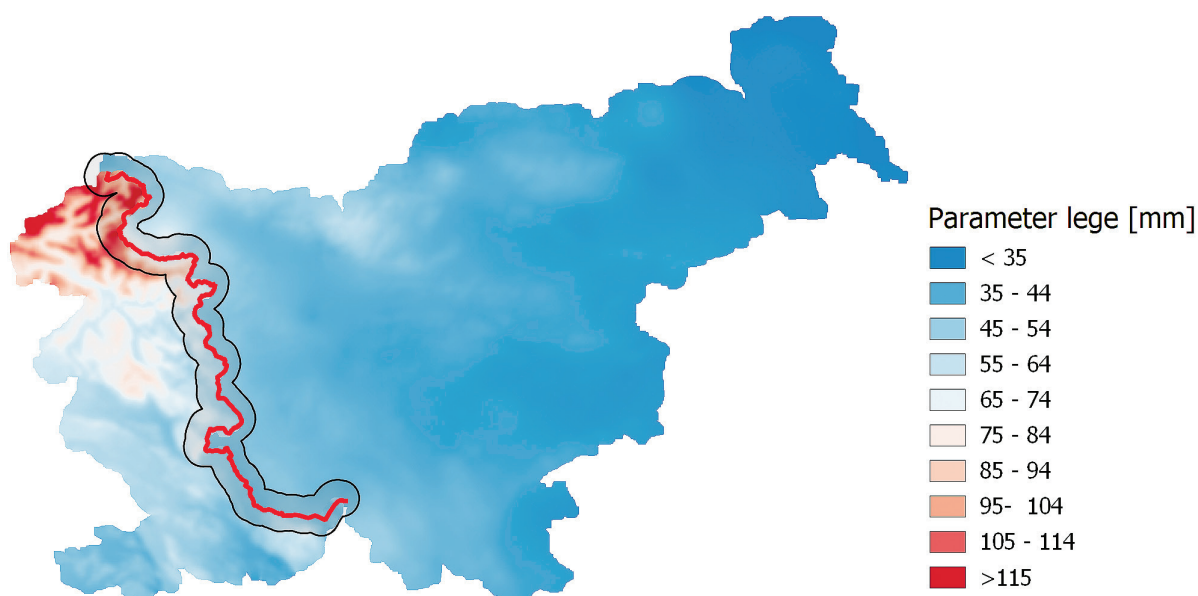
- Za intervale dolžine 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 360 in 540 minut smo parameter lege izračunali s krigingom vrednosti parametra lege na posameznih postajah. Za pojasnjevalne spremenljivke smo vzeli geografske koordinate (x, y, z) v stometrski mreži. Kriging smo izvedli ločeno za primorski in notranji del Slovenije. Rezultat smo zgladili z vrednostjo polmera 2 km in zlepi po meji povodij (Jadranskega in Črnomskega) s prehodnim območjem (ang. »buffer zone«) širine 10 km (slika 4). Znotraj prehodnega območja smo za glajenje uporabili Gaussov filter.

- Za intervale dolžine 720, 900, 1080 minut smo parameter lege določili s krigingom parametra lege (izračunanega iz postajnih nizov). Poleg geografskih spremenljivk (x, y, z) smo za pojasnjevalne spremenljivke vzeli tudi povprečno letno višino padavin in že interpolirana parametra lege in količnik parametra širine in parametra lege za časovni interval 24 ur. Slednja smo dodali, ker je bil kriging za 24-urni interval izveden na petkrat večjem naboru postaj. Rezultat smo zgladili z vrednostjo polmera 2 km.
- Za intervale dolžine 24, 48, 72, 96 in 120 ur smo parameter lege določili s krigingom parametra lege (izračunanega iz postajnih nizov) s pojasnjevalnimi spremenljivkami (geografske koordinate (x, y, z) in povprečna letna višina padavin) (preglednica 1). Rezultat smo zgladili z vrednostjo polmera 2 km.

Rezultati validacije prostorske interpolacije parametra lege so podani v preglednici 1.

Parameter širine

- Parameter širine porazdelitve je pri posameznem podatkovnem nizu obremenjen z znatno negotovostjo. Negotovost parametra širine smo zmanjšali s prostorsko interpolacijo količnika parametra širine in parametra lege, saj zaradi enakih padavinskih procesov na manjših območjih (enak padavinski režim) pričakujemo majhne prostorske razlike in s tem dokaj gladko in počasno spreminjanje količnika obeh parametrov v prostoru.



Slika 4. Zemljevid, ki prikazuje vrednosti parametra lege za časovni interval 360 minut. Z odebeljeno rdečo črto je prikazana meja med Jadranskim in Črnomskega povodjem. S tanjšo črno črto je okoli meje označeno prehodno območje (ang. »buffer zone«) širine 10 km.

Figure 4. Map showing location parameter values for time interval of 360 minutes. Bold red line marks border between Adriatic Sea and Black Sea drainage basins, while thin black line outlines 10 km wide buffer zone around the border.

Preglednica 1. Značilnosti kriging modela in rezultati navzkrižne validacije za prostorsko interpolacijo parametra lege. Za vse časovne intervale so podane pojasnjevalne spremenljivke uporabljene pri krigingu, determinacijski koeficient regresijske analize (R^2), normalizirana (s standardnim odklonom) celotna napaka in oblika variograma. Za intervale do 720 minut smo kriging izvedli ločeno za primorski in notranji del Slovenije – podani so rezultati za vsako regijo posebej. Nizke (R^2) oziroma visoke (nRMSE) vrednosti statističnih mer predvsem za krajše nalive so bile pričakovane, a zaradi majhnega števila postaj nismo imeli druge rešitve. X predstavlja geografsko dolžino, y geografsko širino, z nadmorsko višino, $loc24$ interpoliran parameter lege za časovni interval 24 ur, $kol24$ interpoliran količnik parametra širine in parametra lege za časovni interval 24 ur, $letne_pad$ pa letno količino padavin.

Table 1. Kriging model parameters and cross-validation statistics results of spatial interpolation for location parameter. For all time intervals significant explanatory variables (predictors) are presented in addition to the coefficient of determination (R^2) of regression analysis, normalised (with standard deviation of measured sample) root mean square error (nRMSE) and variogram shape. For time intervals shorter than 720 minutes kriging was applied separately for the littoral and continental region. Due to low station density statistical measures were expected to be quite high (nRMSE) or low (R^2) for short time intervals. X denotes longitude, y latitude, z altitude, $loc24$ already interpolated location parameter for 24-hour rainfall, $kol24$ already interpolated ration between scale and location parameter for 24-hour rainfall and $letne_pad$ annual sum of precipitation.

časovni interval	območje	pojasnjevalne spremenljivke	R^2	nRMSE	oblika variograma
5 minut	notranji del	z	0,21	1,01	eksponentna
	primorski del	/	/	1,13	eksponentna
10 minut	notranji del	z	0,24	1,00	eksponentna
	primorski del	/	0,00	1,03	eksponentna
15 minut	notranji del	z	0,21	1,00	eksponentna
	primorski del	/	/	1,01	eksponentna
20 minut	notranji del	z	0,21	0,99	eksponentna
	primorski del	/	/	0,98	eksponentna
30 minut	notranji del	y, z	0,18	1,01	eksponentna
	primorski del	/	/	1,03	eksponentna
45 minut	notranji del	y	0,14	1,02	eksponentna
	primorski del	/	/	0,99	eksponentna
60 minut	notranji del	y	0,21	0,97	eksponentna
	primorski del	/	/	0,92	eksponentna
90 minut	notranji del	x, y	0,30	1,02	eksponentna
	primorski del	/	/	0,96	eksponentna
120 minut	notranji del	x, y	0,38	0,96	eksponentna
	primorski del	/	/	1,04	eksponentna
180 minut	notranji del	x	0,42	0,89	eksponentna
	primorski del	/	/	1,02	eksponentna
240 minut	notranji del	x	0,50	0,80	eksponentna
	primorski del	z	0,12	1,08	eksponentna
300 minut	notranji del	x	0,53	0,76	eksponentna
	primorski del	z	0,16	1,05	sferična
360 minut	notranji del	$loc24$	0,83	0,43	sferična
	primorski del	$x, y, z, kol24$	0,99	0,24	sferična
540 minut	notranji del	$loc24$	0,95	0,30	sferična
	primorski del	x, y, z	0,97	0,31	sferična
720 minut	cela Slovenija	$y, loc24, kol24$	0,96	0,25	sferična
900 minut	cela Slovenija	$x, loc24, kol24$	0,97	0,20	sferična
1080 minut	cela Slovenija	$x, loc24, kol24$	0,98	0,16	sferična
24 ur	cela Slovenija	$y, z, letne_pad$	0,93	0,23	sferična
48 ur	cela Slovenija	$y, z, letne_pad$	0,95	0,21	sferična
72 ur	cela Slovenija	$y, z, letne_pad$	0,96	0,19	sferična
96 ur	cela Slovenija	$y, z, letne_pad$	0,96	0,18	sferična
120 ur	cela Slovenija	$y, z, letne_pad$	0,97	0,17	sferična



- Količnik smo prostorsko interpolirali s krigingom na enak način kot parameter lege. Rezultati validacije prostorske interpolacije količnika so podani v preglednici 2.
- Rezultat smo nato še gladili z vrednostjo polmera 30 km, saj smo na ta način še dodatno zmanjšali negotovost posamezne lokacije.
- Končne vrednosti parametra širine smo dobili z množenjem parametra lege s količnikom v pravilni mreži.

Parameter oblike

- Parameter oblike je sodeč po tuji literaturi (Ragulina in Reitan, 2017; Serinaldi in Kilsby, 2014) med bližnjimi postajami zelo podoben.

Preglednica 2. Značilnosti kriging modela in rezultati navzkrižne validacije za prostorsko interpolacijo količnika parametra širine in parametra lege. Podrobnosti tabele so predstavljene pri preglednici 1.

Table 2. Kriging model parameters and cross-validation statistics results of spatial interpolation for ratio between scale and location parameter. Details of the table are presented below table 1.

časovni interval	območje	pojasnjevalne spremenljivke	R2	nRMSE	oblika variograma
5 minut	notranji del	x	0,09	1,00	eksponentna
	primorski del	/	/	1,24	eksponentna
10 minut	notranji del	x	0,17	0,94	eksponentna
	primorski del	/	/	1,07	eksponentna
15 minut	notranji del	x	0,10	0,97	eksponentna
	primorski del	/	/	1,30	eksponentna
20 minut	notranji del	x	0,09	0,96	eksponentna
	primorski del	z	0,15	1,06	sferična
30 minut	notranji del	x	0,09	0,87	eksponentna
	primorski del	y, z	0,18	1,13	eksponentna
45 minut	notranji del	/	/	0,82	eksponentna
	primorski del	/	/	1,18	eksponentna
60 minut	notranji del	/	/	0,80	eksponentna
	primorski del	/	/	1,28	eksponentna
90 minut	notranji del	/	/	0,95	eksponentna
	primorski del	x, y, z	0,28	1,22	sferična
120 minut	notranji del	y	0,14	0,90	eksponentna
	primorski del	x, y, z	0,34	1,13	sferična
180 minut	notranji del	x, z	0,36	0,59	eksponentna
	primorski del	x, y, z	0,45	0,90	sferična
240 minut	notranji del	x, z	0,46	0,53	eksponentna
	primorski del	x, y, z	0,46	0,91	eksponentna
300 minut	notranji del	x, z	0,45	0,55	eksponentna
	primorski del	x, y, z	0,50	0,84	sferična
360 minut	notranji del	x, loc24	0,39	0,91	eksponentna
	primorski del	x, z, kol24	0,73	1,05	sferična
540 minut	notranji del	x, loc24	0,37	0,88	sferična
	primorski del	kol24	0,66	0,72	sferična
720 minut	cela Slovenija	y, loc24, kol24	0,32	0,89	sferična
900 minut	cela Slovenija	y, kol24	0,25	0,97	eksponentna
1080 minut	cela Slovenija	kol24	0,18	0,98	eksponentna
24 ur	cela Slovenija	x, y, z	0,06	0,96	sferična
48 ur	cela Slovenija	y, z, letne_pad	0,09	0,94	sferična
72 ur	cela Slovenija	y, z, letne_pad	0,10	0,96	sferična
96 ur	cela Slovenija	y, z, letne_pad	0,13	0,92	sferična
120 ur	cela Slovenija	x, y, letne_pad	0,16	0,89	sferična

Negotovost tega parametra za vsako postajo posebej je v našem primeru večja kot so razlike med postajami. Značilnih geografskih odvisnosti parametra oblike v Sloveniji nismo zaznali, zato smo poenotili njegovo vrednost za celotno Slovenijo – določili smo ga z mediano vrednosti parametra oblike na vseh postajah za vsako dolžino naliva posebej.

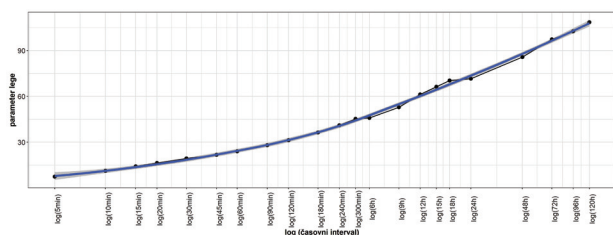
Časovno glajenje

Zaradi neodvisne obravnave (računanja parametrov GEV) za vsak interval posebej pride do neskladnosti med vrednostmi povratnih nivojev za različne časovne intervale nalivov. Da se izračunane vrednosti povratnih nivojev gladko spreminjajo tako v prostoru kot glede na časovni interval smo vrednosti parametrov GEV v pravilni mreži zgladili še po dolžini časovnega intervala. Uporabili smo metodo lokalno uteženega glajenja LOESS (angl. locally weighted scatterplot smoothing) (Cleveland in Devlin, 1988), pri čemer smo vrednosti neodvisne spremenljivke (dolžine intervala) predhodno logaritmirali, da je časovna odvisnost bližje premici kot pri surovih podatkih (slika 5).

Delež uporabljenih podatkov za glajenje LOESS smo določili z metodo najbližjih sosedov. Parameter glajenja kontrolira stopnjo glajenja in predstavlja delež celotnega števila točk niza, ki so uporabljene za lokalno glajenje. Velike vrednosti dajo najbolj zglajene funkcije, ki najmanj sledijo nihanju podatkov. Manjši kot je bolj se regresijska funkcija prilaga podatkom. V naši raziskavi smo za vsak parameter porazdelitve GEV subjektivno določili vrednost (preglednica 3).

Rezultati

Končni rezultat celotnega postopka so časovno in prostorsko skladne vrednosti parametrov GEV v obliki



Slika 5. Primer glajenja z LOESS preko časovnih intervalov za eno mrežno točko (najbližja točka postaji Ljubljana Bežigrad) parametra lege porazdelitve GEV v pravilni mreži. Glajenje smo izvedli na logaritemski časovni skali.

Figure 5. An example of LOESS smoothing over all 22 time intervals for one grid point (closest to station Ljubljana Bežigrad) of mapped location parameter. LOESS smoothing was done on a logarithmic temporal scale.

Preglednica 3. Vrednosti parametra glajenja LOESS α za vsak parameter porazdelitve GEV

Table 2. Smoothing parameter values used in LOESS smoothing of GEV distribution parameters

	Parameter lege	Količnik parametra širine in lege	Parameter oblike
Parameter glajenja LOESS (α)	0,7	1	0,7

zemljevidov. Vrednosti parametrov GEV so osnova izračuna povratnih nivojev za različne povratne dobe (2, 5, 10, 25, 100 in 250 let) (slika 6).

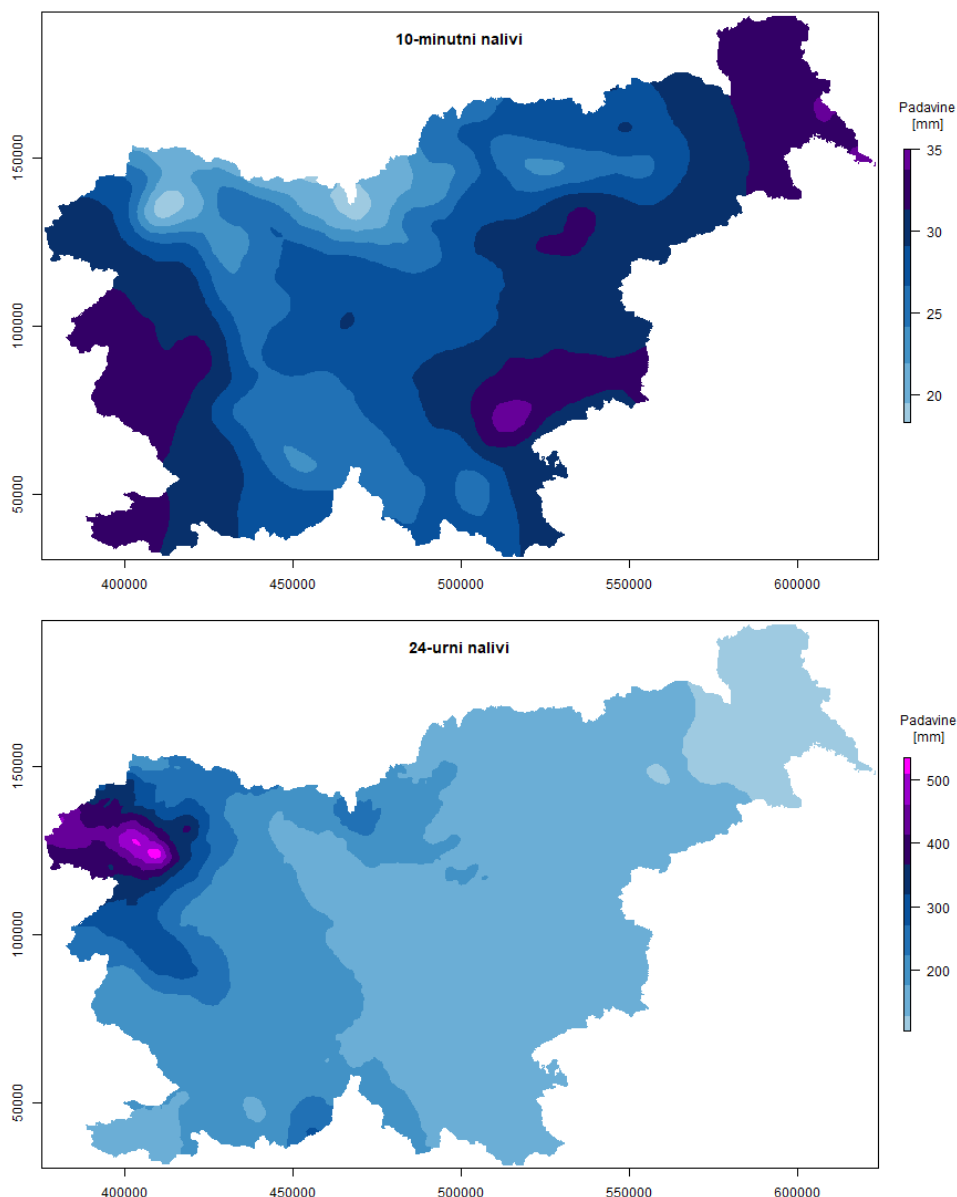
V vseh primerih je bila osnovna prostorska interpolacija izvedena v pravilni stometrski mreži – z namenom upoštevanja razgibanosti reliefa v tej ločljivosti. Glede na prostorsko gostoto merilnih mest je ocenjena reprezentativnost rezultatov med 1 in 3 km. Končni rezultati so zato zglajeni v pravilno mrežo z ločljivostjo 1 km.

Sklep

S to raziskavo smo na sodoben način obdelali množico meritev pluviografskih in dežemernih postaj za izračun statistične verjetnosti nalivov oziroma povratnih nivojev. S pomočjo različnih metod (kriging, glajenje) smo bistveno izboljšali oceno o prostorski porazdelitvi povratnih nivojev ekstremnih padavin. Doslej smo na ARSO povratne nivoje za območje Slovenije izračunali le na postajah s pluviografskimi meritvami, s to raziskavo pa so nivoji izračunani in dostopni v kilometrski mreži za območje celotne Slovenije. Novi izračuni bodo v pomoč pri analizi ekstremnih nalivov, načrtovanju različnih objektov, v kmetijstvu in za druge namene. V prihodnosti nameravamo v izračun povratnih nivojev zajeti meritve samodejnih postaj, kar bo predvidoma še izboljšalo zanesljivost rezultatov.

Viri

- Agencija RS za okolje (2009). Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi, Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana.
- Cleveland, W. S. in Devlin S. J. (1988). Locally Weighted Regression: An Approach to Regression Analysis by Local Fitting, *Journal of the American Statistical Association* 83, 596–610.
- Coles, S. (2004). *An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values*, Springer, Bristol, 3rd printing, 47–52.
- Koutsoyiannis, D. (2004a). Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: I. Theoretical investigation, *Hydrological Science Journal* 49, 575–590.



Slika 6. Zemljevida Slovenije, ki prikazujeta povratni nivo (v milimetrih) za 10-minutne (zgoraj) in 24-urne nalive (spodaj) s povratno dobo 100 let v mreži s prostorsko ločljivostjo 1 km. Pričakovani najmočnejši kratkotrajni nalivi so povečini v nižinskem svetu (konvektivne padavine), medtem ko pri 24-urnih nalivih izstopajo Julijske Alpe (zaradi spleta izrazitih orografskih in konvektivnih padavin).

Figure 6. Map of Slovenia showing return level (in millimetres) for 10-minute (top) and 24-hour rainfall (bottom) with return period of 100 years on a grid with spatial resolution of 1 km. For short intervals the heaviest rainfall occur mostly in the lowlands (convective precipitation), while for 24-hour rainfall Julian Alps stand out (due to a mix of intense orographic and convective precipitation).

- Koutsoyiannis, D. (2004b). Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: II. Empirical investigation of long rainfall records, *Hydrological Science Journal* 49, 591–610.
- Papalexiou, S. M in Koutsoyiannis D. (2013). Battle of extreme value distribution: A global survey on extreme daily rainfall, *Water Resources Research* 49, 187–201.
- Ragulina G., Reitan T. (2017). Generalized extreme value shape parameter and its nature for extreme precipitation using long time series and the Bayesian approach, *Hydrological Sciences Journal* 62, 863–879.
- Rink s. in Cegnar T. (1987). Primerjava statističnih metod

za oceno eksternih vrednosti padavin, *Razprave* 29, 13–32.

- Serinaldi F., Kilsby C. G. (2014). Rainfall extremes: Toward reconciliation after the battle of distributions, *Water Resources Research* 50, 336–352.

Študija je bila narejena v okviru projekta CROSSRISK, ki se izvaja v okviru Programa sodelovanja Interreg V-A Slovenija-Avstrija

Prostorska interpolacija maksimalne snežne obtežbe

Neža Lokošek, Gregor Vertačnik, Agencija Republike Slovenije za okolje
neza.lokosek@gov.si

Povzetek

Dodatne sile na objektih zaradi snežne odeje so za konstrukcijo objektov pomemben podatek. Prvi zemljevid snežnih obtežb je bil narejen leta 1996: Karakteristična snežna obtežba, Tajda Mekinda-Majaron, druga pa leta 2007 (Dolinar, Ovsenik-Jeglič, Bertalančič, Vertačnik). V pričujočem članku smo se lotili prostorske interpolacije ekstremsne snežne obtežbe za več različnih povratnih dob (5, 10, 25 in 50 let) v ločljivosti 100 m s pomočjo posplošene teorije ekstremnih vrednosti. Pomemben korak za izračun maksimalne snežne obtežbe je iskanje najustrežnejšega načina kako iz meritev višine snega dobiti najboljšo oceno obtežbe. Za prostorsko interpolacijo smo uporabili splošni kriging, s pomočjo katerega smo interpolirali parametre porazdelitve GEV. Glede na projekcije podnebnih sprememb v prihodnosti, v večjem delu Slovenije lahko pričakujemo mnogo manjšo snežno obtežbo.

Ključne besede: snežne obtežbe, parametri GEV, povratni nivoji, prostorska interpolacija

Abstract

The additional forces on the structures due to snow cover are important information for constructors. The first map of snow load in Slovenia was made in 1996: Characteristic snow load by Tajda Mekinda-Majaron, and the second in 2007 (Dolinar, Ovsenik-Jeglič, Bertalančič, Vertačnik). In the present article we have undertaken the spatial interpolation of extreme snow load with multiple return periods (5, 10, 25 and 50 years) at a resolution of 100 m using a generalized extreme value theory (GEV). An important step in calculating the maximum snow load is finding the most appropriate way of getting snow load from snow height measurements. Universal kriging was used for spatial interpolation, Interpolation was not done on snow load but on its GEV distribution parameters. According to climate change estimates in the future across the lowlands of Slovenia decrease of snow load is expected.

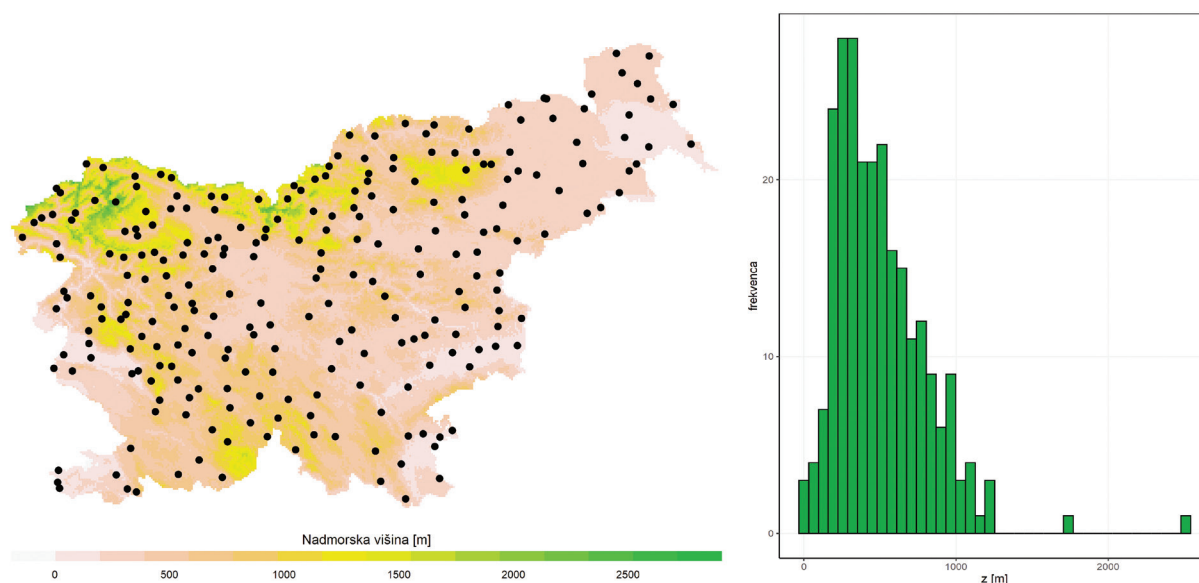
Keywords: : snow loads, GEV parameters, return levels, spatial interpolation

Uvod

Snežna odeja je v večjem delu Slovenije vsakoletni pojav, ki običajno ne povzroča znatne škode. Ob dolgotrajnem kopičenju snega ali po posameznem zelo obilnem sneženju pa lahko snežna odeja s svojo težo povzroči gmotno škodo na objektih. Snežna obtežba je odvisna od višine snežne odeje in njene gostote, ki je povezana s starostjo in preobrazbo snežne odeje. Debelina snežne odeje je v povprečju tesno povezana z nadmorsko višino, torej je pravilna ocena maksimalne snežne obtežbe ključnega pomena za objekte na nekoliko višjih nadmorskih višinah in za območja, kjer včasih zapade velika količina težkega južnega snega, sicer pa je tam snežna odeja skromna (npr. severna Primorska).

Podatki

Na bivšem Hidrometeorološkem zavodu Slovenije in kasneje Agenciji za okolje je bilo opravljenih že več študij snežne odeje v Sloveniji, nazadnje leta 2007. V omenjeni študiji so bile izračunane mejne vrednosti temperature, snežne obtežbe in projektne hitrosti vetra za konstrukcije (dokument Evropski standard – Vplivi na konstrukcije). Pri tem sta bila za snežne obtežbe ključna kontrola podatkov o višini skupnega snega in izoblikovanje modela, ki iz meritev višine snega najbolje opiše maksimalno letno snežno obtežbo, saj se gostota snega (oziroma njegova vodnatost) meri le na redkih postajah. Višina snežne odeje je bila za številne meteorološke postaje preverjena tudi v okviru projekta Podnebna spremenljivost Slovenije (PSS), zato smo za osnovo v pričujoči študiji uporabili nabor teh postaj.



Slika 1. Levo je prikazan prostorski prikaz lokacije v analizi uporabljenih postaj na barvni podlagi, ki prikazuje nadmorsko višino. Desno je prikazana porazdelitev postaj po nadmorski višini.

Figure 1. Spatial representation of stations used in the analysis. The colour base shows the elevation of the relief. Right: the distribution of stations by elevation.

Kakovost prostorske interpolacije hitro spreminjajoče se količine kot je snežna obtežba, je močno odvisna od gostote meritev. Zato smo na seznam potencialno uporabnih podatkov, poleg postaj iz projekta PSS, dodali še podatke postaj, na katerih je bila maksimalna snežna obtežba že ocenjena v okviru študije Evropskih standardov – vplivi na konstrukcije. Zaradi slabših rezultatov ob morju smo v analizo zajeli še postajo Seča in združili merilna niza Dragonje in Letališča Portorož v dovolj dolg niz meritev. Skupno smo imeli tako na voljo 300 časovnih nizov meritev znotraj obdobja 1948–2019. Podatke smo naprej uredili v snežne sezone (1. avgust–31. julij). Izločili smo leta z manjkajočimi podatki in dodali pogoj, da mora posamezno opazovalno mesto vsebovati vsaj 40 let meritev. Izjema so bile višje ležeče postaje, ki so zaradi majhnega števila lahko imele krajše nize. Zaradi sumljivih rezultatov okoli Lesc smo se odločili, da upoštevamo tudi postajo Lesce (39 let podatkov) in jo, podobno kot ob morju, združimo z meritvami iz bližnje Radovljice in tako podaljšamo niz za slabih 20 let. Slika 1 prikazuje prostorsko porazdelitev lokacij vseh 249 postaj, s katerih smo uporabili podatke za oceno ekstremnih snežnih obtežb.

Metode

Model snežne obtežbe

V literaturi najdemo nekaj različnih metod za izračun snežne obtežbe, ki večinoma temeljijo na predpostavljeni gostoti snega, ko ta doseže maksimalno višino v dani sezoni (Sanpaolesi, 1998

in 1999). Težava takšnega enostavnega modela je v tem, da ne upoštevamo izvora snežne odeje oziroma razvoja snežne odeje do dneva z maksimalno obtežbo v posamezni sezoni. Tovrstna poenostavitev lahko pripelje do velike napake v posameznih letih in posledično do pomembnega odstopanja med izračunano in dejansko vrednostjo maksimalne snežne obtežbe z določeno povratno dobo. Poleg tega gostota snega v času največje višine ni različna le od leta do leta, temveč tudi od podnebja. V Prekmurju tako pogosto tudi v času obilnega sneženja pada suh in rahel sneg z majhno gostoto, medtem ko je za Zgornje Posočje značilen težak in južen sneg s precej večjo gostoto. V visokogorju pozimi večinoma sneži pri temperaturah globoko pod lediščem, torej ima novozapadli sneg majhno gostoto (razen kjer ob močnem vetru nastajajo klože in opasti). Skozi meteorološko zimo in pomlad se zaradi velike teže in taljenja sneg seseda, zato ima v času največje obtežbe precej večjo gostoto kot novozapadli sneg.

Največjo težavo pri meritvi višine snežne odeje v visokogorju predstavljata veter in razgiban teren, za nameček pa za dejansko oceno stanja v Sloveniji primanjkuje gorskih postaj. Postaja pri Triglavskem domu na Kredarici, na nadmorski višini 2513 m, je edina naša postaja nad 2000 metri z več desetletnim nizom meritev, a je zaradi velikih lokalnih razlik pravi pokazatelj nekaterih vremenskih spremenljivk (veter, sneg) le v ožji okolici. Poleg tega vodnatost na tej postaji merimo le enkrat ali dvakrat letno, tako da lahko na podlagi teh podatkov in ostalih meritev na meteorološki postaji ter opisa razmer le bolj ali manj točno sklepamo o dejanski vodnatosti in snežni

obtežbi na tej nadmorski višini in v tem območju Julijskih Alp.

Zaradi navedenih pomislekov je bil že pred leti, ko so se ocenjevali vplivi na konstrukcije, izveden test, s katerim smo primerjali linearno odvisnost maksimalne snežne obtežbe od izbrane spremenljivke. Med te spremenljivke sodijo sezonska maksimalna višina snežne odeje, sezonsko trajanje snežne odeje in sezonska vsota višin novega ter vsota višin skupnega snega. Na večini izmed 15 postaj, kjer imamo meritve vodnosti, je snežna obtežba najbolj povezana z vsoto višin skupnega snega, nekoliko slabše z maksimalno višino snežne odeje. Pearsonov korelacijski koeficient med maksimalno snežno obtežbo in višino skupnega snega se je pri večini postaj gibal okoli 0,9. Poleg osnovnih smo preizkusili še nekaj drugih bolj ali manj zapletenih modelov. Za najboljšega se je izkazal model, ki za neodvisno spremenljivko jemlje koren vsote kvadratov dnevni višin skupnega snega, h_d :

$$K = \sqrt{\sum_d h_d^2} \quad (1)$$

Pri tem modelu se je korelacijski koeficient med snežno obtežbo in K za večino postaj gibal okoli 0,95, kar je več kot zadovoljiva vrednost za nadaljnje izračune. Na maksimalno snežno obtežbo torej ne vpliva le maksimalna višina, temveč tudi trajanje snežne odeje, pri čemer dnevi z večjo višino bolj prispevajo k večanju vrednosti kot pri modelu z vsoto višin skupnega snega.

Posplošena teorija o ekstremnih vrednostih

Opis teorije o ekstremnih vrednostih je povzet po (Medmrežje 1). Maksimalna snežna obtežba v posameznem letu je neodvisna naključna spremenljivka, ki je enakomerno porazdeljena v daljšem časovnem obdobju in ima neko končno vrednost (maksimalna snežna obtežba ne more naraščati v neskončnost). To pomeni, da za oceno ekstremnih snežnih obtežb lahko uporabljamo posplošeno teorijo ekstremnih vrednosti (ang. *extreme value theory*), ki izhaja iz posplošene porazdelitve ekstremnih vrednosti (ang. *generalized extreme value* – GEV). Porazdelitev GEV združuje Gumbelovo, Fréchetovo in Weibullovo porazdelitev v eno družino, kar omogoča obseg mnogih oblik porazdelitve. Te tri porazdelitve so znane tudi kot porazdelitve ekstremnih vrednosti tipa I, II in III. Porazdelitev GEV se parametrizira s parametrom oblike (ξ – ang. *shape*), parametrom lokacije (μ – ang. *location*) in parametrom širine/merila (σ – ang. *scale*). Definirana je kot

$$G(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} e^{-(1+\xi \frac{x-\mu}{\sigma})^{-\frac{1}{\xi}}}, & \xi \neq 0, \\ e^{-\frac{x-\mu}{\sigma}}, & \xi = 0 \end{cases} \quad (2)$$

kjer je $1+\xi \frac{x-\mu}{\sigma} > 0$, $\mu, \sigma \in \mathbb{R}$ in $\sigma > 0$.

Vzorcu ekstremnih vrednosti (v našem primeru maksimalnih snežnih obtežb) lahko prilagodimo najboljše ujemanje GEV porazdelitvi. Iz tega dobimo oceno parametrov lokacije, širine in oblike. Pri ekstremnih pojavih nas pogosto zanima povratna doba oz. povratni nivo obravnavane spremenljivke. Sledeča enačba opisuje, kako iz ocen lokacije, širine in oblike ocenimo povratni nivo. Vrednost z_p je poznana kot povratni nivo s povratno dobo $1/p$.

$$\hat{z}_p = \hat{\mu} - \frac{\hat{\sigma}}{\xi} [\{-\log(1-p)\}^{-\xi} - 1] \quad (3)$$

Izračun parametrov GEV

Na vseh postajah, prikazanih na sliki 1, smo iz dnevni vrednosti višine skupnega snega izračunali K . Pogoji za izračun so vsi dnevni podatki posamezne snežne sezone; če niz vsebuje manjkajoče podatke, potem za tisto sezono podatek K manjka. Iz letnih vrednosti K smo s pomočjo funkcije *fevd* v programskem okolju R ocenili parametre GEV (lokacija, širina in oblika). Funkcija *fevd* za določanje parametrov uporablja metodo maksimalne verjetnosti (ang. *maximum likelihood estimation* (MLE)). Ker na primorski strani dinarske pregrade redko sneži in snežna sezona pogosto mine povsem brez snega, smo pri izračunu parametrov GEV upoštevali le sezone s $K > 0$. Pri izračunu povratnih nivojev smo nato ustrezno upoštevali delež sezon brez snega.

Na podlagi meritev vodnosti snežne odeje na 12 postajah smo izračunali povezavo med porazdelitvijo prenosne funkcije K in snežno obtežbo (preglednica 1). Najprej smo za obe vrednosti, torej K in meritve vodnosti (S), izračunali parametre porazdelitve GEV ter njihovo napako na vsaki postaji. Za lokacijo in širino porazdelitve smo postopali po sledečem postopku, ki je opisan za primer lokacije. Najprej smo na vsaki postaji posebej izračunali razmerje (*raz*) lokacije pridobljene iz meritev vodnosti in lokacije iz modela K .

$$raz = \frac{\mu_S}{\mu_K} \quad (4)$$

V naslednjem koraku smo izračunali kvocient napake lokacije izračunane iz meritev vodnosti in samo vrednostjo lokacije dobljene iz vodnosti. Ter enako za prenosno funkcijo K .

$$\alpha_S = \frac{napaka \mu_S}{\mu_S} \quad in \quad \alpha_K = \frac{napaka \mu_K}{\mu_K} \quad (5)$$

Uteži, prikazane v tabeli 1, ki smo jih uporabili za transformacijo iz parametrov GEV prenosne funkcije K v parametre GEV vodnosti so tako utežene z negotovostjo ocene parametra. Do končne uteži za primer lokacije pridemo po enačbi 6.



$$U_i = \sum_{i=1}^{12} r a z_i \cdot \frac{1/(\alpha_{K_i}^2 + \alpha_{S_i}^2)}{\sum_{j=1}^{12} 1/(\alpha_{K_j}^2 + \alpha_{S_j}^2)} \quad (6)$$

Prireditev oblike porazdelitve iz funkcije višine snega K v obliko porazdelitve snežne obtežbe S je potekala po podobnem premisleku. Za K in S smo najprej izračunali utežene vrednosti

$$a_K = \xi_K \cdot \left(\frac{1}{\text{napaka } \xi_K} \right)^2 \quad a_S = \xi_S \cdot \left(\frac{1}{\text{napaka } \xi_S} \right)^2 \quad (7)$$

Izračunamo še uteži:

$$b_K = \frac{1}{\text{napaka } \xi_K^2} \quad \text{in} \quad b_S = \frac{1}{\text{napaka } \xi_S^2} \quad (8)$$

Uteženo povprečje obeh porazdelitev med sabo odštejemo in dobimo še zadnji parameter (ξ_S), ki ga moramo prišteti mediani vseh parametrov oblike izračunanih iz funkcije K na vseh obravnavanih postajah, da dobimo obliko porazdelitve S .

$$\text{povprečje}_K = \frac{\sum_{i=1}^{12} a_K}{\sum_{i=1}^{12} b_K} \quad \text{povprečje}_S = \frac{\sum_{i=1}^{12} a_S}{\sum_{i=1}^{12} b_S} \quad (9)$$

Če povzamemo, primerjali smo vrednosti parametrov GEV za obe spremenljivki (K in S) in izračunali ustrezno razmerje (lokacija, širina porazdelitve) oziroma razliko (parameter oblike) za posamezno točko meritev. Končne vrednosti smo dobili z uteženim povprečjem glede na negotovost izračunanih vrednosti parametra GEV.

Prostorska interpolacija parametrov GEV

Naslednji korak je prostorska interpolacija, ki smo jo izvedli za parametra lokacije in širine ter razmerje ($VL-BS/VL$), kjer VL označuje vsa obravnavana leta s popolnimi podatki, BS pa leta, ko v celi sezoni nismo zabeležili snega. Prostorska interpolacija je bila narejena s pomočjo kriginga,

Preglednica 1. Zveza med parametri porazdelitve GEV korena vsote kvadriranih višin snega (K) in parametri maksimalne snežne obtežbe (S)

Table 1. Relationship between GEV distribution parameters of root sum of squared snow heights (K) and parameters of maximum snow load (S)

K	S
funkcija višine snega	snežna obtežba
[cm]	[kg/m³]
μ_s [cm]	$0,452247 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^3 \cdot \mu_s$
σ_s [cm]	$0,394309 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^3 \cdot \sigma_s$
ξ_s	<i>mediana</i> (ξ_s) + 0,0354

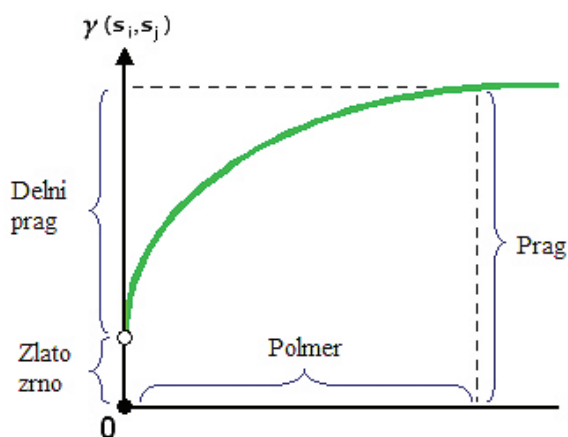
to je statistični postopek, s katerim iz naključno razporejenih točk meritev ocenimo vrednosti merjene količine na celotnem opazovanem območju. Osnovna predpostavka v tem postopku je obstoj prostorske povezave med dvema opazovalnima točkama, s pomočjo katere ocenimo spreminjanje proučevane spremenljivke v prostoru. S prilagajanjem matematičnega modela na vse opazovalne točke znotraj izbranega polmera s krigingom ocenimo vrednosti v vseh mrežnih točkah znotraj radija. Gre za večstopenjski proces, ki vključuje raziskovalno statistično analizo podatkov, modeliranje variograma, ocenjevanje vrednosti v vseh točkah opazovalne površine in analizo variance na obravnavanem območju. Najbolj je uporaben, ko vemo, da je v podatkih prostorsko povezana razdalja ali smerna pristranskost. Enačba kriginga je vsota uteženih opazovanj in jo zapišemo kot

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (10)$$

kjer je $Z(s_i)$ meritev na i -ti lokaciji (točki), λ_i neznana utež za meritev na lokaciji i , s_0 lokacija kjer nimamo meritev in bi radi vrednost ocenili in N število vseh obravnavanih točk meritev. Pri krigingu uteži ne temeljijo samo na razdalji med točkami meritev in lokacijo kjer meritev nimamo, temveč tudi na celotni prostorski povezanosti meritev. Osnovne podatke uporabimo dvakrat; prvič pri risanju semivariograma in kovariančni funkciji ter drugič pri ocenjevanju neznanih vrednosti. Pri prostorskem modeliranju opazovalne spremenljivke začnemo z empiričnim grafom variance, ki jo dobimo s pomočjo enačbe, ki jo uporabimo na vseh parih lokacij, ločenih z razdaljo h :

$$\text{semivariogram}(h) = 0,5 \cdot \text{povprečje}((s_i - s_j)^2) \quad (11)$$

Pogosto ima vsak par lokacij edinstveno razdaljo in pogosto je parov točk veliko. Izris vseh parov hitro postane neobvladljivo, zato navadno izrisujemo povprečno varianco parov po razredih medsebojne razdalje. Empirični semivariogram je krivulja povprečnih vrednosti variance na osi y in oddaljenosti na osi x . Pari bližnjih točk imajo skoraj vedno večjo podobnost v opazovani vrednosti kot pari oddaljenih točk, zato ima empirični semivariogram praviloma obliko naraščajoče funkcije (slika 2). Modeliranje semivariograma, torej najboljše prilagajanje krivulje varianci, je ključni korak za prostorski opis poteka opazovane spremenljivke. Prilagojena krivulja je zvezna funkcija, najpogosteje sferične ali eksponentne oblike. Iz oblike semivariograma lahko razberemo polmer območja med točkami meritev, med katerimi še obstaja prostorska korelacija. Pri tem polmeru se prilagoditvena krivulja uravnava v vodoravno črto. Vrednost semivariograma pri tej razdalji (razmiku, ang. range) imenujemo prag (ang. sill). Vrednost pri razdalji 0 imenujemo zlato zrno (ang. nugget). Ta naj bi bila v idealnem primeru 0, vendar se v realnosti to nikoli



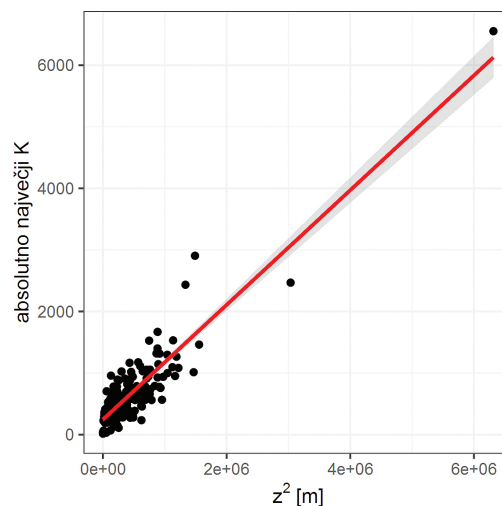
Slika 2. Prikaz osnovnih vrednosti, ki jih lahko ocenimo iz oblike variograma.

Figure 2. Illustration of Range, Sill, and Nugget components

ne zgodi, saj zlato zrno predstavlja začetno napako, ki pa je mešanica napake reprezentativnosti in napake inštrumenta. Opisane vrednosti so predstavljene na sliki 2 (povzeto po medmrežje 2).

Splošni kriging uporabimo, ko vemo, da v podatkih obstaja linearni trend. Snežna obtežba se v Sloveniji spreminja z oddaljenostjo od morja in je seveda močno odvisna od nadmorske višine. Z višino se spreminja približno kvadratično, kar je prikazano na sliki 3.

Prostorska spremenljivka, ki jo interpoliramo, ima torej trend v prostoru zato uporabimo metodo splošnega



Slika 3. Spreminjanje absolutno največjega K (najvišja vrednost K kadarkoli dobljena na postaji) s kvadratom višine. Rdeča črta predstavlja linearno prilagajanje, črne pike pa vrednosti absolutno največjega K po postajah.

Figure 3. Dependence of absolute maximum K with square of height. The red line represents the linear adjustment, and the black dots represent the values of maximum K across stations.

kriginga. Pri krigingu parametrov snežne obtežbe smo poleg osnovnih geografskih spremenljivk x , y in nadmorske višine z uporabili kvadrat nadmorske višine (z^2). S pomočjo kriginga smo prostorsko interpolirali parameter lokacije in širine, ki sledita orografiji. Parametru oblike, ki se – sodeč po podatkih – prostorsko malo spreminja, smo na

Preglednica 2. Uporabljene zunanje spremenljivke in statistika pri krigingu lokacije, širine in razmerja let.

Table 2. Validation statistics results of kriging for location, scale and ratio (VL-BS)/VL.

	Lokacija [kg/m³]	Širina [kg/m³]	(VL-BS)/VL	
pojasnjevalne spremenljivke pri krigingu	x, y, z, y^2, z^2, xy	x, y, z, y^2, z^2, xy	x, y, z, z^2, xy	regresija
R^2	0,90	0,82	0,56	regresija
p	0,00	0,00	0,00	regresija
Zlato zrno	9216701	767150	0,00136	variogram
Delni prag	2091391	1589936	0,05589	variogram
r	0,90	0,91	0,88	navzkrižno preverjanje
nRMSE	47,6	43,3	48,4	navzkrižno preverjanje
RME	-0,0323	-0,0196	-0,0022	navzkrižno preverjanje

Zlato zrno – predstavlja velikost začetne napake

Delni prag - njegova vrednost pove, ali je kriging sploh smiselno izvesti. Večja kot je vrednost bolj smiselna je izvedba kriginga.

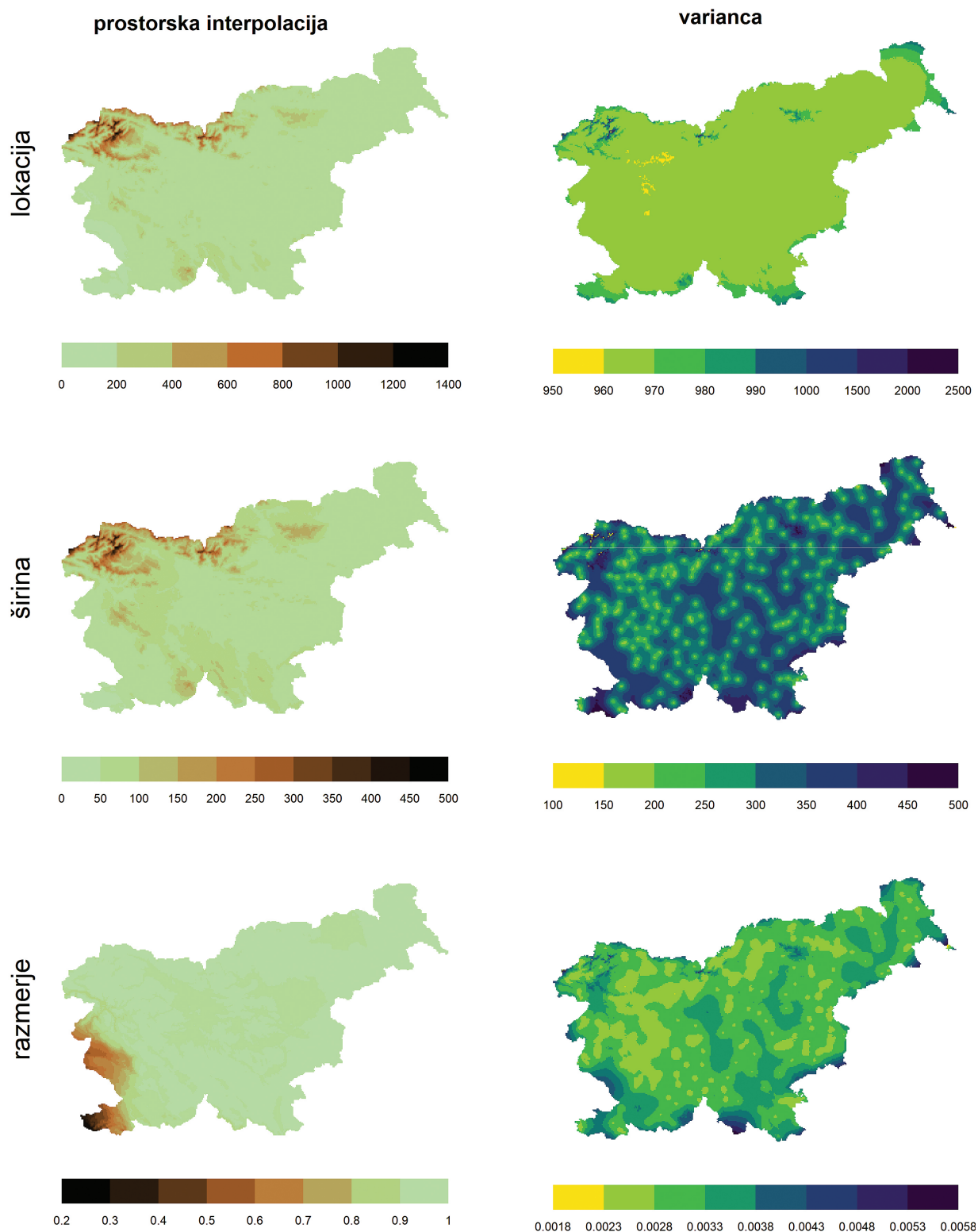
R^2 - koeficient, ki pove kolikšen del variabilnosti je že opisan v determinističnem modelu

r – korelacijski koeficient med modelskimi in dejanskimi vrednostmi v točkah meritev pri navzkrižnem preverjanju.

nRMSE – normalizirana relativna povprečna napaka

RME – relativna povprečna napaka

p – vrednost F statistike (F test uporabimo za skupno zanesljivost regresije)



Slika 4. Rezultat prostorske interpolacije in varianca le te za parametre lokacije, širine in razmerje $(VL-BS)/VL$.

Figure 4. The result of spatial interpolation and variance of the location and scale parameters and the $(VL-BS)/VL$ ratio

celotnem območju priredili vrednost 0.152 (mediana parametra oblike po postajah + 0.0354, skladno s preglednico 1). V preglednici 2 so povzete statistike in uporabljene zunanje spremenljivke pri krigingu za vse tri parametre, ki so bili prostorsko interpolirani.

Rezultati kriginga za lokacijo in širino porazdelitve ter razmerje $(VL-BS)/VL$ so prikazani na sliki 4. Dodani so tudi zemljevidi varianc krigina vseh treh interpoliranih spremenljivk.

Rezultati

Iz dobljenih rezultatov prostorske interpolacije v ločljivosti 100 m smo s pomočjo funkcije *rlevd()* v vsaki točki izračunali povratne vrednosti za naslednje povratne dobe: 5, 10, 25, 50 in 100 let. Pred samim izračunom smo povratni nivo množili s pripadajočim razmerjem $(VL-BS)/VL$, da so dobljene vrednosti res pridobljene samo iz sezon, ko smo beležili sneg. Na primeru to pomeni, da v izbrani točki, kjer v polovici obravnavanih snežnih let nismo beležili snega, izbran povratni nivo (npr. 25 let) pomnožimo z 0.5, kar znaša 12.5 let. Funkcija *rlevd()* sedaj s pomočjo ostalih elementov (vrednosti lokacije, širine in oblike v izbrani točki) izračuna povratni nivo 12.5 letne povratne dobe, vendar je ta vrednost dejanski 25 – letni povratni nivo. V večjem delu Slovenije je izbran povratni nivo potrebno pomnožiti z 1, saj po večini vsako leto beležimo snežno odejo. V preglednici 3 so izbrane nekatere postaje, kjer imamo podatke o vodnatosti snega, in pripadajoče izračune povratnih nivojev po zgoraj opisanem postopku.

Po pregledu rezultatov v preglednici 3 lahko opazimo, da so rezultati prostorske interpolacije (desni del preglednice) po večini ustrezni glede na meritve (levi del preglednice), občutneje odstopajo le za Rateče. Razlog je najverjetneje to, da postaja Rateče leži v izredno ozki alpski dolini. Poleg tega postaja leži povsem na robu našega računskega območja kjer je prostorska interpolacija manj zanesljiva. Prostorski

prikaz izbranih povratnih nivojev zglašen na večjo skalo (ločljivost 1km) povzema slika 5. Za računanje v 100 m resoluciji smo se odločili, ker tako najbolj povzamemo variabilnost opazovane spremenljivke povezane z nadmorsko višino. Rezultate smo na koncu prikazali v ločljivosti 1km, kar je reprezentativna ločljivost glede na gostoto vhodnih podatkov.

Sklep

Pri uporabi rezultatov pa je potrebno upoštevati precejšnjo negotovost pri daljših povratnih dobah (nekaj desetletij in več) in omejeno primernost uporabljene porazdelitve GEV. Parameter oblike je na primorskem sorazmerno velik in pozitiven, v krajih z veliko nadmorsko višino pa okoli ničle, oz. celo negativen. Kar pomeni, da se krivulji pri velikih povratnih dobah sekata, kar je popolnoma neprimerno (npr. 10000 letna povratna doba v Biljah nikakor ne sme in ne more biti višja od 10000 letne povratne dobe na Kredarici). Poleg tega se je verjetno že in se utegne zaradi bodočih podnebnih sprememb porazdelitev snežnih obtežb bistveno spremeniti. V toplejšem podnebju lahko zlasti po nižinah računamo na mnogo manjšo snežno obtežbo, medtem ko bo v visokogorju ključen dejavnik pri spremembah snežne obtežbe tudi višina padavin – ta se bo, glede na ocene podnebnih sprememb v Sloveniji, pozimi verjetno nekoliko povečala (Bertalančič in sod., 2018).

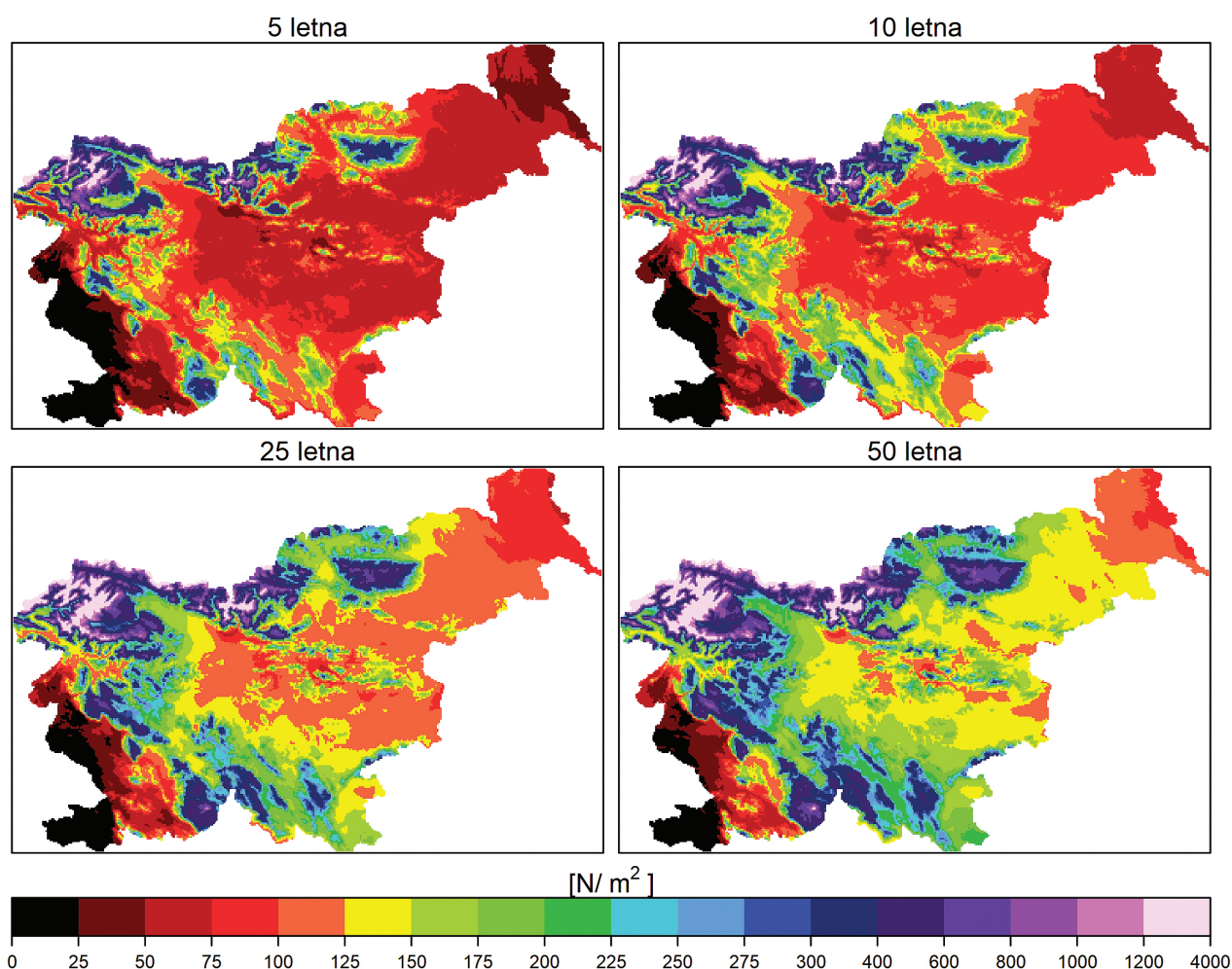
Preglednica 3. Postajni prikaz dolžine meritev snežnih obtežb, povprečno največje in absolutno največje izmerjene snežne obtežbe ter izračunane povratne nivoje po zgoraj opisanem postopku za izbrane povratne dobe.

Table 3. Station display of snow load measurements, average maximum and absolute maximum snow load measured, and calculated return levels for selected return periods.

Ime postaje	Dolžina niza	Povprečna največja obtežba	Največja izmerjena obtežba	Povratni nivo [kg/m ²]				
				2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let
Brnik	32	70	150	33	68	94	132	164
Jezersko	30	110	260	119	181	228	296	353
Kredarica	23	2040	4000	1281	1782	2165	2716	3180
Rateče	52	179	380	190	306	394	521	628
Bovec	19	104	220	66	112	148	199	241
Babno Polje	20	120	250	90	143	184	242	292
Ljubljana Bežigrad	55	58	263	39	67	88	119	145
Novo mesto	51	57	150	44	74	97	130	158
Celje	45	44	110	34	60	80	109	133
Maribor	41	48	123	48	76	97	127	153
Šmartno pri Slovenj Gradcu	51	57	150	51	83	108	143	173
Murska Sobota	50	31	95	28	49	65	88	107



Povratna doba



Slika 5. Maksimalna snežna obtežba za 5, 10, 25 in 50 letno povratno dobo

Figure 5. Maximum snow load for 5, 10, 25 and 50 year return periods

Viri

- Bertalanč R. in sod., Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja Sintezno poročilo – prvi del, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, 2018
- Sanpaolesi L., Commission of the European Communities DGIII - D3, Scientific support activity in the field of structural stability of Civil Engineering works, LOADS, Contract no. 500269 dated December 16th 1996, FINAL REPORT, University of Pisa, March 1998
- Sanpaolesi L., Commission of the European Communities, DGIII - D3, Scientific support activity in the field of structural stability of Civil Engineering works, SNOW LOADS, Contract no. 500990 dated December 12th 1997, FINAL REPORT, University of Pisa, September 1999
- Sanpaolesi L., Commission of the European Communities, DGIII - D3, Scientific support activity in the field of structural stability of Civil Engineering works, SNOW LOADS, Contract no. 500990 dated December 12th

1997, ANNEX B to the final report, EUROPEAN GROUND SNOW LOADS MAP, University of Pisa, 1999

- Medmrežje 1: <https://gmao.gsfc.nasa.gov/research/subseasonal/atlas/GEV-RV-html/GEV-RV-description.html>
- Medmrežje 2: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>

Študija je bila narejena v okviru projekta CROSSRISK, ki se izvaja v okviru Programa sodelovanja Interreg V-A Slovenija-Avstrija

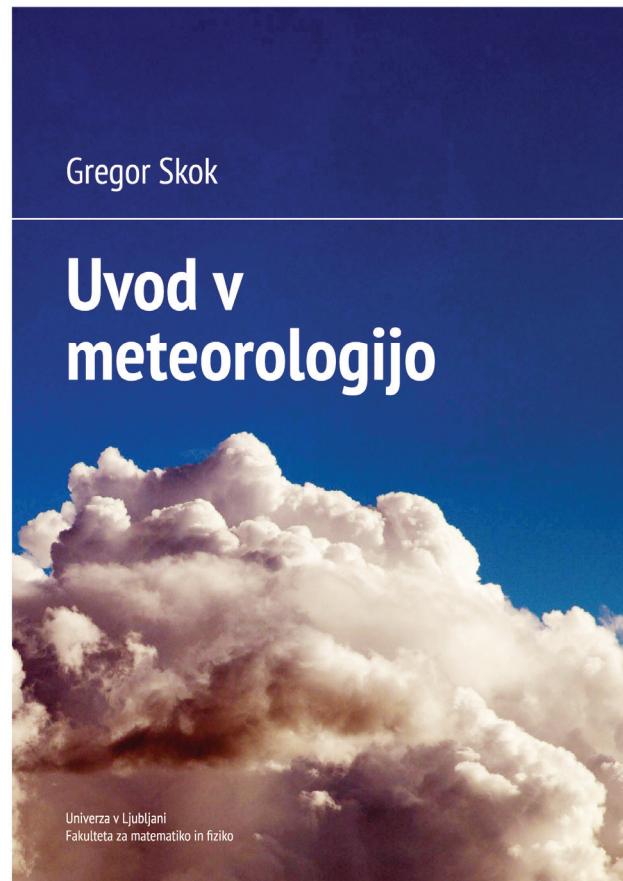
Učbenik: Uvod v meteorologijo

Gregor Skok, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Meseca maja 2020 je izšel nov univerzitetni učbenik iz področja meteorologije: Uvod v meteorologijo. Ta sicer ni primarno namenjen študentom na Fakulteti za matematiko in fiziko, ampak predvsem študentom različnih drugih fakultet, ki v okviru študija poslušajo uvodni predmet iz meteorologije. Čeprav je to univerzitetni učbenik, so predstavljene številne teme, ki bi bile zanimive tudi za splošno populacijo. Sestavlja jo ga vsebine, ki omogočajo osnovno razumevanje dogajanja in najpomembnejših procesov v ozračju ter postopka izdelave vremenske napovedi. Od sestave ozračja, meteoroloških meritev, stabilnosti in proste konvekcije, preko oblakov, padavin, ravnovesnih in lokalnih vetrolov in sevanja, do podnebnih sprememb, globalne cirkulacije in numerične napovedi vremena.

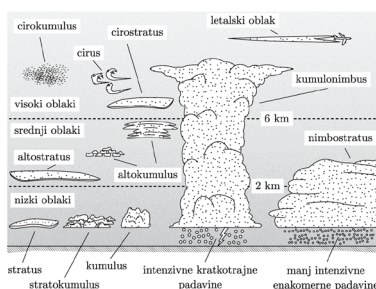
Učbenik vsebuje tudi številne praktične računske naloge s podanimi rešitvami, ob katerih so teoretični koncepti razumljivejši in praktično uporabnejši. Za razumevanje vsebine učbenika večinoma zadošča srednješolska raven znanja fizike in matematike, pri čemer so nekatere bolj zapletene izpeljave in obravnave na voljo v dodatnih poglavjih na koncu učbenika.

Zaenkrat je učbenik izdan le v tiskani obliki, z enoletnim zamikom pa bo izdan tudi v elektronski obliki v prostem dostopu - tako bo učbenik povsem prosto dosegljiv vsakomur.



17. Oblike in rodovi oblakov

Uvod v meteorologijo



Slika 27: Skica rodov oblakov. Primeri številnih fotografij posameznih rodov oblakov so na voljo na spletni strani atlasa oblakov svetovne meteorološke organizacije (<https://cloudatlas.wmo.int/home.html>).

homogena, ampak je sestavljena iz jasno razločenih manjših delov, ki se lahko delno prekrivajo ali pa tudi ne in ki so lahko bolj ali manj urejeno razporejeni.

Kumulonimbus in nimbostratus sta toliko debela oblaka, da se iz njih sproščajo padavine. **Kumulonimbus** je nevihtni oblak, ki zraste iz kumulusa. Nastane ob močni konvektivni nestabilnosti, pri čemer se zrak s prosto konvekcijo dviga zelo visoko. Če se zrak dvigne povsem do tropopavze, dobi oblak na vrhu značilno obliko nakovala. Padavine iz kumulonimbusa so v obliki plohi – so lahko zelo intenzivne (npr. pri nevihtah), a trajajo le kratek čas. Za takšne oblake sta značilna bliskanje in gromenje in iz njih lahko pada tudi toča. **Nimbostratus** je debela oblaka plast, iz katere enakomerno padajo padavine. Od spodaj je videti temne barve in je dovolj debel, da skozi njega ni moč razbrati Sonca. Padavine so manj intenzivne kot pri kumulonimbusu, vendar so bolj enakomerne in trajajo precej dlje. Kumulonimbus in nimbostratus sta edina oblaka, iz katerih lahko padajo srednje ali močno intenzivne padavine. Šibke padavine lahko padajo tudi iz nekaterih drugih oblakov, vendar količina v tem primeru ne more biti velika.

Prav poseben je **letalski oblak** oziroma **kondenzacijska sled** (angl. *condensation trail* ali *contrail*), ki lahko nastane za letali, ko letijo na velikih višinah. Kondenzacijska sled nastane v izpuhu letala zaradi sproščanja vodne pare pri izgoranju kerazina. Vodna

25. Vpliv trenja na ravnovesne vetrove

Uvod v meteorologijo

25 Vpliv trenja na ravnovesne vetrove

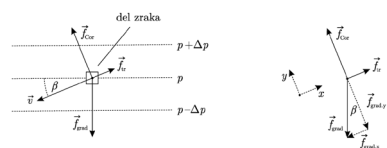
V poglavju 24 smo vpliv trenja na ravnovesne vetrove zanemarili. Sila trenja se pojavlja predvsem blizu tal in zato ravnovesni vetrovi tam pihajo nekoliko drugače kot v višinah.

Najlažje je opisati vpliv trenja na geostrofski veter. Podobno kot v višinah tudi blizu tal prisotna tudi sila trenja, ki zavira gibanje in upočasni hitrost vetra. Zmanjšanje hitrosti vpliva na Coriolisovo silo, kajti njena velikost je odvisna od hitrosti in ob zmanjšanju hitrosti se zmanjša tudi velikost Coriolisove sile. To povzroči, da se smer vetra nekoliko odmakne od smeri vporavnane z izobarami in kaže proti nižjemu tlaku (slika 40). Podobno kot v primeru brez trenja mora veljati ravnovesje vseh sil, pri čemer lahko silo razdelimo na komponente v dveh smereh. Najenostavneje je, če koordinatni sistem orientiramo tako, da koordinata x kaže v smeri sile trenja, koordinata y pa v smeri Coriolisove sile. Če označimo kot odklona od izobar z β , lahko razdelimo gradientno silo na komponenti v smeri x in y (slika 40 desno), pri čemer velja

$$\begin{aligned} |f_{grad,x}| &= |f_{grad}| \cdot \sin \beta, \\ |f_{grad,y}| &= |f_{grad}| \cdot \cos \beta. \end{aligned} \quad (42)$$

V ravnovesju mora biti seštevek sil v obeh smereh enak nič in velja

$$\begin{aligned} |f_{fr}| &= |f_{grad,x}|, \\ |f_{cor}| &= |f_{grad,y}|, \end{aligned} \quad (43)$$



Slika 40: Skica situacije v primeru geostrofskega vetra s trenjem. Levo je prikaz sil in vetra v polju zračnega tlaka. Desno so prikazane sile, kjer je gradientna sila razdeljena na dve komponenti v smeri osi x in y .



Pred ploho - Loški potok (foto: Darko Ogrin)



SPONZORJI, KI SO OMOGOČILI IZID VETRNIČE:



GVD d.o.o.
Goričane 8/d
1215 Medvode
Slovenia - Europe Union
tel/fax: +386 1 361 24 35
RADAR PRODUCT

SOLOS
REALIZACIJA GRAFIČNIH IDEJ
Solos d.o.o.



Klaro d.o.o.

