

# Od meteoroloških meritev do klimatoloških produktov

Gregor Vertačnik<sup>\*</sup>, Mojca Dolinar<sup>\*</sup>, Mateja Nadbath<sup>\*</sup>

## Povzetek

V zadnjih letih postaja povpraševanje po podnebnih podatkih zaradi podnebnih sprememb vse večje. Proces od merjenja meteoroloških spremenljivk do izdelave klimatoloških produktov za končne uporabnike zahteva veliko dela in časa. V zadnjih letih je zaradi spremljanja podnebnih sprememb vse več poudarka na homogenizaciji časovnih nizov. Ker kakovostna analiza preteklega podnebja predstavlja enega od stebrov vedenja o podnebnih spremembah je na Agenciji za RS okolje (ARSO) leta 2008 pričel teči projekt Podnebna spremenljivost Slovenije (PSS). S kontrolo izmerkov, shranjenih v računalniško bazo, homogenizacijo časovnih nizov meritev in obdelavo homogeniziranih vrednosti omogočamo končnim uporabnikom kakovostne podatke o podnebnju v preteklih desetletjih.

**Ključne besede:** podnebje, meteorološke meritve, homogenizacija, kontrola podatkov, metapodatki

**Keywords:** climate, meteorological measurements, homogenisation, quality control, metadata

## Uvod

Od industrijske revolucije dalje je človek s svojo dejavnostjo spremenil sestavo ozračja, kar je privedlo do podnebnih sprememb, ki se najbolj jasno kažejo v obliki globalnega segrevanja. Na svetovni ravni se je ozračje pri tleh v obdobju 1880–2012 segrelo za približno 0,8 °C (IPCC, 2013). Segrevanje je bilo prostorsko in časovno neenakomerno. V splošnem je bilo na zmernih in visokih severnih geografskih širinah in nad kopnim močnejše kakor na svetovni ravni. Analize meritev so že pred leti kazale, da je bilo v Sloveniji segrevanje nadpovprečno izrazito (Kajfež-Bogataj, 2004; Kajfež-Bogataj in sod., 2010), a do nedavnega nismo imeli zanesljive prostorske in časovne slike o tem segrevanju. Zaradi tega je ARSO jeseni 2008 pričela s projektom Podnebna spremenljivost Slovenije. Glavni cilj projekta je širši javnosti posredovati čim bolj točne podatke o podnebnih spremembah in spremenljivosti pri nas od leta 1961. Z uporabo modernih metod kontrole in homogenizacije podatkov ter izčrpnega arhiva metapodatkov smo izboljšali kakovost, s tem pa zanesljivost podatkov za analizo podnebja v preteklih desetletjih. Vedenje o preteklih podnebnih spremembah pa je eden od temeljev razumevanja podnebnega sistema in napovedovanja bodočih podnebnih sprememb. Informacija o bodočem podnebnju je ena od ključnih pri prilagajanju in blaženju podnebnih sprememb in sega na številna področja, od gospodarstva do turizma.

V članku je na primeru projekta in tekočih, operativnih delovnih procesov na ARSO predstavljen celotni proces od pridobitve meteoroloških podatkov do klimatoloških produktov za končne uporabnike. Posamezne točke procesa – meritve, digitalni arhiv meritev, kontrola meritev, zbiranje metapodatkov, homogenizacija in obdelava končnih podatkov – so v tem vrstnem predstavljene v tem članku.

---

<sup>\*</sup> Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje, Vojkova cesta 1b, 1000 Ljubljana

## Klasične meteorološke meritve

Prve sistematične meteorološke meritve na ozemlju današnje Slovenije segajo v konec 18. stoletja (Zupančič, 2004). V Ljubljani so z meritvami pričeli okoli leta 1820, a pred letom 1850 nimamo ohranjenih posameznih meritev, temveč zgolj mesečne vrednosti (Drnovšek, 2003). Ob koncu 19. stoletja je bilo postaj že nekaj deset, med obema svetovnima vojna je število naraslo na današnji nivo. V drugi polovici 20. stoletja se je mreža še nekoliko zgostila in dosegla vrhunec v 70. letih 20. stoletja. Kasneje se je število postaj in opazovalcev začelo zmanjševati in tudi nameščanje samodejnih postaj od začetka 90. let 20. stoletja je redčenje mreže zgolj ublažilo.

Raziskave podnebnih sprememb v zadnjih desetletjih zaradi večje razpoložljivosti klasičnih meritev običajno temeljijo na ročnih oziroma klasičnih meteoroloških meritvah. V Sloveniji klasične meritve, ki jih izvaja Državna meteorološka služba, sledijo smernicam Svetovne meteorološke organizacije (WMO, 2008). Temperaturo zraka v naši meteorološki mreži merimo dva metra nad travnatimi tlemi v angleški meteorološki hišici, ki štiti termometer pred padavinami in neposrednim sončnim sevanjem. Opazovalci na podnebnih postajah odčitajo temperaturo trikrat dnevno, ob 7., 14. in 21. uri po sončnem času. V večernem terminu odčitajo tudi najvišjo in najnižjo temperaturo preteklih 24 ur. Višino padavin merimo s preprostim, a zanesljivim Hellmannovim dežemerom. Na padavinskih in podnebnih postajah opazovalci vsako jutro ob 7. uri po srednjeevropskem času izmerijo 24-urno višino padavin. Ob istem času potekajo tudi meritve višine skupnega in novega snega. Za spremljanje trajanja sončnega obsevanja uporabljamo Campbell-Stokesov heliograf. To je naprava s kroglasto lečo, ki zbira sončne žarke na lepenki in vanjo vžge sled. Dolžina sledi ustreza trajanju sončnega obsevanja.



Slika 1: Podnebna postaja Šmartno pri Slovenj Gradcu (foto: Gregor Vertačnik)

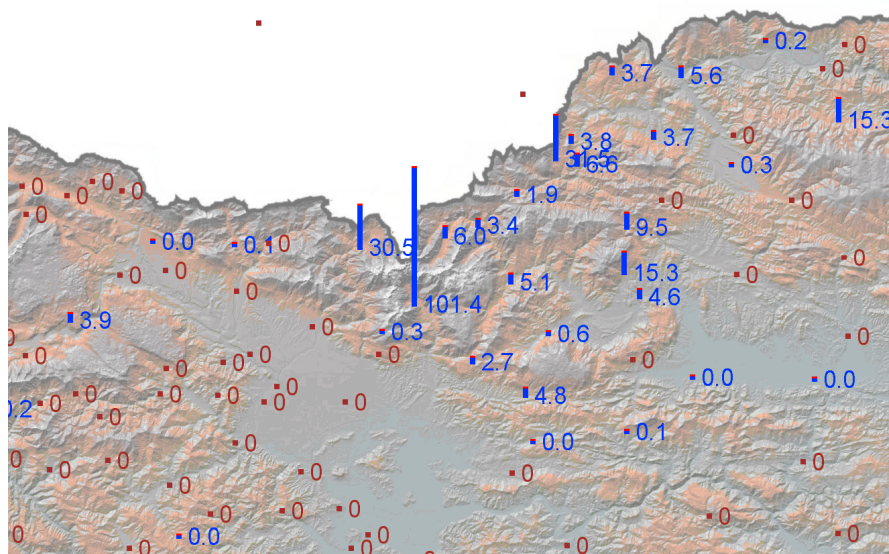
## Digitalni arhiv meritev

Prostovoljni in profesionalni opazovalci na klasičnih meteoroloških postajah vrednosti meritev in opazovanj meteoroloških spremenljivk sproti vpisujejo v padavinska poročila ali sinoptične ali klimatološke dnevnik. Ob koncu meseca jih skupaj s trakovi, na katerih je časovni potek vrednosti meteoroloških spremenljivk (termogrami, heliogrami, pluviogrami ipd.), pošljejo na sedež Agencije RS za okolje, kjer jih digitaliziramo. Z večine klasičnih meteoroloških postaj so podatki minulega meseca digitalizirani do sredine tekočega meseca. Izjema so glavne meteorološke postaje (postaje I. reda) in samodejne postaje – s teh so meteorološki podatki v digitalnem arhivu meritev na voljo sproti. Digitalizirani meteorološki podatki so shranjeni v relacijski bazi Postgres. Zapisani so v preglednicah, ki so medsebojno povezane. Do podatkov dostopamo hitro in enostavno z ukazi v programskem jeziku SQL (ang. Structured Query Language).

Digitalizirani so vsi izmerjeni meteorološki podatki od leta 1961 do danes. Mnogo izmerkov iz let pred omenjenim je že v bazi, vendar še ne vsi. Podatke z izbranih postaj z dolgim nizom opazovanj in meritev smo digitalizirali v celoti.

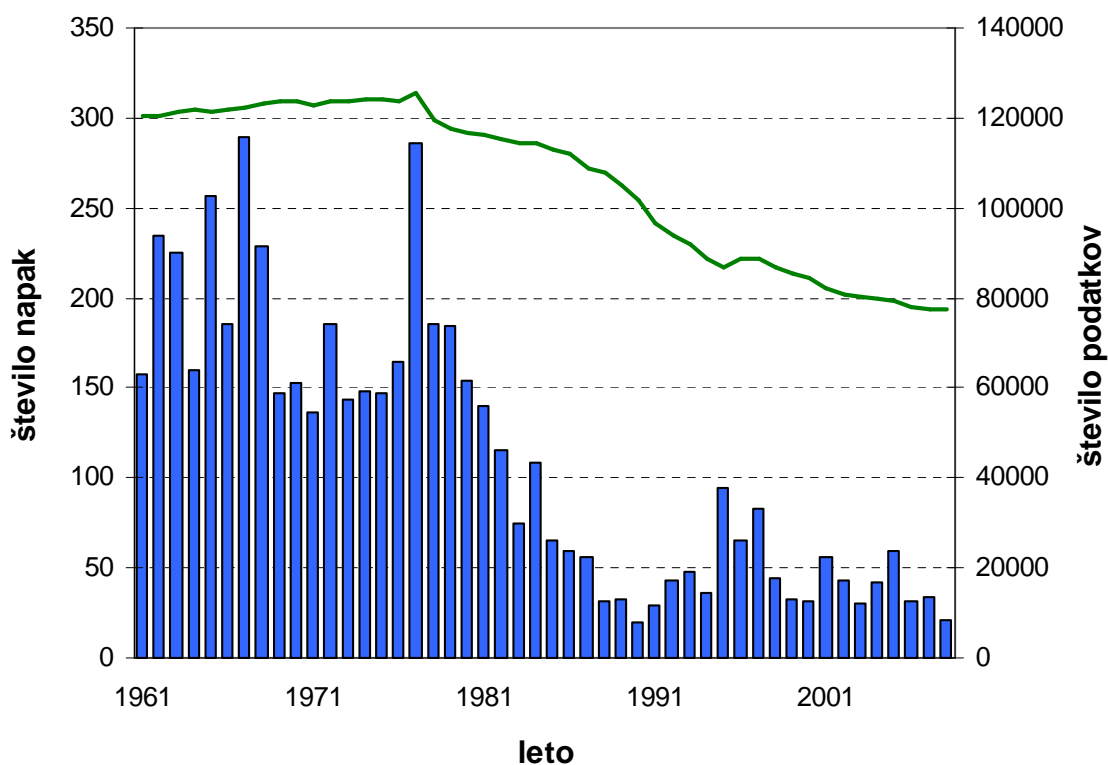
## Kontrola meritev

Pred analizo meritev je potrebno preveriti verodostojnost posameznih izmerkov. Tekoča oziroma operativna kontrola klasičnih meteoroloških meritev se je izvajala že pred desetletji na bivšem Hidrometeorološkem zavodu SRS in se nadaljuje tudi na ARSO. Zaradi razvoja računalniških zmogljivosti in metod kontrole smo se odločili, da v projektu PSS preverimo že kontrolirane izmerke za izbrane postaje od leta 1961. Osredotočili smo se na logično in prostorsko primerjavo izmerkov. Pri prvi preverimo skladnost izmerkov o izbrani meteorološki spremenljivki z drugimi spremenljivkami. Podatki so lahko neskladni po definiciji (recimo najnižja temperatura višja od najvišje temperature) in ali pa določen izmerek zelo izstopa glede na ostale izmerke na izbrani meteorološki postaji (slika 2). S prostorsko kontrolo preverimo še skladnost izmerkov izbrane postaje z izmerki okoliških postaj.



Slika 2: Primer izstopajočega izmerka pri dnevni višini padavin – 101,4 mm v Kamniški Bistrici 15. julija 1995. Na podlagi zapisa časovnega poteka padavin in zapisa o intenziteti dežja smo ugotovili, da je izmerek pravilen.

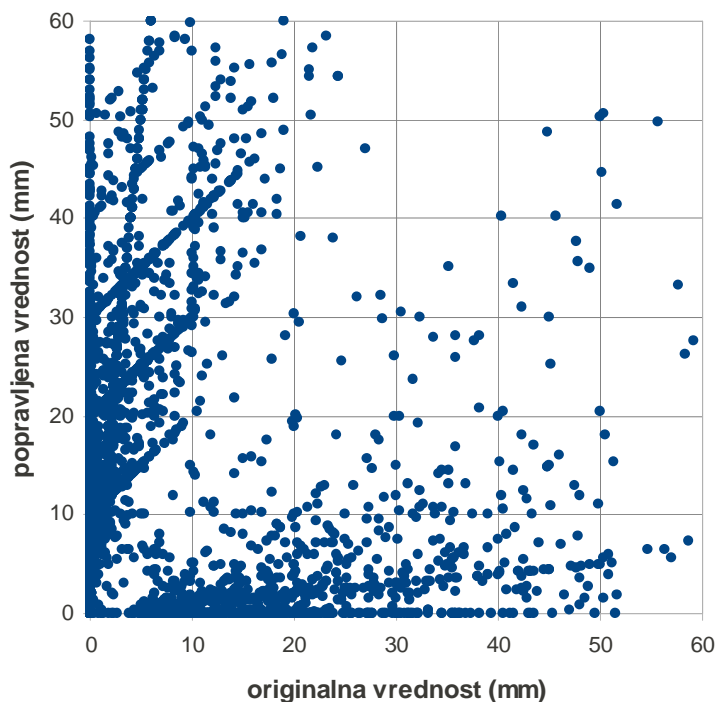
Na osnovi zgoraj zapisanih kriterijev smo s pomočjo računalniških ukazov in programov iz digitalne baze sestavili seznam najbolj izstopajočih, sumljivih izmerkov. Te smo ročno preverili s pomočjo dnevniških zapisov, trakov s časovnim potekom temperature (termogram), meritvami samodejnih meteoroloških postaj in z izmerki sosednjih in podnebno sorodnih postaj. Pri temperaturi zraka smo v kontrolo zajeli 88 postaj s skupno 5,5 milijona izmerkov. Ročno smo preverili okoli 50.000 sumljivih izmerkov in jih več kakor 20.000 popravili ter skoraj 600 izbrisali iz podatkovne baze. Pri dnevni višini padavin je bil poudarek na prostorski primerjavi in pri višini snega na medsebojni skladnosti meritev novega in skupnega snega ter višine padavin. Pri višini padavin smo zajeli 442 postaj, izmed pet milijonov vrednosti smo pregledali 20 tisoč sumljivih vrednosti. Četrtno sumljivih vrednosti smo popravili. Pri višini snega smo popravili skoraj 6000 vrednosti za novi in nekaj manj za skupni sneg. Meritve dnevnega trajanja sončnega obsevanja smo primerjali z oblačnostjo in meritvami globalnega obseva. Poleg tega smo preverili še skladnost urnih in dnevnih vrednosti ter zaporedja enakih dnevnih vrednosti. Nabor meritev trajanja, najdenih sumljivih in popravljenih vrednosti je bil približno en velikostni red manjši kakor pri prej omenjenih spremenljivkah. Število najdenih napak je imelo pri vseh spremenljivkah neenakomeren časovni potek, deloma zaradi splošne kakovosti meritev in učinkovitosti operativne kontrole ter deloma zaradi spreminjajočega števila postaj (slika 3).



Slika 3: Časovni potek letnega števila podatkov o dnevni višini padavin (črta) in odkritih napak (stolpci) v kontroli višine padavine

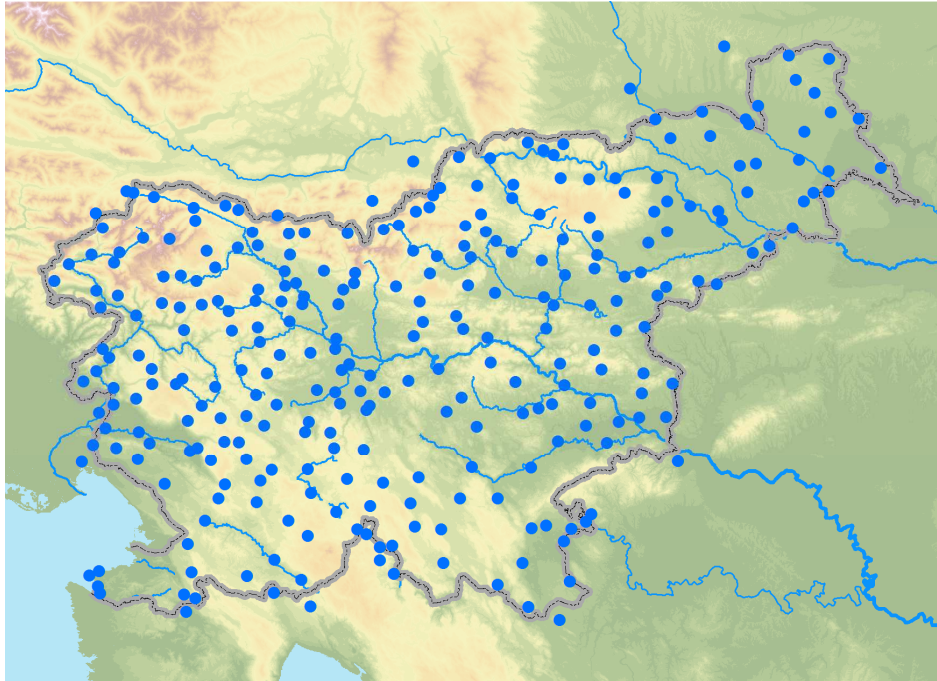
Popravki temperaturnih in padavinskih izmerkov so odsevali zgradbo merilnih inštrumentov in način zapisa izmerjenih vrednosti. Pri temperaturi je bilo največ odkritih napak velikosti 5 °C. To sovпада z razdelitvijo merilne skale na večje odseke dolžine 5 °C,

torej so opazovalci pogosto zamenjali sosednje odseke. Pri višini padavin je bila pogosta napaka manjkajoča vodilna številka ali napačno postavljena decimalna vejica (slika 4).



Slika 4: Razsevni grafikon originalnih in popravljenih vrednosti dnevne višine padavin. Prikazane so le vrednosti do 60 mm.

Po končani kontroli smo na podlagi števila najdenih napak, metapodatkov in medsebojne primerjave spremeljivk preverili kakovost posameznih časovnih nizov. Najslabše nize ali dele nizov smo izločili iz nadaljnje obdelave. Pri temperaturi zraka smo zaradi verjetno pomembnega vpliva spremembe okolice izločili postaje Ljubljana, Maribor, Velenje in Nova vas na Blokah. Podatke nekaterih sosednjih postaj smo zaradi zelo podobnih podnebnih razmer združili v enoten niz. Pri povprečni in najvišji temperaturi zraka smo tako razpolagali z 49 postajami, pri najnižji temperaturi s 36, pri višini padavin z 266 (slika 5), pri višini skupnega snega z 268, pri višini novega snega z 206 in pri trajanju sončnega obsevanja z 28 postajami. Dnevne podatke smo združili v mesečne in pripravili datoteke za homogenizacijo časovnih nizov.



Slika 5: Karta slovenskih padavinskih postaj, zajetih v homogenizaciji

### Metapodatki

Meteorološke meritve in opazovanja ne potekajo kontrolirano v laboratoriju, zato na izmerjeno ali opazovano vrednost posamezne meteorološke spremenljivke, poleg trenutnega vremena, pomembno vplivajo tudi okolica merilnega prostora, način meritve, opazovalec, instrument itn. Zaradi tega za pravilno uporabo in interpretacijo meteoroloških podatkov v klimatoloških analizah potrebujemo tudi podatke, ki povedo, kje, kdaj, na kakšen način in s čim je bil nek meteorološki podatek pridobljen – to so metapodatki.

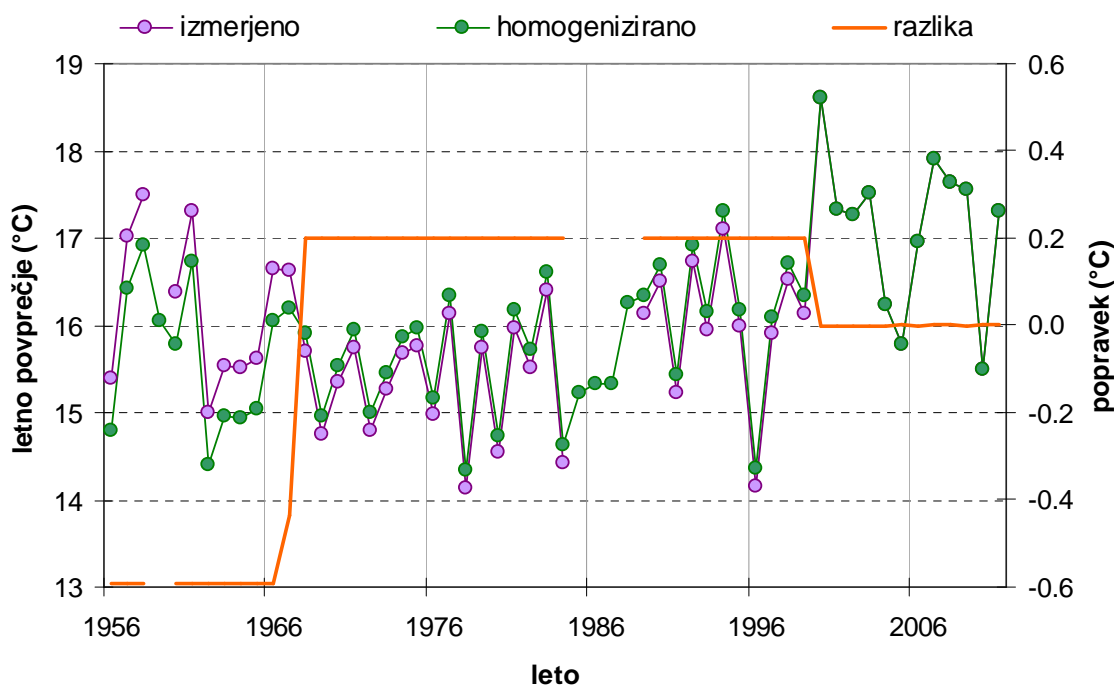
Metapodatki v klimatologiji so podatki o:

- lokaciji meteorološke postaje (koordinate in nadmorska višina postaje, opis lokacije opazovalnega prostora, skice, fotografije, načrti, ortofotografije in zemljevidi meteorološke postaje, datume selitve – spremembe opazovalnega prostora, morebitne opombe vezane na lokacijo meteorološke postaje);
- meteoroloških opazovalcev (ime in priimek ter naslov opazovalca, datum menjave opazovalcev, datum usposabljanja opazovalca, morebitne opombe glede merjenja ali opazovanja);
- meteoroloških merjenjih in opazovanjih ter instrumentih (način merjenja ali opazovanja meteorološkega parametra, termini opazovanj, vrsta in tip instrumenta, datum umerjanja ali menjave instrumenta ...)

Velika večina metapodatkov je bila do nedavnega zgolj v papirnatem arhivu, zato smo se z začetkom projekta Podnebna spremenljivost v Sloveniji lotili sistematičnega popisa vseh virov metapodatkov in njihove digitalizacije. Za izbrane meteorološke postaje smo zbrali čimbolj podroben nabor metapodatkov za obdobje meritev 1948–2012. Oblikovali smo preprosto digitalno bazo metapodatkov.

## Homogenizacija časovnih nizov

Pred nekaj desetletji so se klimatologi pri analizi meritev večinoma osredotočali na kontrolo posameznih izmerkov in prikaz podnebnih podatkov za končne uporabnike. V zadnjih 20 letih je vse večjo vlogo pri obdelavi meteoroloških meritev v klimatologiji dobila homogenizacija. Daljši časovni nizi meritev pogosto ne odražajo zgolj podnebne spremenljivosti, temveč tudi umetne vplive na meritve. Mednje sodijo menjava merilnega mesta, opazovalca, merilne naprave in načina meritev ter spreminjanje okolice merilnega mesta. Za spremljanje podnebnih sprememb je nujno, da iz časovnih nizov v čim večji meri odstranimo neželene umetne vplive – homogeniziramo časovne nize (slika 6). Popravljeni, homogenizirani časovni nizi, bolje odražajo podnebno spremenljivost in vodijo h kakovostnejšim analizam podnebnih sprememb. S homogenizacijo običajno odpravimo večje skoke oziroma prelome. Vse vrednosti določenega obdobja popravimo za enako vrednost glede na mesec, letni čas ali za celotno leto. Odpravljanje časovno odvisnih nehomogenosti (trendov), ki so pogosto posledica postopne spremembe okolice merilnega mesta, je težavnejše.



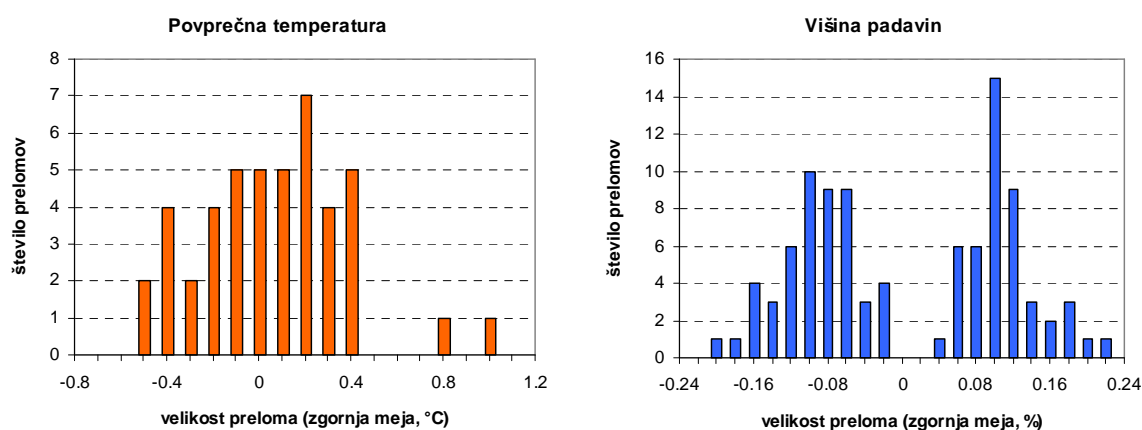
Slika 6: Primer homogenizacije niza letnega povprečja dnevne najvišje temperature zraka (Dobliče pri Črnomlju, 1956–2011)

Z razvojem metod homogenizacije se je močno povečalo njihovo število in pestrost, a vedenje o njihovi učinkovitosti je bilo sprva precej pomanjkljivo. Šele v zadnjih letih so primerjalne analize razkrile uspešnost metod na časovnih nizih z lastnostmi izmerjenih podatkov (Venema in sod., 2012; Williams in sod., 2012). Na podlagi rezultatov evropskega projekta COST HOME so bile podane smernice in izdelano programsko orodje za homogenizacijo mesečnih podatkov.

Programsko orodje HOMER združuje lastnosti nekaterih najboljših metod homogenizacije podnebnih nizov ter avtomatski in ročni pristop k homogenizaciji (Mestre in sod., 2013). Z ročnim pregledom statističnih rezultatov se strokovnjak na podlagi metapodatkov odloči za sprejetje ali zavrnitev predlaganih popravkov. V projektu PSS smo

HOMER uporabili pri homogenizaciji temperature zraka, višine padavin, povprečne višine skupne snežne odeje, vsote dnevni višin novega snega in trajanja sončnega obsevanja, preračunanega na matematično obzorje. Pri povprečni temperaturi zraka smo poleg slovenskih homogenizirali tudi časovne nize 11 obmejnih postaj iz Hrvaške in Avstrije in pri višini padavin nize 22 obmejnih postaj iz Hrvaške, Avstrije in Italije.

Učinek homogenizacije časovnih nizov lahko ovrednotimo na več načinov. Eden od teh je statistika odkritih prelomov (Reeves in sod., 2007; Domonkos, 2013). Zaradi različnih lastnosti meteoroloških spremenljivk in kakovosti meritev je bila pogostost odkritih skokov precej odvisna od spremenljivke. Pri temperaturi smo povprečno odkrili en prelom na časovni niz, pri višini padavin en prelom na dva niza, pri višini snega en prelom na pet nizov in pri trajanju sončnega obsevanja dva do tri prelome na štiri nize. Pri povprečni temperaturi je bila velika večina prelomov na letni ravni manjša od 0,5 °C in pri višini padavin okoli 10 % povprečne letne vrednosti (slika 7).



Slika 7: Porazdelitev izračunane velikosti prelomov enega od strokovnjakov na letni ravni za povprečno temperaturo (levo) in višino padavin (desno). Upoštevano je obdobje 1961–2011 in slovenske postaje.

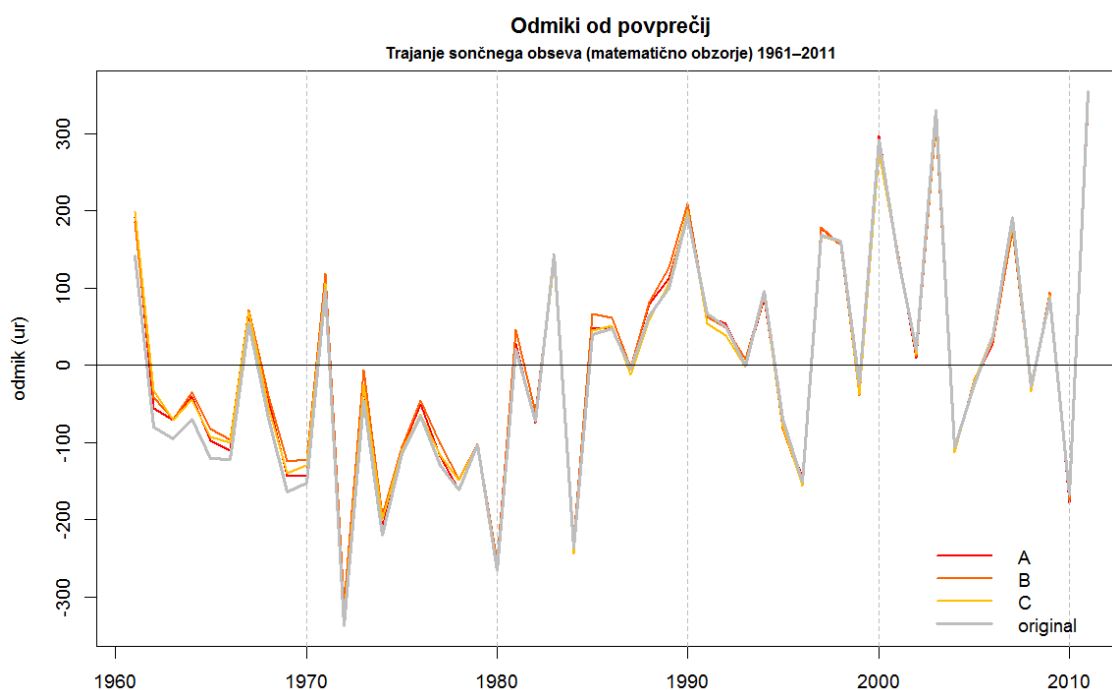
Doslej smo podrobneje analizirali le homogenizirane časovne nize temperature zraka (Vertačnik in sod., 2013). Ugotovili smo dvig povprečne temperature zraka v Sloveniji v obdobju 1961–2011, ki po linearni regresiji znaša okoli 1,7 °C. Na podobno stopnjo ogrevanja kažejo tudi homogenizirani podatki o dnevni najvišji in najnižji temperaturi zraka. Razen jeseni je bilo ogrevanje izrazito v vseh letnih časih in v splošnem močnejše na vzhodu države. Izrazitih sprememb v spremenljivosti mesečnih vrednosti iz leta v leto nismo opazili.

Homogenizirani časovni nizi višine padavin in snežne odeje večinoma ne kažejo enotnih in statistično značilnih trendov. Na državni ravni se je letna višina padavin v obravnavnem obdobju zmanjševala za okoli 30 mm oziroma 2 % na desetletje. Polovico tega upada lahko pripišemo pomladi (marec–maj). Zaradi velike medletne spremenljivosti je trend na letni ravni in spomladi le v manjšem delu Slovenije statistično značilen pri stopnji značilnosti 5 %. V ostalih letnih časih je izračunan trend skoraj brez izjeme statistično neznačilen in prostorsko neenoten, s pozitivnimi in negativnimi vrednostmi. Povprečna višina snežne odeje je v obdobju 1961–2011 upadala s trendom okoli 15 % na desetletje. Velikost trenda je precej različna med posameznimi postajami in le pri polovici postaj je trend statistično značilen pri stopnji zaupanja 5 %. Vsota novega snega je imela v obravnavnem obdobju prav tako negativen, a manjši trend (okoli 10 % na desetletje). Trajanje sončnega obsevanja v obravnavnem obdobju kaže statistično značilen trend

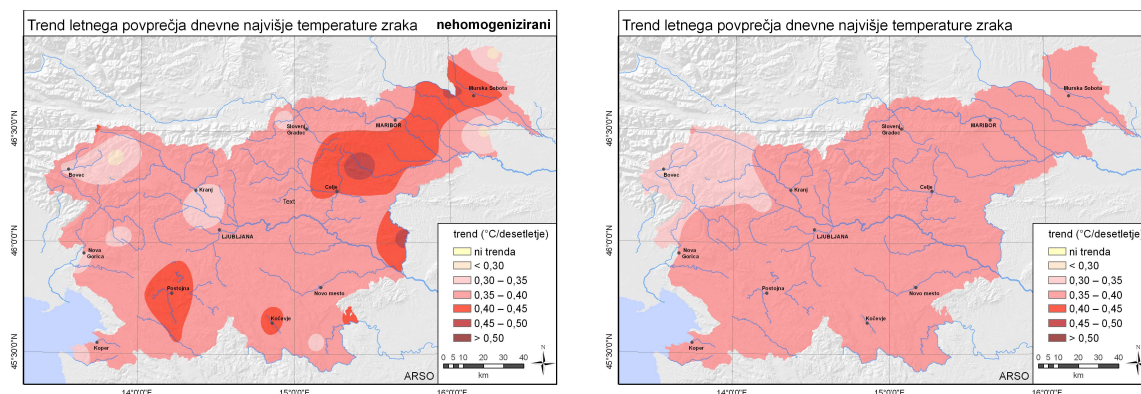


naraščanja približno 40 ur oziroma 2 % na desetletje. K temu so najbolj pripomogla pomladi in poletja. Prostorski vzorec trenda sončnega obsevanja je na letni in sezonski ravni dokaj enoten.

Zanesljivost homogeniziranih nizov smo preverili s primerjavo rezultatov različnih strokovnjakov in dopoljenih (interpoliranih) vhodnih oziroma originalnih nizov. Nize povprečne temperature je homogeniziralo šest strokovnjakov, trije na večjem in trije na manjšem naboru postaj. Hkrati so bile nekoliko različne tudi programske nastavitve v HOMER-ju, predznanje in izkušnost strokovnjakov s homogenizacijo. Nize najvišje in najnižje temperature zraka so homogenizirali trije strokovnjaki. Podrobnosti skupinske homogenizacije temperaturnih nizov so navedene v Vertačnik in sod. (2013). Podobno smo postopali pri homogenizaciji ostalih spremenljivk, kjer so sodelovali trije strokovnjaki. Homogenizirani nizi se med strokovnjaki večinoma dobro ujemajo, popravki glede na originalne vrednosti bolj ali manj kažejo v isto smer (slika 8). Dodaten dokaz k zanesljivosti homogeniziranih nizov je, razen pri sončnem obsevanju, dobro ujemanje v velikosti trenda na državni ravni med homogeniziranimi in dopoljenimi originalnimi nizi. Najbolj očiten rezultat homogenizacije je tako prostorsko usklajena slika podnebnih sprememb, saj smo uspeli iz posameznih nizov odstraniti največje neželene umetne vplive (slika 9). Najbolj pomemben rezultat celotnega postopka od ponovne kontrole podatkov do homogenizacije pa je zanesljivost izračunanih trendov. Brez da bi se spraševali, kolikšen del trenda je posledica umetnih vplivov in kolikšen del je v resnici posledica podnebne spremenljivosti, sedaj lahko zanesljivo trdimo, da se podnebje v Sloveniji ogreva.



Slika 8: Časovni potek odklona letnega trajanja sončnega obsevanja v Sloveniji v obdobju 1961–2011 glede na povprečje omenjenega obdobja. Prikazani so rezultati homogenizacije treh strokovnjakov (A, B, C) in originalne dopolnjene vrednosti

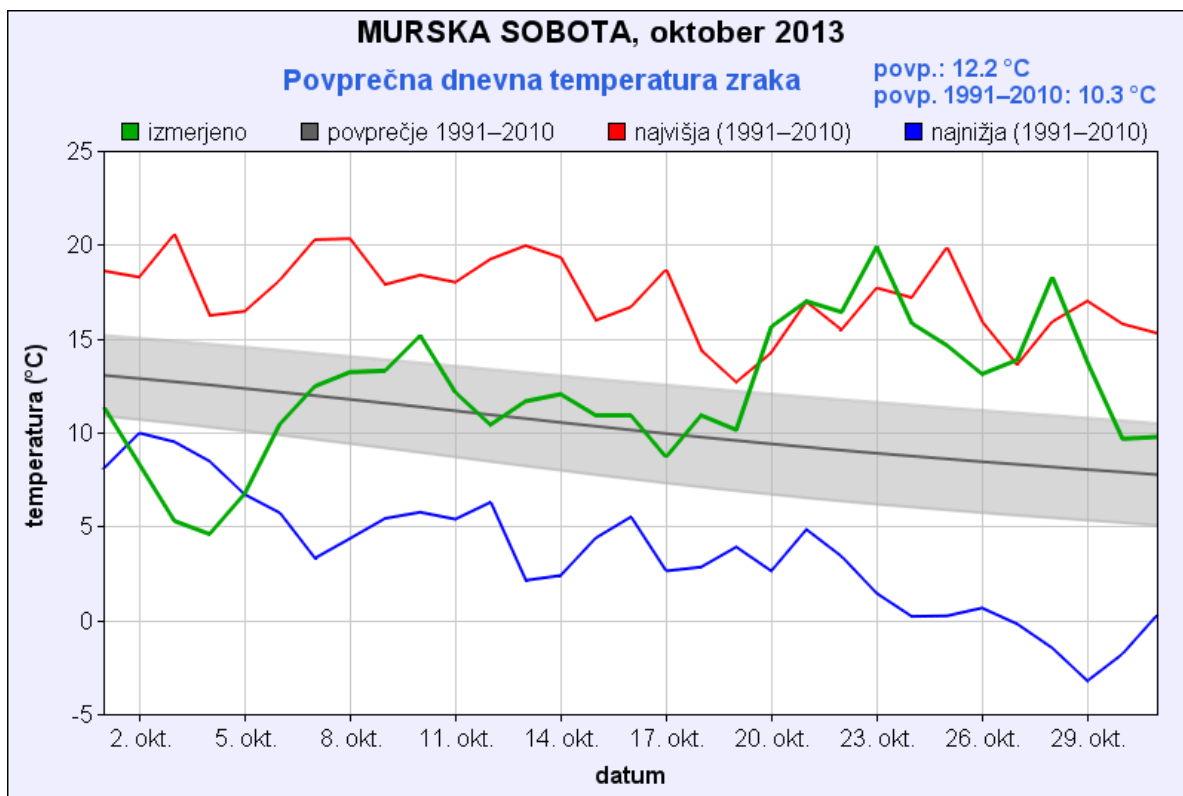


Slika 9: Karta trenda dnevne najvišje temperature temperature ( $^{\circ}\text{C}/\text{desetletje}$ ) za originalne dopolnjene podatke (levo) in homogenizirane podatke, povprečje rezultatov treh strokovnjakov (desno)

### Klimatološki produkti

Običajno sami časovni nizi podnebnih podatkov niso neposredno koristni končnemu uporabniku ampak ta potrebuje izluščeno informacijo. Najbolj grobo lahko podnebne produkte razdelimo v dve skupini: splošne informacije in posebni produkti za posamezne uporabnike.

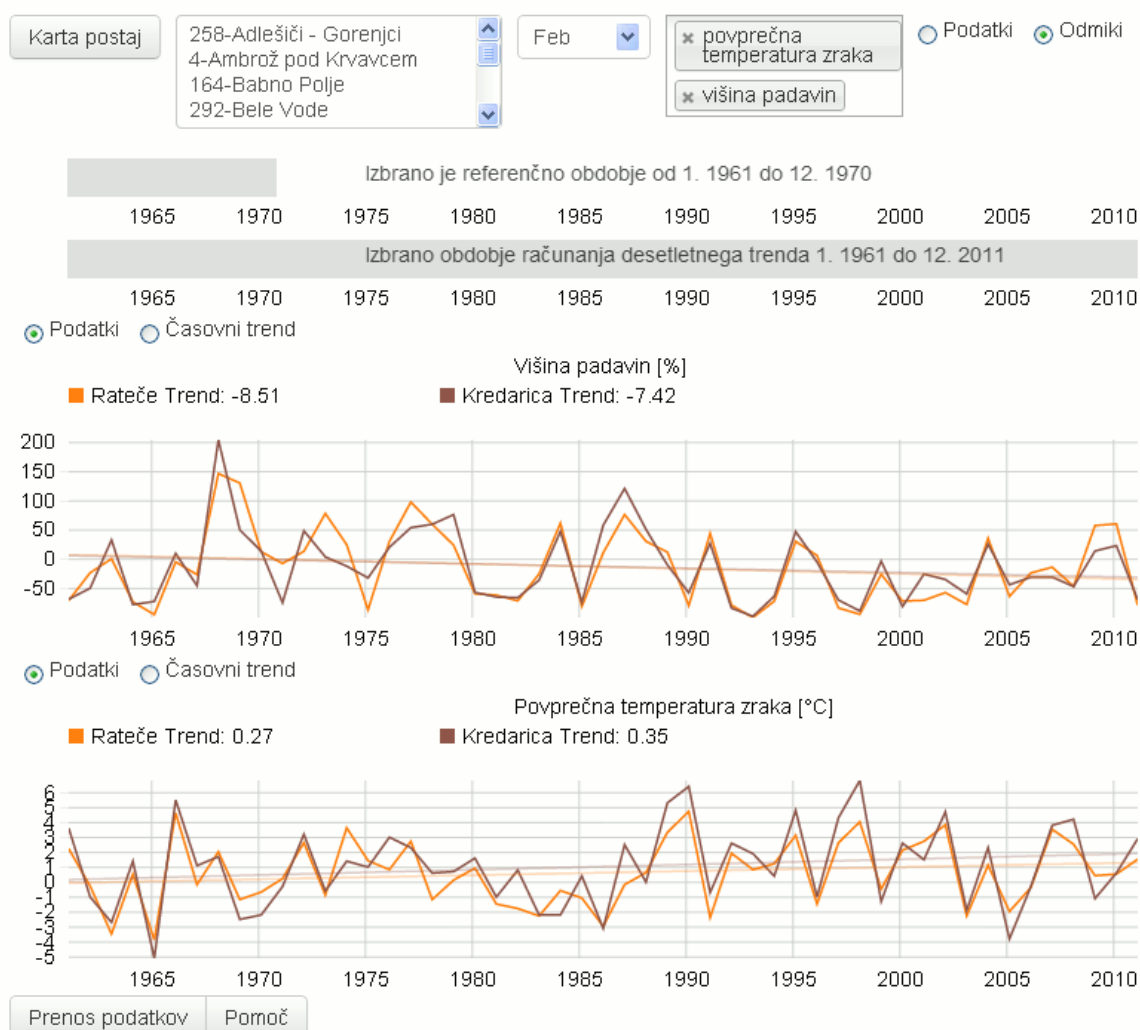
Splošne informacije so tiste, ki zanimajo vso javnost. Z njimi predstavljamo značilnosti slovenskega podnebja, značilnosti posameznih podnebnih spremenljivk in njihovo časovno ter prostorsko spremenljivost. Te informacije podajamo s tabelaričnimi pregledi, na grafikonih in na tematskih kartah. V preteklosti smo te informacije posredovali javnosti v tiskani obliki, v klimatografijah posameznih spremenljivk in v letopisih. Z razmahom uporabe spleta pa skušamo čim več podnebnih informacij posredovati javnosti preko tega medija. Preko spleta lahko javnosti posredujemo bistveno več produktov, hkrati pa nam ta medij omogoča, da informacije hitreje posodabljam. Tako zainteresirani uporabniki lahko sprti spremljajo, kaj se dogaja z našim podnebjem. Primer takšnega prikaza je na sliki 9, kjer uporabnik lahko primerja gibanje temperature zraka v določenem mesecu v primerjavi z dolgoletnim povprečjem.



Slika 10: Grafični prikaz gibanja dnevne povprečne temperature oktobra 2013 v Murski Soboti (zelena krivulja) v primerjavi s povprečjem referenčnega obdobja 1991–2010 (siva krivulja, sivo senčeno je območje med 25. in 75. percentilom). Prikazani sta tudi najvišja (rdeča krivulja) in najnižja (modra krivulja) dnevna temperatura v referenčnem obdobju za izbran dan v mesecu. (<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/current/>)

Splet uporabniku daje tudi več možnosti, da sam izbere, katere informacije želi pregledovati. V okviru projekta Podnebna spremenljivost Slovenije smo razvili spletno aplikacijo, ki uporabnikom omogoča pregled, primerjavo in izpis homogeniziranih časovnih nizov, pri tem pa lahko sami izberejo postajo, podnebno spremenljivko, obdobje prikaza in primerjalno obdobje (slika 11). Ta spletna aplikacija že delno meji na drugo skupino, specializirane klimatološke produkte.

## Pregled klimatoloških nizov

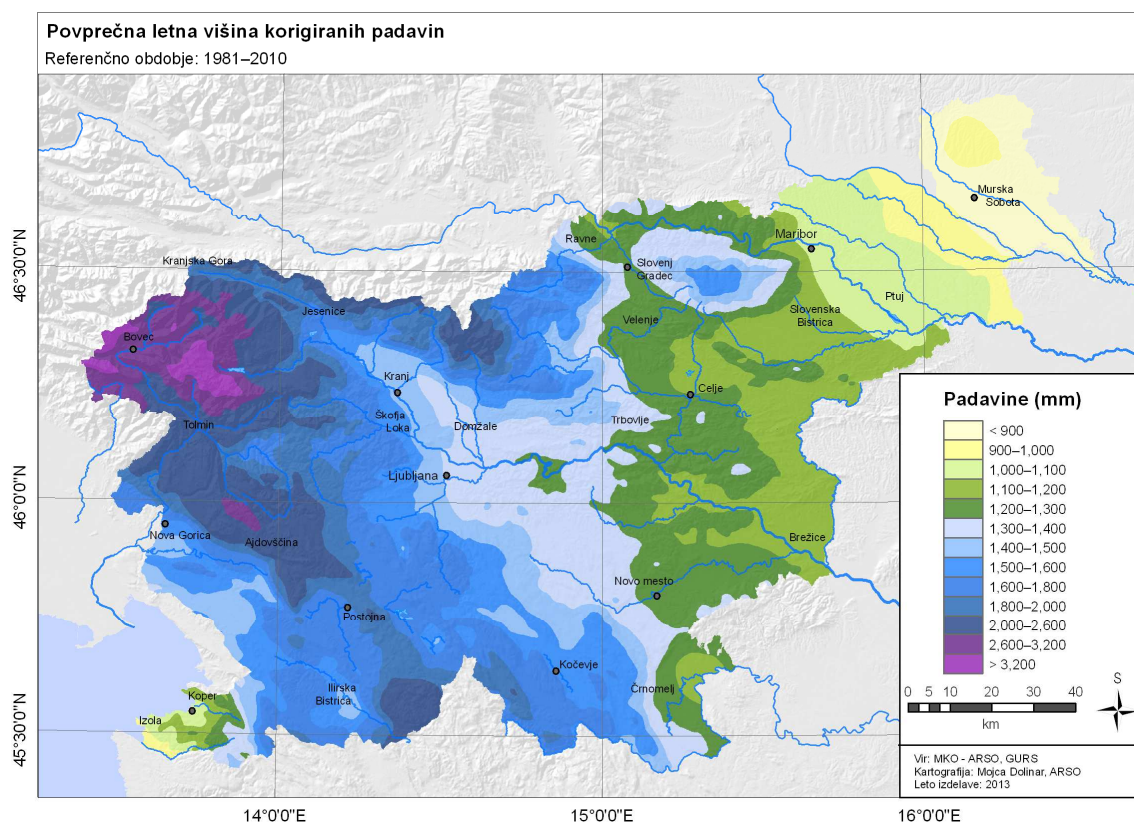


Slika 11: Primer prikaza homogeniziranih časovnih nizov na spletnem portalu meteo.si (<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/diagrams/time-series/>)

Zelo obsežni skupini uporabnikov splošne podnebne informacije niso dovolj. Želijo imeti bolj podrobne, predvsem pa njihovim zahtevam prirejene in ustrezno oblikovane informacije. Pri pripravi teh informacij moramo zato upoštevati specifične zahteve uporabnika. Dejstvo je, da z ustrezno uporabljeno podnebno informacijo lahko prihranimo mnogo sredstev, se obvarujemo pred gmotno škodo ali celo preprečimo človeške žrtve. Tega potenciala podnebnih informacij se zaveda vse več uporabnikov. Medtem ko so bili v preteklosti glavni uporabniki klimatoloških produktov agronomi (načrtovanje setve in žetve ...) in gradbeniki (dimenzioniranje konstrukcij, drenažnih sistemov ...), se jim danes pridružujejo tudi ostale gospodarske in druge panoge (energetika, turizem, ekologija, zdravstvo, znanost ...).

Zahteve uporabnikov so tudi zaradi razvoja zmogljive računalniške opreme, ki omogoča procesiranje velike količine podatkov, v zadnjih 15 letih močno narasle. Kakovostni homogenizirani nizi podnebnih spremenljivk v točkah meritev ne zadostujejo več. Uporabniki želijo imeti informacijo tudi za območja brez meritev ali zvezno za celotno območje Slovenije v čim boljši časovni skali. Seveda je tudi tu zaželen časovna homogenost, v primeru, da gre za območje cele Slovenije, pa tudi prostorska homogenost

podatkov. S pomočjo rezultatov projekta PSS smo zato pripravili bazo mesečnih povprečij dnevne, dnevne najvišje in dnevne najnižje temperature ter mesečne vsote padavin v pravilni mreži z ločljivostjo 1 km za obdobje od leta 1961 pa do danes. Časovno in prostorsko homogenost smo zagotovili z uporabo enotne metode prostorske interpolacije in enakega nabora homogeniziranih točkovnih nizov skozi celotno obdobje. Za zagotovitev dobre prostorske ločljivosti pa smo za prvi približek interpolacije uporabili vse meritve, tudi tiste, ki niso bile homogenizirane. Na enak način bomo pripravili bazo mesečnih vrednosti tudi za ostale spremenljivke: vsoto potencialne evapotranspiracije, skupno višino novozapadlega snega, trajanje snežne odeje in trajanje sončnega obsevanja. Na osnovi mesečnih vrednosti pa pripravljamo tudi izvedene dolgoletne vrednosti spremenljivk (desetletna ali tridesetletna povprečja in odstopanja od dolgoletnega povprečja) v pravilni mreži ter tematske podnebne karte (slika 12).



Slika 12: Podnebna tematska karta, ki prikazuje tridesetletno povprečje korigiranih padavin v obdobju 1981-2010. Karta je izračunana iz mesečnih vsot padavin v pravilni mreži 1 km.

## Zaključki

Potencial klimatoloških produktov je izjemno velik in z vedno večjim zavedanjem pretečih podnebnih sprememb raste tudi zavedanje uporabnikov o vrednostnem potencialu ustrezno uporabljenih podnebnih informacij. Tu gre predvsem za prilagajanje dejavnosti posameznih sektorjev lokalnim podnebnim pogojem, ki pa je mnogokrat povezano z večjimi stroški in drugimi vlaganji. Zato je še kako pomembno, da je podnebna informacija točna, predvsem pa zanesljiva. Kot smo pokazali v članku, je pot od meritve do zanesljive informacije o podnebnju zelo dolga. Terja veliko znanja, časa pa tudi vztrajnosti. Na ARSO

smo s projektom Podnebna spremenljivost Slovenije naredili velik korak k večji kakovosti podnebnih informacij. Ne le, da smo na podlagi kakovostnih homogeniziranih nizov posameznih spremenljivk ocenili njihovo spremenljivost in trende, temveč smo hkrati ugotovili, da je signal ogrevanja precej večji od ostalih umetnih vplivov na meritve. Torej lahko z gotovostjo trdimo, da se tudi v Sloveniji podnebje ogreva in posledično spreminja. To pa seveda nosi posledice za vse gospodarske sektorje, ki se bodo spremenjenim podnebnim razmeram morali prilagajati. Za prilagajanje uporabniki potrebujejo nov klimatološki produkt – scenarije prihodnjega podnebja. Priprava teh je samo naslednji korak v zgoraj opisanem nizu procesov. Za zanesljive scenarije lokalnega podnebja namreč potrebujemo zelo dobro poznavanje vseh značilnosti podnebja, ki pa jih lahko ocenimo le s kvalitetskimi nizi homogeniziranih podatkov.

## Literatura

- Domonkos, P. (2013). Measuring performances of homogenization methods, *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 117, 91–112.
- Drnovšek, M. (2003). Fran Vilijem Lipič: Topografija c.-kr. deželnega glavnega mesta Ljubljane z vidika naravoslovja in medicine, zdravstvene ureditve in biostatike (ur. Zvonka Zupanič Slavec). Ljubljana: Znanstveno društvo za zgodovino zdravstvene kulture Slovenije, 2003, 630 p.
- IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the IPCC Fifth Assessment Report*.
- Kajfež-Bogataj, L. (2004). »Živeti s klimatskimi spremembami« in T. Cegnar, Eds., *Pol stoletja Slovenskega meteorološkega društva, Slovensko meteorološko društvo, Ljubljana*, 150–154.
- Kajfež-Bogataj, L., Pogačar, T., Ceglar, A., Črepinšek, Z. (2010). Spremembe agro-klimatskih spremenljivk v Sloveniji v zadnjih desetletjih, *Acta agriculturae Slovenica*, 95 - 1, 97–109
- Mestre, O., Domonkos, P., Picard, F., Auer, I., Robin, S., Lebarbier, E., Böhm, R., Aguilar, E., Guijarro, J., Vertachnik, G., Klancar, M., Dubuisson, B., Stepanek, P. (2013). HOMER : a homogenization software – methods and applications, *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 117, 47-67.
- Reeves, J., Chen, J., Wang, X.L., Lund, R., Lu, Q. (2007). A review and comparison of changepoint detection techniques for climate data, *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 46: 900–915
- Venema, V. K.C., Mestre, O., Aguilar, E., Auer, I., Guijarro, J. A., Domonkos, P., Vertacnik, G., Szentimrey, T., Stepanek, P., Zahradnick, P., Viarre, J., Müller-Westermeier, G., Lakatos, M., Williams, C. N., Menne, M. J., Lindau, R., Rasol, D., Rustemeier, E., Kolokythas, K., Marinova, T., Andresen, L., Acquotta, F., Fratianni, S., Cheval, S., Klancar, M., Brunetti, M., Gruber, C., Prohom Duran, M., Likso, T., Esteban, P., Brandsma, T. (2012). Benchmarking homogenization algorithms for monthly data, *Climate of the Past* 8, 89-115.
- Vertačnik, G., Dolinar, M., Bertalaníč, R., Klančar, M., Dvoršek, D., Nadbath, M. (2013). Podnebna spremenljivost Slovenije : glavne značilnosti gibanja temperature zraka v obdobju 1961–2011. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 23 p.
- Williams, C. N., Menne, M. J., Thorne, P. W. (2012). Benchmarking the performance of pairwise homogenization of surface temperatures in the United States, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117, D5.
- WMO (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, WMO-No. 8, Geneva, 716 p.
- Zupančič, B. (2004). »Razvoj meteorološke mreže na Slovenskem« in T. Cegnar, Eds., *Pol stoletja Slovenskega meteorološkega društva, Slovensko meteorološko društvo, Ljubljana*, 55–62.