



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA KMETIJSTVO IN OKOLJE
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

Podnebna spremenljivost Slovenije

Glavne značilnosti gibanja temperature zraka v obdobju 1961–2011



Kazalo

UVOD

PODATKI

Meritve	4
Metapodatki	4
Kontrola meritev	4
Priprava mesečnih nizov	5

HOMOGENIZACIJA

Metoda	6
Programsko orodje HOMER	7
Negotovosti pri homogenizaciji	9
Statistika prelomov v nizih	11
Časovni potek homogeniziranih nizov	12

REZULTATI

Časovni trend	14
Prostorska slika ogrevanja	15
Dnevni hod	17
Ocena negotovosti rezultatov	17

DODATEK

Časovni trak letne povprečne temperature	20
Odstopanje temperature v izjemnih mesecih	21
Desetletna povprečna temperatura zraka	22
Trend povprečne temperature zraka	23

Podnebna spremenljivost Slovenije

Glavne značilnosti gibanja temperature zraka v obdobju 1961–2011



Fotografija na naslovnici:

Meteorološka postaja Ljubljana
Foto: Gregor VERTAČNIK

Izdajatelj:

Ministrstvo za kmetijstvo in okolje
Agencija RS za okolje,
Vojkova cesta 1b, Ljubljana
<http://www.arso.si>

Urednica:

Mojca DOLINAR

Avtorji:

Gregor VERTAČNIK, Mojca DOLINAR,
Renato BERTALANIČ, Matija KLANČAR,
Damjan DVORŠEK, Mateja NADBATH

Kartografija:

Mojca DOLINAR,
Mateja NADBATH

Lektoriranje:

Milena FABIANI

Naklada:

1600 izvodov

Ljubljana, september 2013

Uvod

Podnebne spremembe so v zadnjih letih tako v strokovni kot laični javnosti postale pomembna tema. Raziskave podnebnih sprememb na območju Slovenije so bile doslej bodisi omejene na skromno zbirko časovnih nizov bodisi nizi meritev niso bili sistematično homogenizirani. Do nedavnega torej še nismo izkoristili bogatega arhiva meritev državne meteorološke mreže. Na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) smo zato konec leta 2008 pričeli s projektom Podnebna spremenljivost Slovenije. Na podlagi kontroliranih in homogeniziranih nizov podnebnih spremenljivk smo in bomo podrobneje analizirali podnebne spremembe

pri nas od leta 1961 dalje. S pomočjo daljših nizov, ki segajo do sredine 19. stoletja, pa bomo skušali pridobiti dodatne informacije o podnebni spremenljivosti Slovenije v preteklosti. Po dolgotrajni kontroli meteoroloških podatkov smo ob koncu leta 2012 homogenizirali temperaturne nize. Ti kažejo, da se je v Sloveniji v obdobju 1961–2011 ozračje pri tleh ogrelo za okoli 1,5 °C. Ogrevanje je bilo izrazito v vseh letnih časih, razen jeseni. Temperaturni dvig se kaže v značilnem prostorskem vzorcu, ponekod se je spremenil tudi dnevni temperaturni hod.



Slika 1. Tipična podnebna postaja z angleško meteorološko hišico (Hlebce pri Lescah)

Podatki

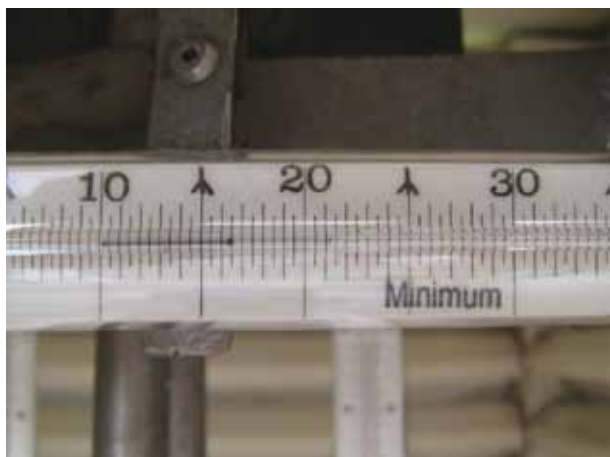
Meritve

Izhodišče za analizo temperature zraka so podatki izmerjeni v angleški meteorološki hišici na klasičnih opazovalnih postajah (slika 1) v Sloveniji in z obmejnih delov Hrvaške in Avstrije. Na teh postajah opazovalci vsakodnevno odčitavajo temperaturo zraka, večinoma na treh različnih termometrih (slika 2). Navadni živosrebrni termometer služi meritvam trenutne temperature zraka, živosrebrni maksimalni in alkoholni minimalni termometer pa beležita ekstremni vrednosti temperature v 24-urnem obdobju.

Izbrali smo postaje, ki imajo daljši niz meritev temperature zraka, vsaj 15 let podatkov. Kasneje smo s postopki kontrole podatkov postaje dodajali in izločali glede na kakovost merjenih podatkov. Končni izbor vsebuje 49 postaj.

Metapodatki

Drugo izhodišče je bila priprava metapodatkov za izbrane meteorološke postaje. Pripravili smo čim podrobnejši nabor metapodatkov za posamezno meteorološko postajo iz vseh poznanih virov. Zbrali smo podatke, ki podrobno predstavljajo: lokacijo postaje, ime opazovalca in njegovo obdobje dela na postaji, instrumente in datume njihovih menjav ali umerjanj, način merjenj in opazovanj, datume sprememb vsega naštetega ... Dodatno smo zbrali slikovno gradivo – karte, skice, načrte, opise ipd. (sliki 4 in 6). Večina tovrstnih podatkov – metapodatkov – je bila



Slika 2. Del minimalnega termometra

v papirnem arhivu, zato smo jih digitalizirali. Zbiranje metapodatkov še ni zaključeno, saj jih je potrebno dopolnjevati z novimi, sprotnimi spremembami ali z novo odkritimi starimi dejstvi.

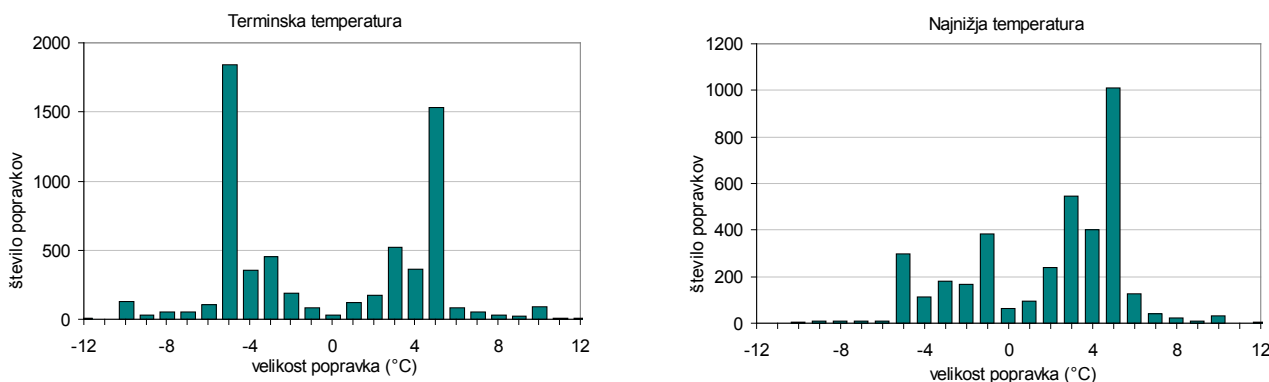
Z metapodatki si, med drugim, pomagamo pri ovrednotenju izmerjenega podatka pri kontroli podatkov, oceni vpliva različnih dejavnikov na merjeno spremenljivko v procesu homogenizacije in oceni reprezentativnosti meteorološke postaje.

Kontrola meritev

Pripravo podatkov za homogenizacijo smo pričeli s prostorsko in medsebojno kontrolo temperaturnih spremenljivk na omenjeni vrsti meteoroloških postaj. Preverili smo termenske izmerke ob 7., 14. in 21. uri po srednjem sončnem času ter najvišjo in najnižjo temperaturo zraka v 24-urnem obdobju do večernega termina. Sestavili smo seznam vseh primerov, kjer so vrednosti različnih temperaturnih spremenljivk na isti postaji neskladne. V postopku medsebojne primerjave takšnih vrednosti¹, smo zaznali in posledično preverili skupno 8141 primerov večje neskladnosti. Od tega smo zaradi ugotovljene nepravilnosti 1709 vrednosti popravili in 155 izbrisali iz podatkovne baze.

S pomočjo računalniškega programa za kontrolo podatkov smo pripravili seznam najbolj sumljivih, izstopajočih podatkov – vsega skupaj prek 42.000. Kontrolorji so nato na podlagi dnevniških zapisov, grafičnega pregleda podatkov in prostorske primerjave ocenili verodostojnost podatkov in se odločil za morebitni popravek. Največ napak smo odkrili pri najnižji temperaturi zraka in najmanj pri izmerkah ob 14. uri. V povprečju smo za posamezno spremenljivko in posamezni postaji popravili manj kot en izmerek na leto dni meritev. Skupno smo popravili 2091 vrednosti temperature zraka ob 7. uri, 1938 vrednosti temperature zraka ob 14. uri, 2417 vrednosti temperature zraka ob 21. uri, 3064 vrednosti najnižje dnevne temperature zraka in 3981 vrednosti najvišje dnevne temperature zraka. Poleg tega smo 413 vrednosti, od 35 do 197 po posamezni spremenljivki, izbrisali iz podatkovne baze. Velikost popravka je bila zelo različna od primera do primera, najmanj je bilo

¹ Vrednosti, ki so neskladne po definiciji, na primer najvišja temperatura, ki je manjša od najnižje temperature.



Slika 3. Histogram velikosti temperaturnih popravkov za terminsko temperaturo (levo) in najnižjo temperaturo (desno)

malih popravkov (1 °C ali manj) in zelo velikih (okoli 10 °C in več) (slika 3). Na podlagi dokaj redke mreže temperaturnih postaj in velike podnebne pestrosti Slovenije je težko zaznati napake velikostnega reda ene ali dveh stopinj Celzija. Zaradi tega dejstva in skale na klasičnih tekočinskih termometrih, kjer so razdelki na 0,2 °C ali 0,5 °C in 1 °C ter 5 °C, je bila najpogosteje odkrita napaka za 5 °C, kar je posledica zamenjave sosednjih večjih razdelkov ob odčitavanju. Porazdelitev napak je bila precej simetrična, s približno enakim številom in velikostjo popravkov v negativni in pozitivni smeri. Tudi časovno so bili popravki dokaj enakomerno razporejeni. Opisana kontrola tako na nobeni postaji ni znatno spremenila temperaturnega gibanja na mesečni in letni ravni, temveč zgolj nekatere dnevne vrednosti.

Za analizo smo sprva izbrali 88 postaj, večinoma z daljšim nizom meritev, in preverili kakovost izmerkov od leta 1961. Nekatere od teh smo zaradi slabe kakovosti izmerjenih podatkov kmalu izločili iz nadaljnje analize. Podatke nekaterih sosednjih postaj smo zaradi zelo podobnih podnebnih razmer združili v enoten niz. Na podlagi števila najdenih napak in metapodatkov smo izločili obdobja ali merilne nize s slabo kakovostjo. Kakovost meritev smo preverili še z grafičnim prikazom časovnega poteka povprečnih letnih vrednosti naštetih ali izpeljanih temperaturnih spremenljivk. Nabor postaj z zadovoljivimi podatki za homogenizacijo se je tako precej skrčil. Zaradi verjetno velikega vpliva postopne spremembe okolice smo izločili nize postaj Ljubljana Bežigrad, Velenje, Maribor in Nova vas na Blokah. Umetni signal, ki ga povzroči postopna pozidava okolice, običajno ni linearen in ga je težko odkriti z uveljavljenimi metodami homogenizacije, zato lahko poslabša kakovost rezultatov homogenizacije.

Priprava mesečnih nizov

Na podlagi dnevni vrednosti izbranih temperaturnih spremenljivk smo pripravili časovne nize mesečnih vrednosti – aritmetične sredine dnevni vrednosti povprečne², najvišje in najnižje temperature zraka. Seznamu 49 nizov dnevne povprečne temperature zraka smo dodali 11 nizov postaj hrvaške in avstrijske meteorološke mreže. Nekatere avstrijske nize smo s pomočjo urnih meritev popravili zaradi spremembe opazovalnega časa 1. januarja 1971. Takrat se je večerni termin meritev na avstrijskih meteoroloških postajah z 21. predstavil na 19. uro po sončnem času. S tem smo se izognili manj zanesljivemu ocenjevanju vpliva te spremembe na mesečne vrednosti temperature v postopku homogenizacije. Na podlagi vzporednih meritev smo ustrezno popravili tudi mesečne vrednosti nekaterih zlepljenih nizov.

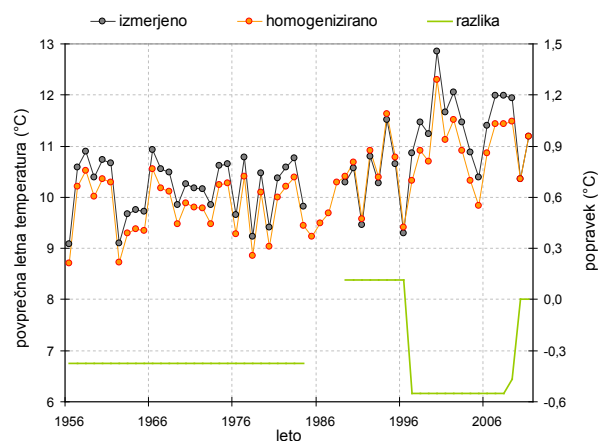
Nabor postaj za najvišjo in najnižjo temperaturo zraka smo dodatno skrčili. Zaradi spremembe časa meritev teh spremenljivk v Avstriji 1. januarja 1971 smo iz postopka homogenizacije izločili tuje postaje in pri najnižji temperaturi še 13 slovenskih postaj, kjer je grafični pregled pokazal izrazito nestalnost na večletni časovni skali v primerjavi s terminskimi izmerki. Grafična primerjava časovnih vrst različnih temperaturnih spremenljivk je potrdila izkušnje, pridobljene pri kontroli podatkov, da so meritve najnižje temperature zraka najmanj zanesljive. To pripisujemo pogostejšem okvaram termometrov, nepravilnemu rokovanju in površnemu odčitavanju vrednosti.

² Dnevno povprečno temperaturo izračunamo kot vsoto četrtnine vrednosti ob 7. uri, četrtnine ob 14. uri in polovice ob 21. uri. To enostavno formulo, ki jo odlikuje tudi precejšnja točnost glede na resnično dnevno temperaturno povprečje, je že ob koncu 18. stoletja uvedel nemški meteorolog Johann Jakob Hemmer. Ponekod po svetu je v veljavi še danes.

Homogenizacija

Metoda

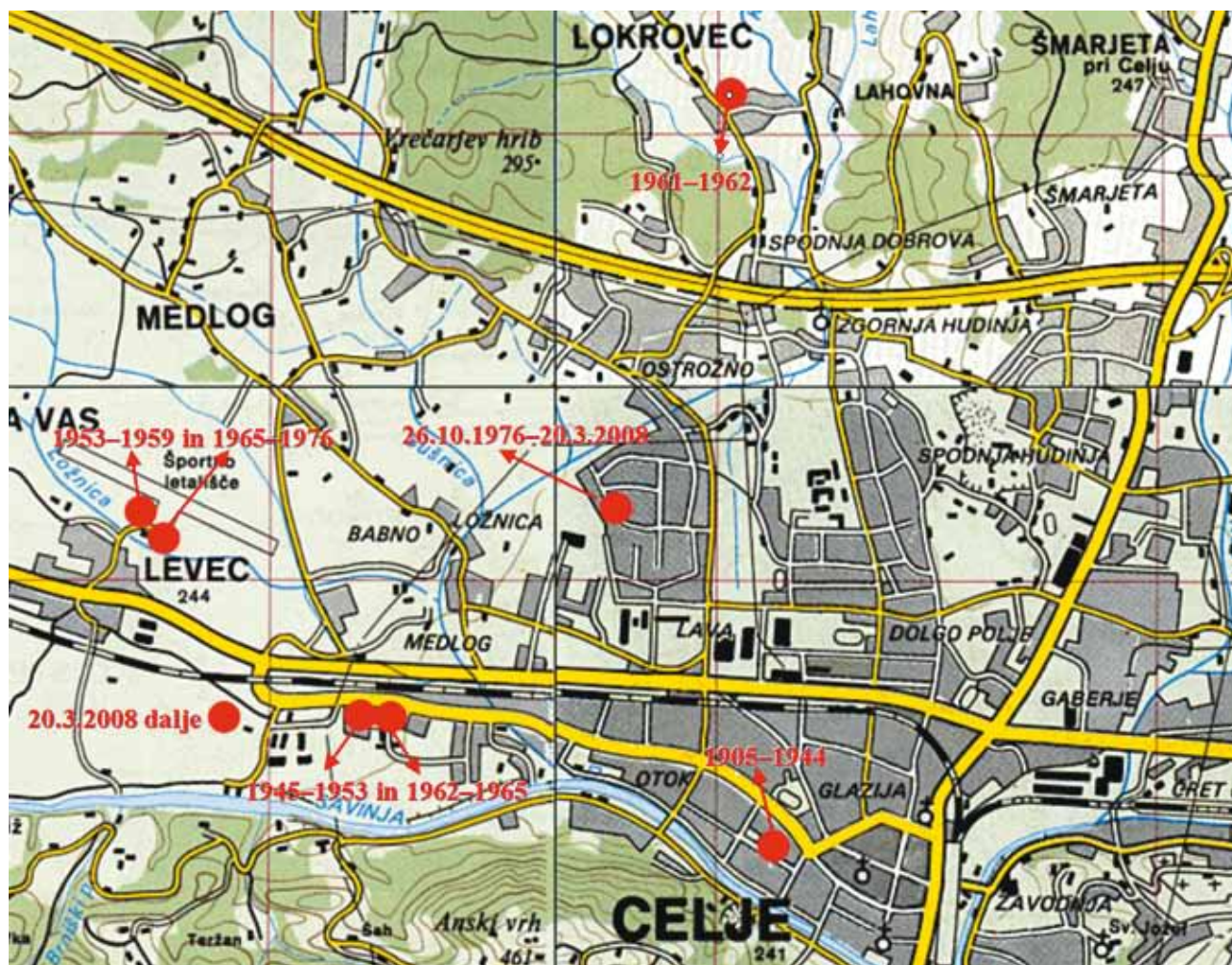
Merilna mreža meteoroloških postaj na ozemlju Slovenije se je od začetka postavitve mreže v drugi polovici 19. stoletja močno spreminjala. Poleg načina merjenja so se spreminjala merilna mesta, mnoge postaje so bile večkrat prestavljene (sliki 4 in 6). Sredi 20. stoletja je prej raznovrstne oblike zaklonov zamenjala angleška meteorološka hišica in višina merilnih inštrumentov se je poenotila. Temperaturo zraka tako v zadnjih desetletjih opazovalci merijo na višini dveh metrov nad tlemi. Glavna vira negotovosti ocene preteklih podnebnih sprememb sta tako v zadnjih desetletjih selitev postaj in sprememba okolice merilnega prostora. Marsikateri merilni niz ne vsebuje le opisa podnebne spremenljivosti na nekem območju, temveč tudi umetni signal sprememb okolice (slika 5). S pomočjo primerjave časovnih nizov je mogoče do neke mere odkriti in ovrednotiti tovrstne umetne skoke in trende. Temu postopku pravimo homogenizacija in je predpogoj za zanesljivo analizo podnebnih sprememb.



Slika 5. Primer homogeniziranega niza meteorološke postaje Dobliče (pri Črnomlju), časovni potek letne povprečne temperature 1956–2011. Vidni so trije skoki, ki so posledica različnih vzrokov.



Slika 4. Merilno mesto na postaji Ljubljana Bežigrad skozi čas (foto: arhiv ARSO)



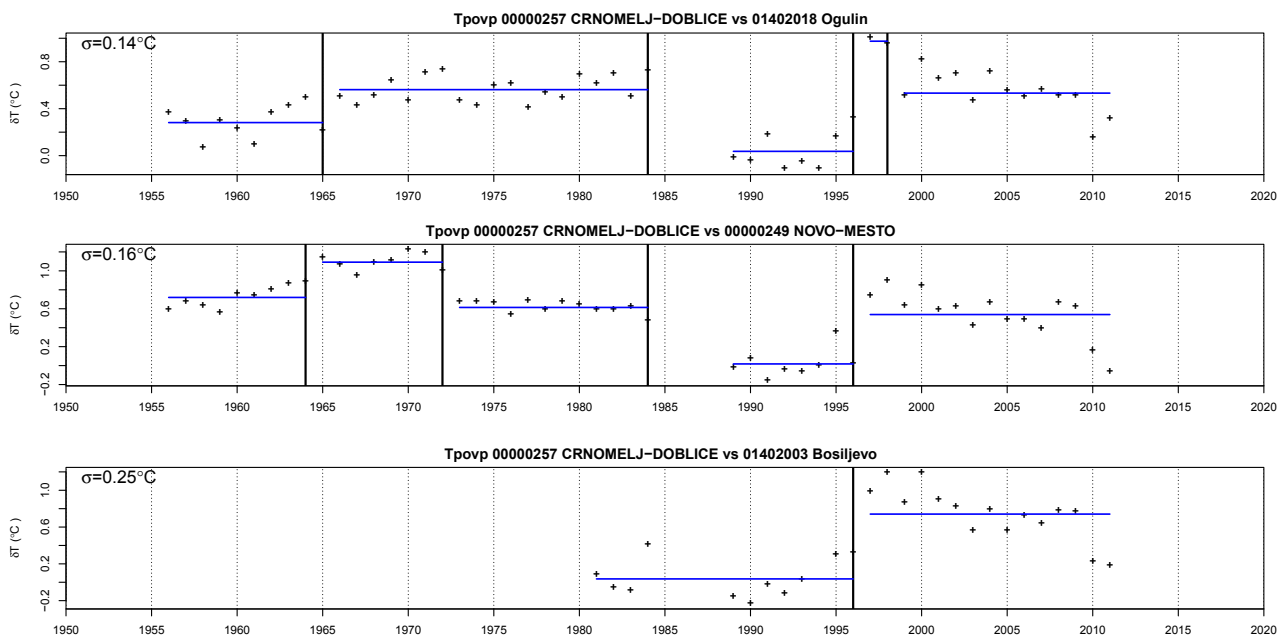
Slika 6. Lokacije meteorološke postaje Celje od leta 1905 dalje (kartografska podlaga: Interaktivni atlas Slovenije, 1998, Založba Mladinska knjiga in Geodetski zavod v sodelovanju z Globalvision)

Programsko orodje HOMER

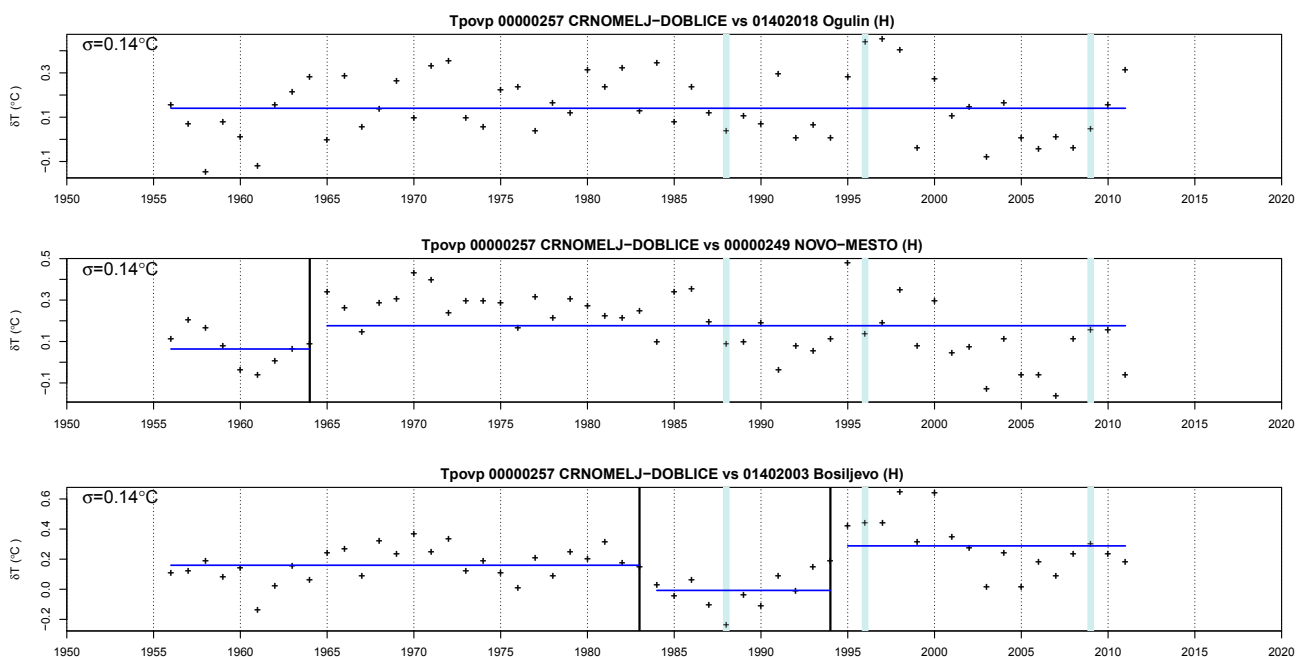
Homogenizacije temperaturnih nizov smo se lotili s programskim orodjem HOMER (Mestre in sod., 2013). V evropskem projektu COST ES0601 smo strokovnjaki s področja matematike, fizike in klimatologije testirali različne homogenizacijske metode. Na podlagi homogenizacije umetno ustvarjenih nizov z znanimi nehomogenostmi in s statističnimi značilnostmi dejanskih izmerkov smo primerjali rezultate in ugotovili pomankljivosti, prednosti in razlike med različnimi pristopi. Izkazalo se je, da najboljše homogenizacijske metode močno izboljšajo kakovost časovnih nizov (Venema in sod., 2012). Izkupiček projekta ni bil le ocenjevanje različnih metod, temveč izdelava uporabniško prijaznega in učinkovitega orodja za homogenizacijo podnebnih nizov. Tako je nastal HOMER, ki združuje dobre lastnosti posameznih testiranih metod. Programsko orodje HOMER teče v programskem

okolju R in ima grafični vmesnik (R Development Core Team, 2012; sliki 7 in 8). Zaželeno je, da homogenizacijo izvaja strokovnjak, ki dobro pozna meteorološke in fizikalne procese, ki vplivajo na homogenizirano spremenljivko, ter hkrati pozna lokalne značilnosti podnebja in vremenskih procesov. Ta strokovnjak najprej zažene kontrolo podatkov, kjer lahko s primerjavo temperaturnih razlik med sosednjimi postajami izloči napačne vrednosti. Nato zažene homogenizacijski sklop programa z različnimi metodami zaznavanja skokov. S pomočjo grafičnih prikazov in metapodatkov se strokovnjak odloči o časovni umestitvi skokov. Program samodejno izračuna velikost popravkov na podlagi lokacije skokov in primerjave povprečnih vrednosti nekaj let pred in nekaj let po skoku. Postopek večkrat ponovimo in tako postopno odpravljamo nehomogenosti v podatkovnem nizu. Končni rezultat tega procesa so seznam nehomogenosti in homogenizirani podatkovni nizi.

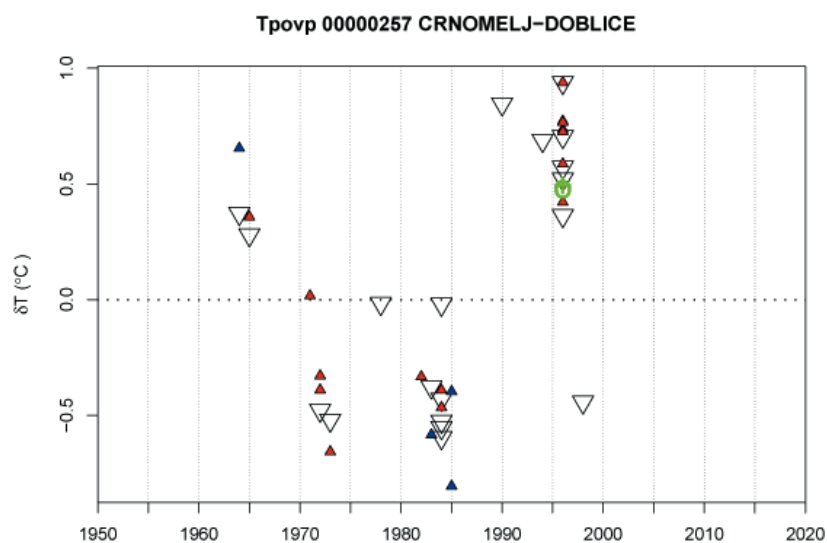
PRED HOMOGENIZACIJO, ORIGINALNI PODATKI



PO HOMOGENIZACIJI IN DOPOLNITVI MANJKAJOČIH PODATKOV

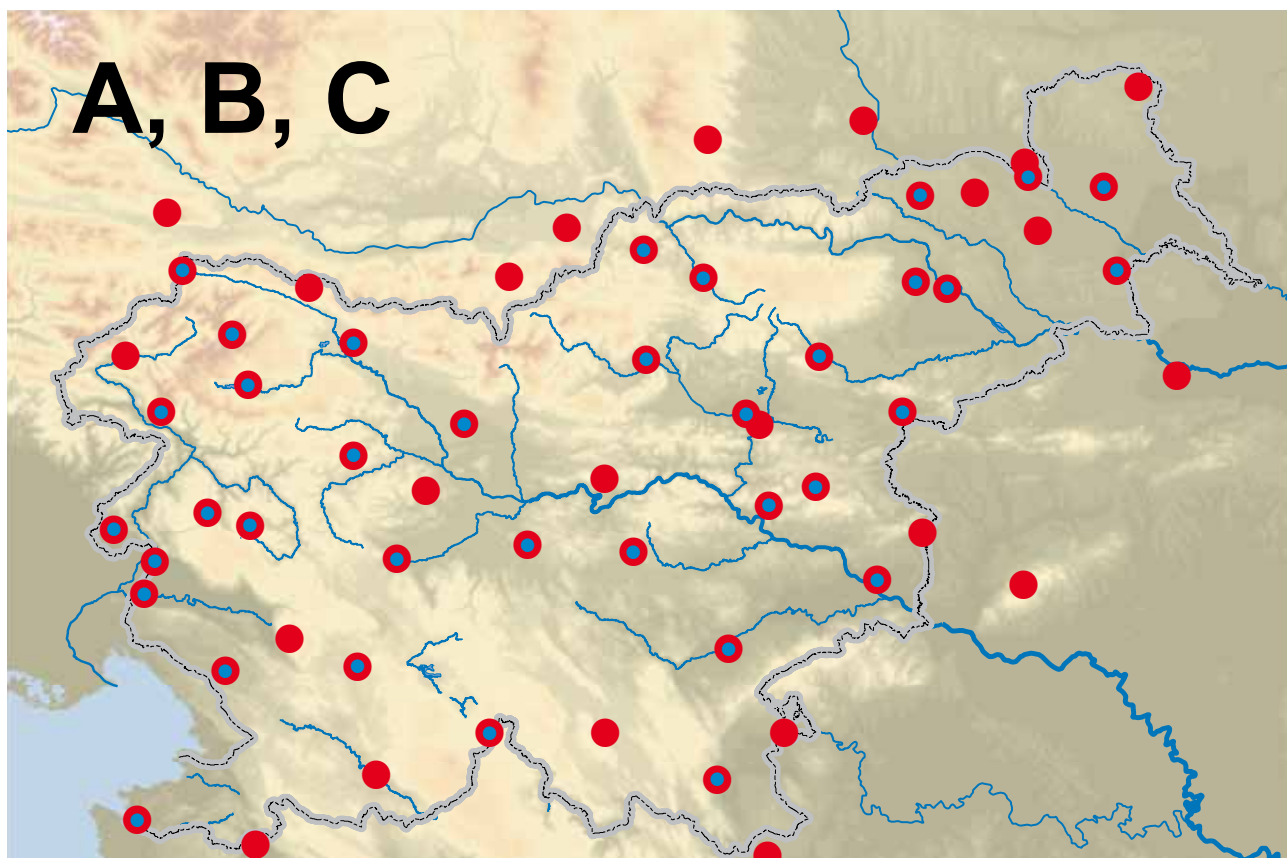


Slika 7. Grafični prikaz homogenosti izbrane časovne vrste v programskem orodju HOMER, metoda »odkrivanja prelomov po parih nizov« (ang. »pairwise detection«). Slika prikazuje razliko temperaturnih nizov testirane (Črnomelj, Dobljče) in referenčne postaje (Ogulin, Novo mesto, Bosiljevo). Vodoravna modra črta prikazuje povprečno vrednost obdobja med dvema prelomoma (navpične črne črte) ali začetkom oziroma koncem niza. Zgornji del slike kaže primerjavo originalnih podatkov (obdobja praznine so manjkajoče vrednosti bodisi na testirani bodisi na referenčni postaji), spodnji del enako po homogenizaciji, z dopolnjenimi manjkajočimi vrednostmi. Odebeljene svetlo modre navpične črte prikazujejo položaj vstavljenih prelomov na testirani postaji. Po homogenizaciji se nizi medsebojno bistveno bolj ujemajo, saj ima razlika nizov enakomernejši potek.



Slika 8. Prikaz prelomov v programskem orodju HOMER, po metodi odkrivanja prelomov po parih (trikotniki) in metodi sočasne delitve nizov na odseke (ang. »joint segmentation method«, zeleni kroglci). Na vodoravni osi je prikazano leto in na navpični izračunana velikost temperaturnega skoka na podlagi primerjave testirane niza z nizi referenčnih postaj. Kjer se v kratkem časovnem obdobju (enega do treh let) in pri podobni velikosti skoka gnetejo omenjeni znaki, je to dokaj zanesljiv znak, da gre dejansko za prelom na testirani postaji. V ostalih primerih gre običajno za statistični šum ali prelom na eni od referenčnih postaj.

Negotovosti pri homogenizaciji

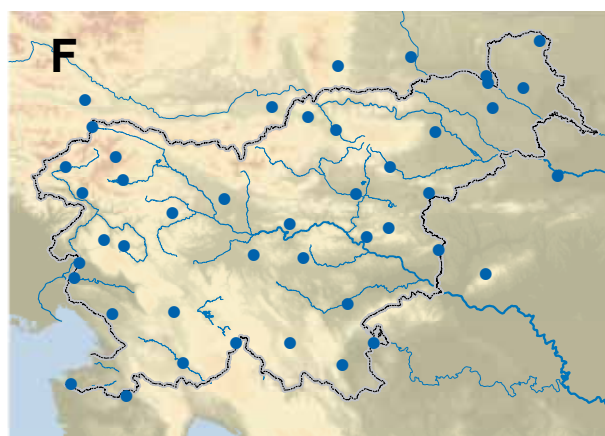
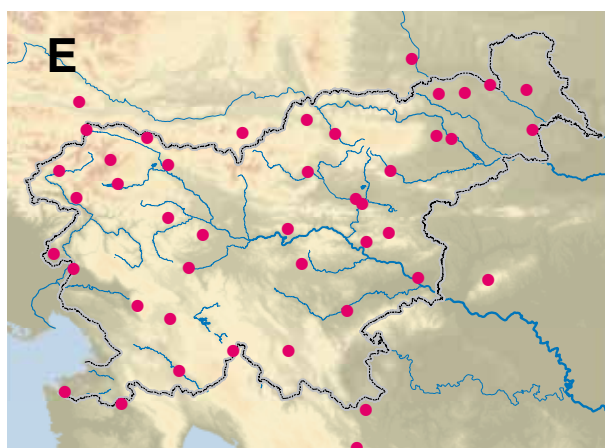
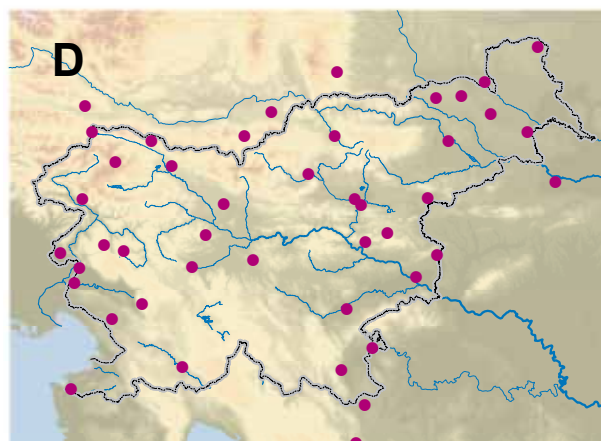


Slika 9. Zemljevid postaj z nizom povprečne temperature (rdeče) in najnižje temperature (modro) zraka. Nabor postaj z nizom najvišje temperature zraka zajema le postaje na območju Slovenije. Prikazane nabore postaj so uporabili trije strokovnjaki (v nadaljevanju označeni z A, B in C).

V zadnjih letih so nekateri zanikovalci človeško povzročeni podnebni spremembi klimatologom očitali, da gre pri homogenizaciji za pristransko popravljanje izmerjenih podatkov. Nekateri menijo, da tudi neposredni poseg človeka v proces homogenizacije vnese še dodatno negotovost v končni rezultat homogenizacije. Testiranje v prej omenjenem projektu je pokazalo, da se ročne metode ne samo kosajo s samodejnimi, temveč jih pogosto prekašajo. Največji doprinos strokovnjaka pri homogenizaciji je v učinkoviti uporabi metapodatkov. Šibko izražene skoke in trende lahko izkušen strokovnjak bistveno bolje ovrednoti in časovno umesti od statističnega programa. To spoznanje smo potrdili tudi pri homogenizaciji slovenskih temperaturnih nizov. Odločili smo se, da ocenimo dve vrsti negotovosti, kar nam pomaga pri vrednotenju rezultatov.

Omejen nabor temperaturnih nizov v zelo razgibanem slovenskem prostoru otežuje homogenizacijo zaradi prostorske pestrosti podnebnih razmer in z njimi povezanih razlik med primerjanimi lokacijami. Strokovnjak, ki se odloča o posameznih nehomogenostih, prav tako prispeva k povečanju negotovosti končnega rezultata. Oba vpliva smo ocenili s pomočjo tako imenovane skupinske homogenizacije. Podobna tehnika se uporablja pri numeričnem napovedovanju vremena, kjer na podlagi rahlo spremenjenih začetnih vrednosti ali različnih modelov dobimo namesto ene snop vremenskih napovedi, s katerimi lahko ocenimo zanesljivost napovedi. Pri homogenizaciji lahko z različnim naborom temperaturnih nizov in različnimi strokovnjaki, ki izvajajo homogenizacijo, ocenimo prej omenjeni vrsti negotovosti. Tako je šest strokovnjakov homogeniziralo temperaturne nize povprečne temperature, pri čemer so trije zajeli vseh 60 postaj, ostali trije pa vsak svojo podmnožico 44 postaj (sliki 9 in 10). 12 postaj je bilo v vseh podmnožicah, ostale, izbirne postaje pa v dveh od treh podmnožic. Geografsko območje z vsemi izbirnimi postajami smo razdelili v skupine po tri postaje. Iz vsake trojke smo naključno izločili eno postajo za vsako podmnožico, različno za različne podmnožice. Nize najvišje in najnižje temperature smo homogenizirali le trije na enakem naboru postaj, zato lahko tu ocenimo le subjektivno negotovost.

Pred odpravljanjem nehomogenosti smo medsebojno primerjali časovne nize in izločili nekaj mesečnih vrednosti, ki so zelo verjetno napačne. Nato smo homogenizirali prej omenjeno število nizov, pri čemer smo postopek odkrivanja in odpravljanja skokov večkrat ponovili – od velikih k manjšim skokom. Zaradi lažjega odkrivanja skokov v začetnih letih obravnavanega obdobja smo v homogenizacijo zajeli tudi podatke iz obdobja 1956–1960. Končni



Slika 10. Zemljevid postaj z nizom povprečne temperature zraka za tri strokovnjake (v nadaljevanju označeni z D, E in F) z zmanjšanim naborom postaj.

rezultat so homogenizirani in za manjkajoče vrednosti interpolirani časovni nizi mesečnih vrednosti temperature zraka v obdobju 1956–2011. V nadaljnjo analizo smo zajeli le obdobje od leta 1961, za katerega so dnevni podatki dodatno preverjeni.

Statistika prelomov v nizih

Število najdenih prelomov je bilo enakega velikostnega reda, okoli en prelom na postajo (preglednica 1). Povprečna verjetnost za prelom pri povprečni temperaturi zraka na leto podatkov in posamezno postajo je povečini 2–3 %. Na mnogih postajah nismo odkrili nobene nehomogenosti, postaje s tremi ali štirimi pa so bile zelo redke. Podobno stanje je bilo pri najvišji in najnižji temperaturi zraka (preglednica 2). V večini primerov je bilo 85 % prelomov ali več pojasnjenih z metapodatki (npr. selitev postaje, menjava opazovalca). Največ odkritih prelomov je bilo od začetka 70. let do začetka 90. let 20. stoletja (slika 11). Predvsem v prvih letih in v obdobju 1995–2001 je bilo prelomov zelo malo. To je vsaj deloma posledica težjega

odkrivanja prelomov, saj je primerjalno obdobje v samem začetku ali koncu časovnega niza prekratko.

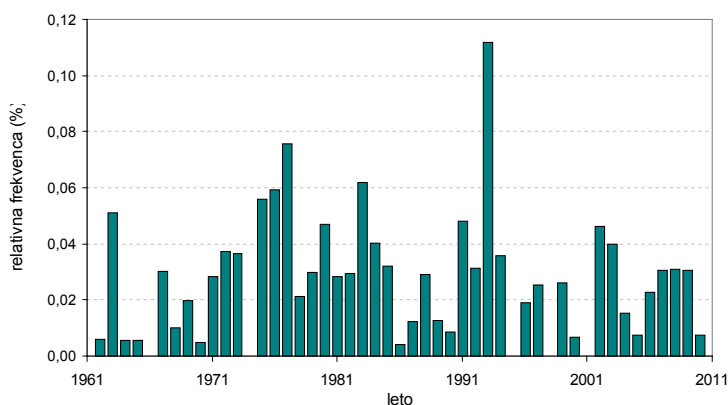
Popravki so bili dokaj simetrično razporejeni okoli ničle in v povprečju pri vseh strokovnjakih med $-0,1$ °C in $0,1$ °C (slika 11). Večina popravkov na mesečni ravni je bila po velikosti manjša od $0,5$ °C, le nekaj popravkov je bilo velikosti okoli 1 °C. Na letni ravni so bili popravki manjši, opazna je tudi bimodalna porazdelitev z vmesnim minimumom okoli ničle. Navidezno pomanjkanje prelomov majhne velikosti je povezano s težavnim odkrivanjem le-teh. Pogosto se namreč skrijejo v šumu podnebne spremenljivosti okrog leta preloma. Zaradi te spremenljivosti je ocena velikosti odkritih prelomov obremenjena z negotovostjo.

strokovnjak	število postaj	število prelomov	% pojasnjenih z metapodatki	verjetnost preloma (%)
A	49	45	89	2,4
B	49	47	94	2,6
C	49	42	86	2,3
D	36	57	88	4,3
E	37	29	86	2,1
F	36	39	100	2,8

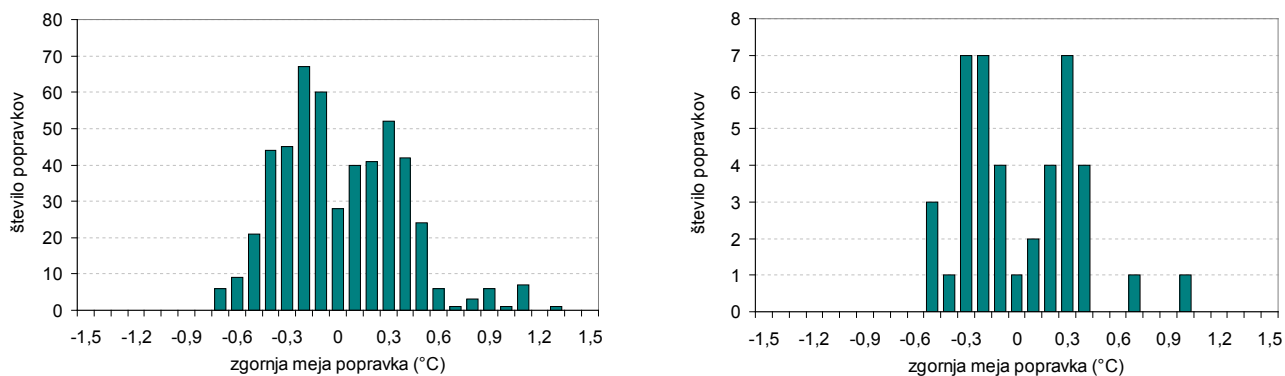
Preglednica 1. Statistika števila odkritih prelomov po strokovnjakih za povprečno temperaturo zraka, izmerjeno na slovenskih postajah v obdobju 1961–2011. V zadnjem stolpcu je podana povprečna verjetnost za prelom v danem letu na eni postaji.

Preglednica 2. Statistika števila odkritih prelomov po strokovnjakih za najnižjo in najvišjo temperaturo zraka izmerjeno na slovenskih postajah v obdobju 1961–2011. V zadnjem stolpcu je podana povprečna verjetnost za prelom v danem letu na eni postaji.

spremenljivka	strokovnjak	število postaj	število skokov	% pojasnjenih z metapodatki	verjetnost preloma (%)
najnižja temperatura	A	36	38	89	2,8
	B	36	35	86	2,6
	C	36	23	74	1,7
najvišja temperatura	A	49	51	98	2,8
	B	49	53	96	2,9
	C	49	49	82	2,7



Slika 11. Časovni potek povprečnega števila odkritih prelomov na posamezno postajo po letih za povprečno temperaturo zraka, povprečne rezultate vseh šestih strokovnjakov.

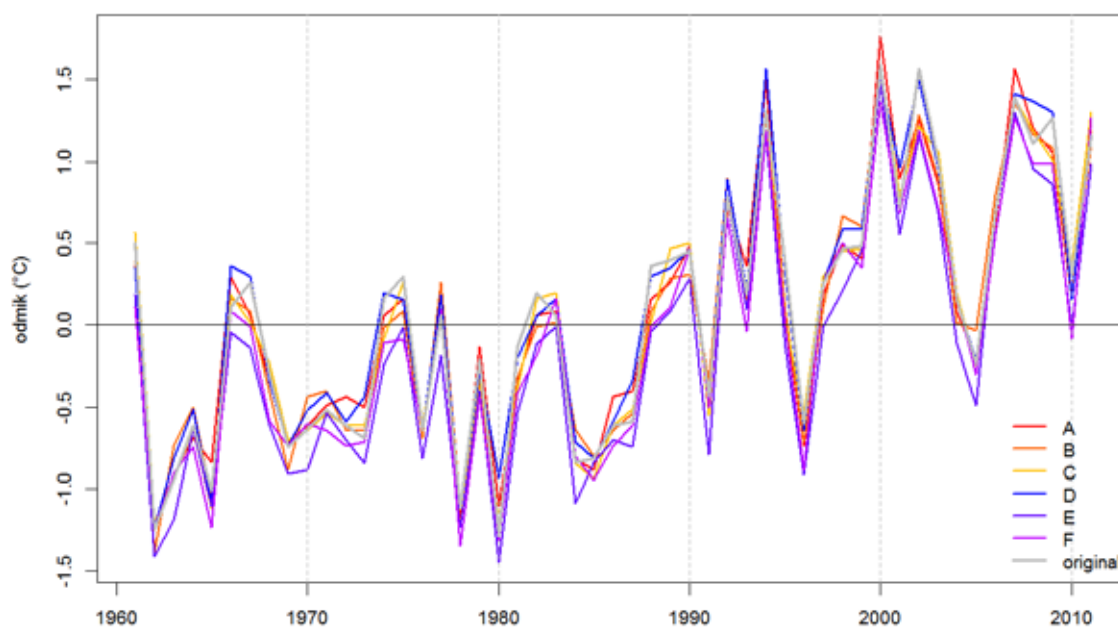


Slika 12. Porazdelitev izračunane velikosti prelomov na mesečni (levo) in letni (desno) ravni (strokovnjak C, povprečna temperatura izmerjena na slovenskih postajah v obdobju 1961–2011)

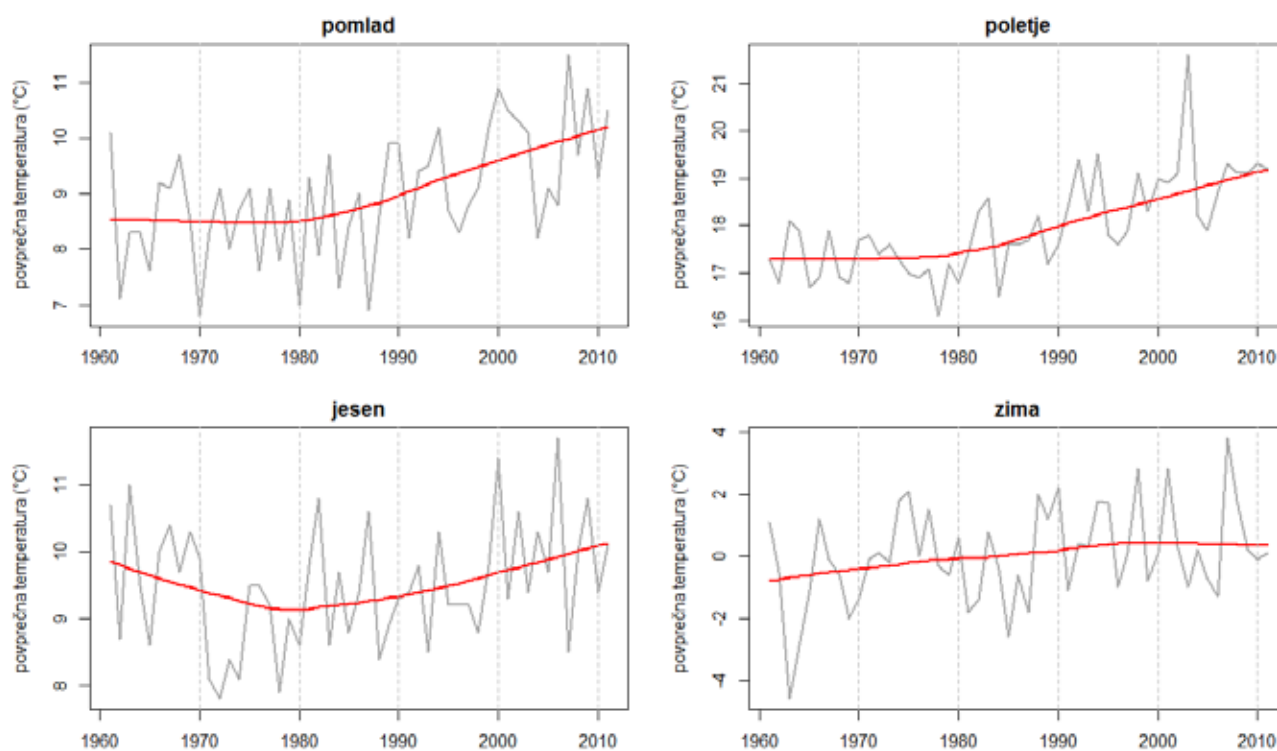
Časovni potek homogeniziranih nizov

Grobo sliko o skladnosti rezultatov posameznih strokovnjakov dobimo s primerjavo časovnega poteka letnega povprečja temperature za celo Slovenijo (slika 13). Splošno naraščajoč trend je prisoten pri vseh obravnavanih nizih, posamezne letne vrednosti se razlikujejo do 0,5 °C, večinoma le za 0,1 °C ali 0,2 °C. Pri tem je potrebno poudariti, da del te razlike izvira iz različnega nabora postaj. Originalne meritve, kjer so bile manjkajoče vrednosti interpolirane, predstavljajo praktično enak časovni potek. V procesu

homogenizacije torej ni prišlo do opaznih sistematičnih popravkov, temveč so bili ti po predznaku dokaj enakomerno razporejeni. Potek letne povprečne temperature zraka le deloma odraža gibanje temperature zraka v posameznih letnih časih (slika 14). V obravnavanem obdobju smo izrazit temperaturni dvig zabeležili poleti (junij–avgust) in spomladi (marec–maj). Zimski trend je zaradi velike medletne spremenljivosti komajda statistično značilno pozitiven. Jeseni so bile sprva postopno hladnejše, od konca 70. let pa beležimo počasen dvig temperatur, vendar trend za obravnavano obdobje ni statistično značilen.



Slika 13. Časovni potek odklona letne povprečne temperature zraka v Sloveniji v obdobju 1961–2011 glede na povprečje celotnega obdobja. Prikazan je potek homogeniziranih nizov vseh šestih strokovnjakov (A–E) in originalna vrednost. Odklon je izračunan kot povprečje odklonov na vseh zajetih postajah na območju Slovenije (49 postaj pri A–C in originalnem ter 36 postaj pri D–F).



Slika 14. Časovni potek povprečne temperature zraka po meteoroloških letnih časih v obdobju 1961–2011 za celotno Slovenijo (siva krivulja) in glajeno drseče povprečje (rdeča krivulja). Izračunane vrednosti so povprečja treh strokovnjakov in vseh homogeniziranih nizov na območju Slovenije.



Meteorološka postaja na Kredarici v sredini 50. let 20. stoletja (Foto: Arhiv ARSO)

Rezultati

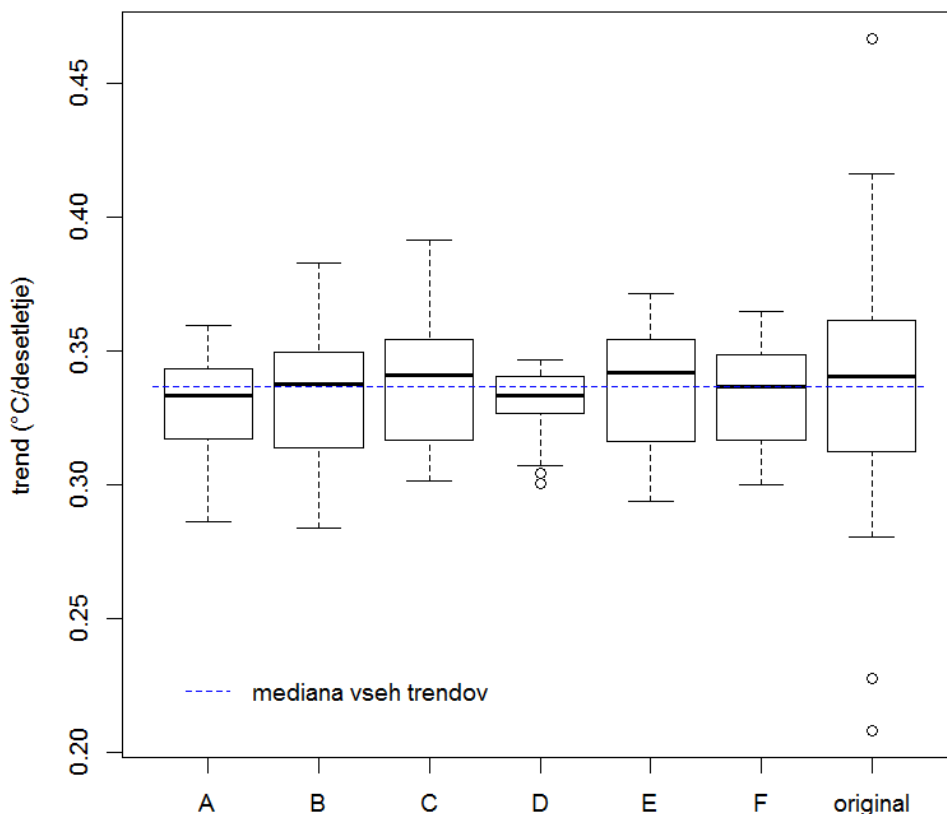
Časovni trend

Med osnovne kazalce podnebnih sprememb sodi časovni trend temperature zraka v daljšem časovnem obdobju. Na slikah 15 in 16 je prikazana porazdelitev izračunanega trenda na letnih vrednostih po slovenskih postajah v obdobju 1961–2011 za homogenizirane nize vsakega od strokovnjakov. Trend je bil izračunan po metodi najmanjših kvadratov.

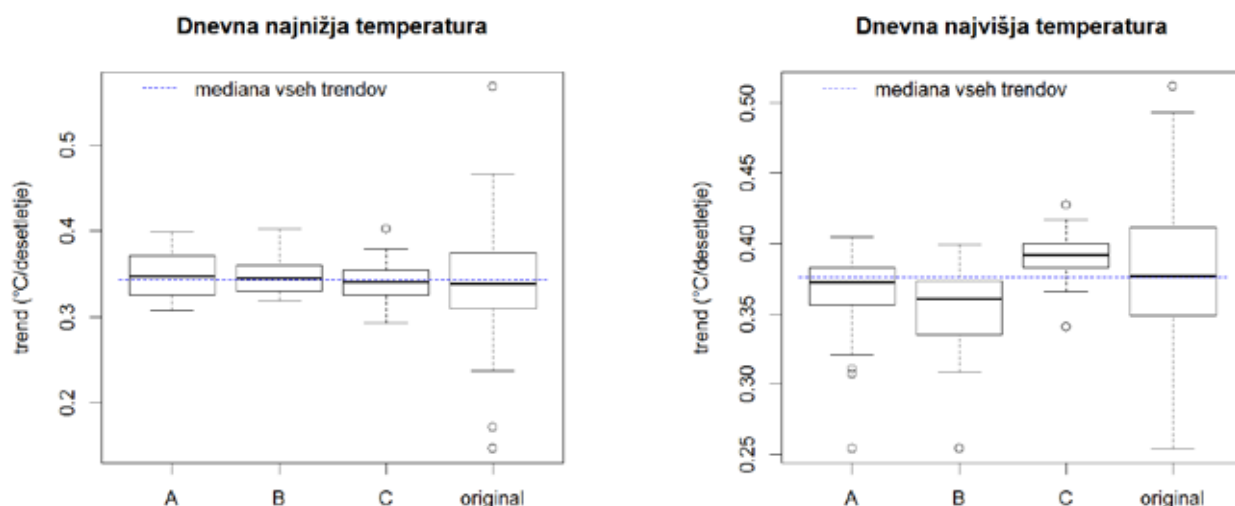
Pri povprečni temperaturi je izračunan trend po metodi najmanjših kvadratov okoli $0,34 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{desetletje}$, a je pri homogeniziranih nizih razpršenost bistveno manjša kot pri nehomogeniziranih nizih. Izstopali so le rezultati strokovnjaka D. Podoben trend je pri najnižji temperaturi zraka, le razpršenost je nekoliko večja. Nekoliko večji trend in manjša enotnost homogeniziranih nizov je opazna pri najvišji temperaturi. Kljub vsemu razlike med homogeniziranimi nizi na državni

ravni niso izrazite, regionalno pa so lahko pomembne. Prostorski pregled je razkril, da je za odstopanje rezultata strokovnjaka C od rezultatov strokovnjakov A in B bistvena razlika na severozahodu Slovenije, zlasti pri višinski postaji Kredarica. Pomanjkanje višinskih postaj močno oteži homogenizacijo na le-teh, saj je lahko časovni trend v višinah že bistveno različen od tistega v nižinah, poleg tega je medletno nihanje precej drugačno in manj usklajeno.

Za primerjavo smo napravili še izračun trendov s Theil-Senovo metodo (Wilcox, 2010), s katero ocenimo naraščanje mediane vrednosti za slovenske postaje. Po tej metodi za povprečno temperaturo dobimo za okoli $0,02 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{desetletje}$, pri najnižji temperaturi za $0,01 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{desetletje}$ in pri najvišji temperaturi za približno $0,03 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{desetletje}$ večji trend, kot po metodi najmanjših kvadratov in za aritmetično sredino.



Slika 15. Grafikon kvantilov za izračunan trend povprečne temperature v obdobju 1961–2011 po postajah v Sloveniji. Prikazani so rezultati šestih strokovnjakov (A–F) in originalnih podatkov (original). Debela črta predstavlja mediano (50. percentil), spodnji in zgornji rob pravokotnika predstavljata 25. in 75. percentil, kratki črtici predstavljata najmanjši in največji podatek znotraj 1,5-kratnika kvartilnega razmika od mediane ter krogi osamelce.



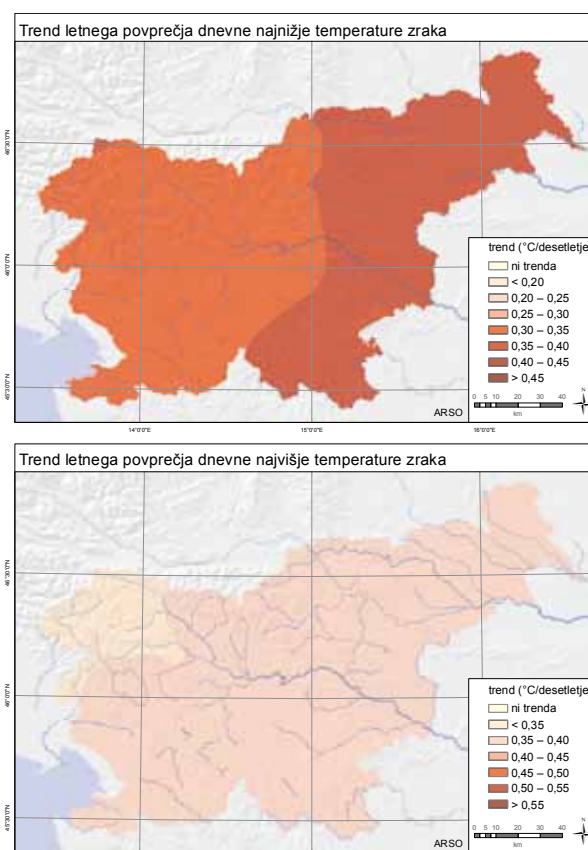
Slika 16. Podobno kot na sliki 15, le za dnevno najnižjo temperaturo zraka (levo) in dnevno najvišjo temperaturo zraka (desno).

Prostorska slika ogrevanja

Razgibanost reliefa in preplet različnih geografskih enot (npr. Jadranskega morja, Alp in Panonske nižine) se odraža v veliki prostorski pestrosti podnebja. Na dokaj majhnem ozemlju se tako prepletajo gorski, sredozemski in zmerno celinski tip podnebja. Že na manjših območjih smo zaradi različne oblike površja in izpostavljenosti vetru in sončnim žarkom priča velikemu razponu tako vremenskih kakor podnebnih razmer. Gledano širše pomembno vlogo odigra zlasti izvor in smer dotoka zračne mase. Ob jugozahodniku so tako več sončnega vremena in višjih temperatur deležni zlasti po nižinah vzhodnega dela Slovenije, ob burji pa območja na primorski strani dinarske pregrade. Ob morebitni spremenjeni pogostosti različnih vremenskih situacij in spremenjenih lastnostih dotekajoče zračne mase tako lahko upravičeno sklepamo na prostorsko različen trend podnebnih sprememb. Osnovna predpostavka v postopku homogenizacije, enotnost trenda v okolici testirane postaje, velja le za manjše in podnebno dokaj enotno območje. Na slikah 17–19 je prikazan linearni temperaturni trend v obdobju 1961–2011.

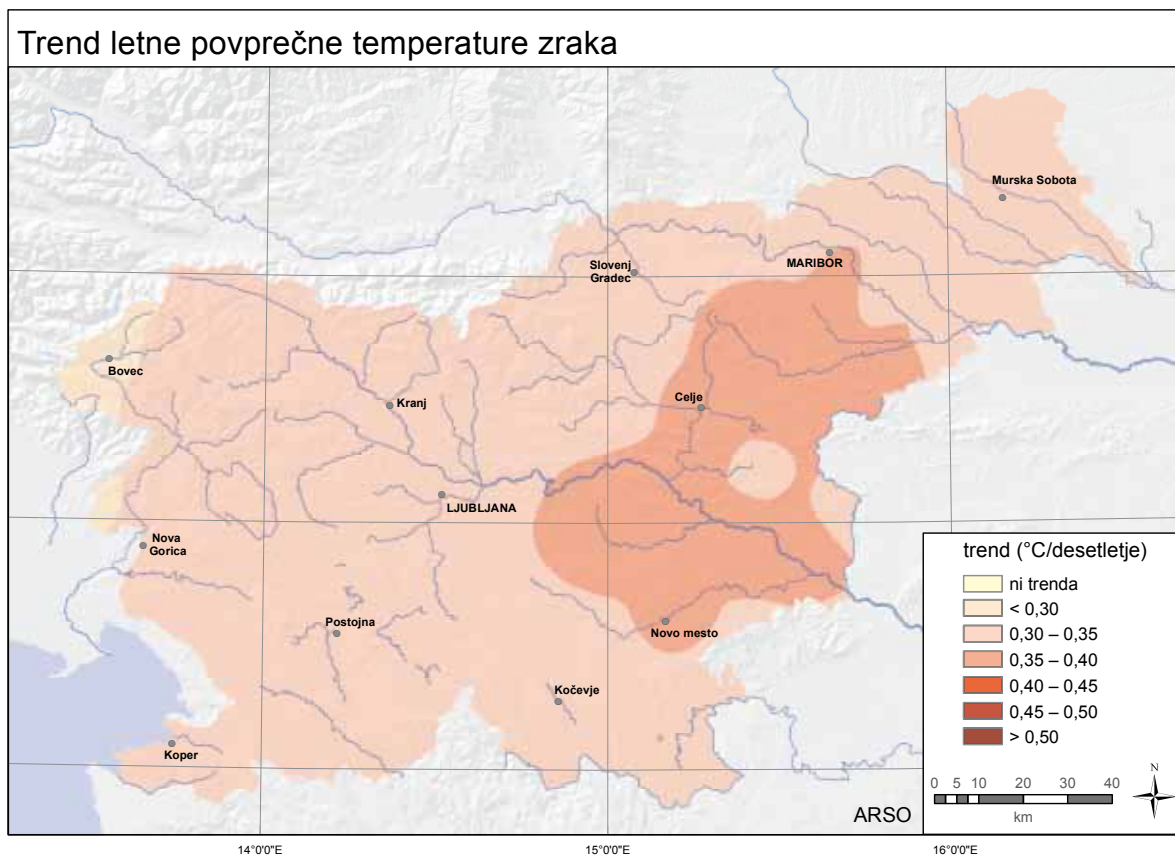
Na podlagi homogeniziranih nizov sklepamo, da je bil v obdobju 1961–2011 dvig dnevne najnižje temperature zraka večji od dviga povprečne in dnevne najvišje temperature zraka. V vzhodni polovici države je trend v splošnem večji kot na zahodu, a je ta razlika statistično značilna le med nekaterimi manjšimi geografskimi območji.

Primerjava časovnega trenda po letnih časih kaže izrazito pozitiven trend poleti in statistično neznačilen trend jeseni. Na vzhodu Slovenije se je na primer

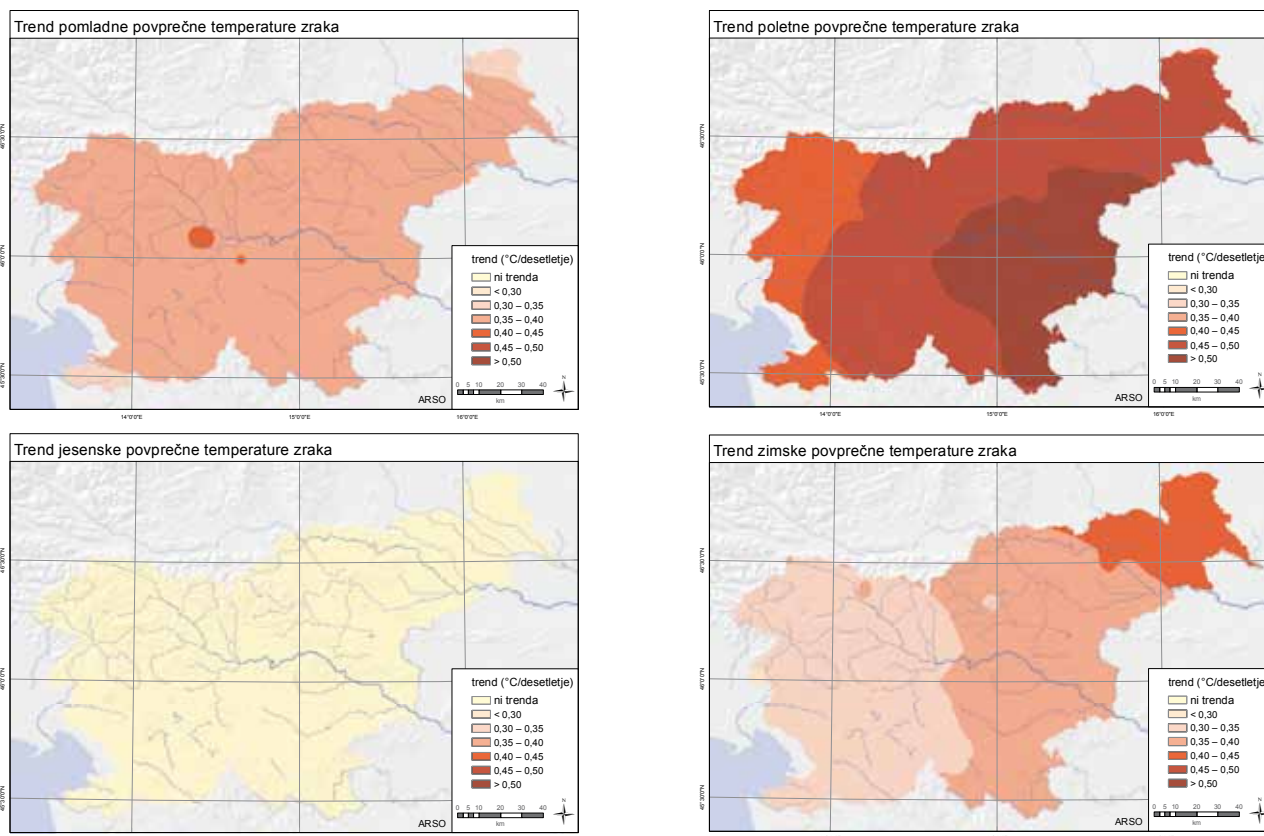


Slika 17. Karta časovnega trenda letnega povprečja dnevne najnižje (zgoraj) in najvišje (spodaj) temperature zraka v Sloveniji v obdobju 1961–2011 na homogeniziranih podatkih

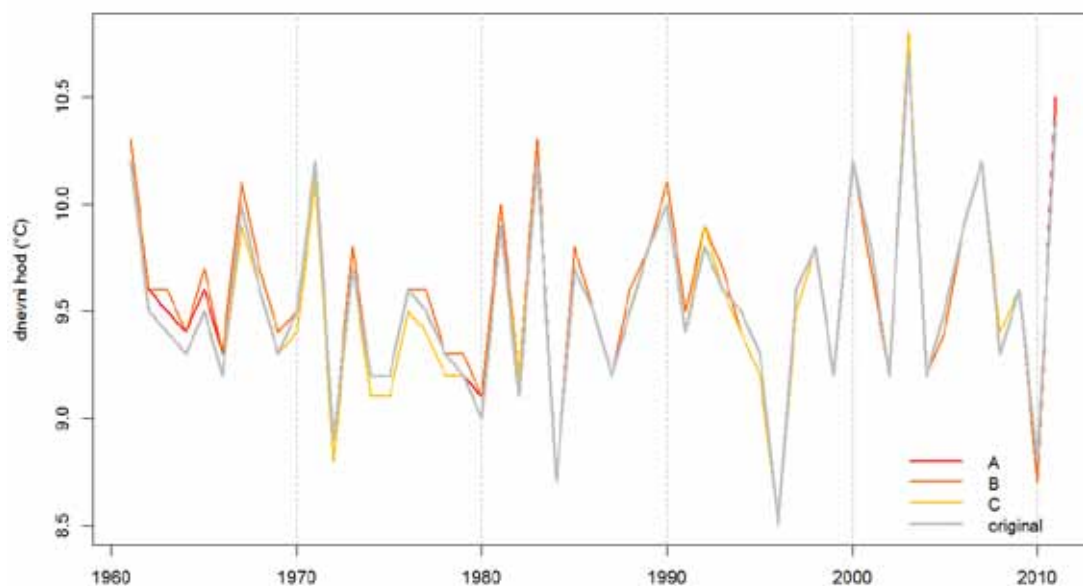
»povprečno« poletje v obdobju 1961–2011 ogrelo za okoli 2–3 °C. Trend pomladne temperature kaže prostorsko enotno sliko, zime pa so se najbolj ogrele na severovzhodu.



Slika 18. Karta časovnega trenda letne povprečne temperature zraka v Sloveniji v obdobju 1961–2011 na homogeniziranih podatkih



Slika 19. Karta časovnega trenda povprečne temperature zraka po meteoroloških letnih časih v obdobju 1961–2011 za območje Slovenije. Izračunani jesenski trend nikjer v Sloveniji ni statistično značilen pri 5 % stopnji značilnosti.



Slika 20. Časovni potek letnega povprečja velikosti dnevnega hoda v obdobju 1961–2011. Prikazana je aritmetična sredina za 36 slovenskih postaj, tri strokovnjake (A, B, C) in originalne dopolnjene podatke.

Dnevni hod

Iz podatkov o dnevni najvišji in najnižji temperaturi lahko izračunamo velikost dnevnega hoda temperature – razpon vrednosti temperature zraka v 24-urnem obdobju. Iz homogeniziranih mesečnih podatkov o povprečni najvišji in najnižji temperaturi zraka dobimo mesečno povprečje velikosti dnevnega hoda. Iz mesečnih vrednosti lahko enostavno izračunamo letno povprečje dnevnega hoda. Na podlagi analize podatkov za 36 slovenskih postaj, kjer imamo na voljo homogenizirane nize obeh ekstremnih temperatur, lahko zaključimo, da znaša to povprečje večinoma 9–10 °C in iz leta v leto niha za nekaj desetink °C (slika 20).

Ocena negotovosti rezultatov

Pri vrednotenju prikazanih rezultatov moramo biti pozorni na različne vire negotovosti, saj so lahko opažene dolgoročne spremembe podnebja deloma ali v celoti odraz napak in vremenske spremenljivosti. Na napako izmerjene vrednosti temperature zraka vpliva več dejavnikov. Najpomembnejši je vrsta zaklona, ki ščiti termometer pred padavinami, sončnim (kratkovalovnim) in zemeljskim (dolgovalovnim) sevanjem. Pomen teh zunanjih dejavnikov je bil upoštevan že v drugi polovici 19. stoletja, ko je britanski inženir Thomas Stevenson razvil zaklon, ki se z manjšimi popravki še danes uporablja v številnih mrežah meteoroloških postaj po svetu. Temu zaklonu pravimo angleška ali meteorološka hišica. Primerjalne meritve so pokazale, da je napaka meritve trenutne tempera-

ture zraka znotraj takega zaklona večinoma manjša od 1 °C, napaka dnevne ali mesečne povprečne temperature zraka pa še manjša (Barnett in sod., 1988; Lacombe in sod., 2011; Meulen in Brandsma, 2008; Brandsma in Meulen, 2008). Meritve najvišje oziroma najnižje temperature zraka zahtevajo večjo pazljivost pri njihovi obravnavi. V sončnem in mirnem vremenu se hišica nekoliko pregreva, v jasnih in mirnih nočeh pa se ohladi pod temperaturo okoliškega zraka. Hkrati velika toplotna vztrajnost hišice in zmanjšana prevetrenost blažita temperaturna nihanja. Temperatura zraka na višini 2 metrov lahko tudi nad homogenimi, recimo travnatimi tlemi niha za velikostni red 1 °C v nekaj minutah ali na razdalji nekaj metrov oziroma nekaj deset metrov. Pri interpretaciji meritev je tako pomembno upoštevati celostno odzivnost zaklona in termometra na vremenske spremembe v okolici.

V teku je homogenizacija mesečnega trajanja sončnega sevanja. Prvi začasni rezultati kažejo, da se je trajanje v obdobju 1961–2011 povprečno podaljšalo za okoli 10 %. To je premalo, da bi bistveno vplivalo na trende mesečnih in letnih vrednosti povprečne, najnižje in najvišje temperature. Dodatni trend zaradi spremenjenega trajanja sončnega obsevanja ocenjujemo na največ okoli 0,1 °C na 50 let.

V opisanem obdobju meritev so se termometri večinoma menjali vsakih nekaj let. Spreminjala se je znamka termometrov, medtem ko je vrsta termometrov (tekočinski termometri) ostala enaka. Ker so bili kontrolirani z referenčnimi instrumenti, ocenjujemo, da znaša njihova pristranskost na državni ravni v celotnem obdobju meritev manj kot 0,1 °C. Tako

spremembe termometrov ne vplivajo znatno na končni rezultat izračunanih trendov po homogenizaciji. Pomemben vir sistematične napake pri izračunu dnevne povprečne temperature je v skrajnih primerih tudi prezgodnje ali prepozno odčitavanje termometrov. V času jutranjega termina se spomladi in poleti običajno hitro ogreva, v času večernega termina pa skozi vse leto zmerno hitro ohlaja. Običajno opazovalci beležijo temperaturo ob časih, ki so kvečjemu nekaj minut stran od predpisanih terminov, in v tem primeru je sistematična napaka na mesečni in letni ravni manjša od 0,1 °C. Na nekaterih postajah pa prihaja tudi do polurnega ali še večjega odstopanja in s tem do sistematičnega odstopanja velikosti nekaj desetink stopinje Celzija pri jutranjem ali večernem terminu glede na predpisani termin.

V postopku poglobljene kontrole meritev smo pred homogenizacijo skupno popravili okoli tisoč vrednosti vsake od merjenih spremenljivk, treh terminskih in dveh dnevniških ekstremnih temperatur. Približno do leta 1980 je bilo popravkov nekajkrat več kakor po letu 1995, saj se je z razvojem računalniške opreme in samih metod kontrole že sproti, takoj po vnosu meritev v bazo podatkov, odkril večji delež napak. Delež popravljenih vrednosti v okviru projekta PSS je v vseh letih in za vse homogenizirane spremenljivke manjši od 1 %, v številnih letih le okoli 0,1 %. Povprečna velikost popravka v posameznem letu in posamezni spremenljivki je večinoma manjša od 0,3 °C. Popravki imajo torej na dolgoletni trend zanemarljiv vpliv, so pa včasih ključni pri analizi vremenskega stanja izbranega dneva ali ekstremnih vrednosti.

Povprečna temperatura zraka, izračunana na podlagi zgolj treh dnevniških izmerkov, je na mesečni do letni ravni zelo blizu dejanskemu povprečju temperature zraka, kot bi jo izračunali na osnovi izmerjenega polurnega poteka temperature preko celotnega dneva. Primerjalna analiza na podlagi meritev samodejnih meteoroloških postaj v obdobju 1994–2011 kaže, da je na letni ravni razlika med obema statistikama povprečju manjša 0,2 °C in se na posameznem merilnem mestu iz leta v leto spreminja le za nekaj stotink stopinje Celzija. Povprečni letni hod razlike ima na večini postaj maksimum v decembru, januarju in juniju in minimum v marcu, aprilu in septembru. V posameznem mesecu je pristranskost redkokdaj in redkokje večja od 0,3 °C. Standardni odklon razlik posameznega meseca se vrti okoli 0,1 °C in ne kaže splošne odvisnosti od letnega časa. Razlika med povprečno temperaturo, izračunano iz meritev ob treh klimatoloških terminih, in dejansko povprečno temperaturo se na mesečni ravni preslika v negotovost trenda obdobja 1961–2011 okoli 0,02 °C/desetletje.

Letne in sezonske vrednosti smo računali na sicer do-

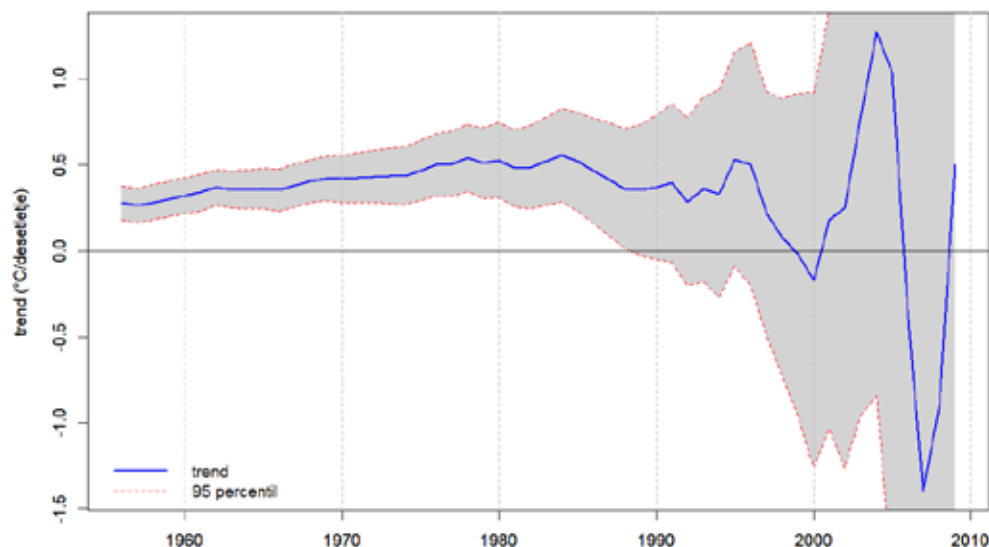
kaj običajen, enostaven, a ne popolnoma točen način. V povprečenju mesečnih vrednosti smo privzeli enako utež za vse mesece, ne glede na njihovo dolžino. Gledano strogo matematično, bi morali pri izračunu aritmetične sredine mesečne vrednosti utežiti s številom dni v posameznem mesecu. Primerjava med obema metodama pokaže na majhne razlike, ki pa so zlasti pri izračunu časovnega trenda temperature zanemarljive. Le za posamezno zimo je včasih razlika med obema pristopoma večja od 0,1 °C, a običajno je v vseh letnih časih in celotnem letu ta razlika do nekaj stotink stopinje Celzija.

K negotovosti trendov, izračunanih na homogeniziranih nizih, prispevajo tudi neodkrita in neodpravljena nehomogenosti v merjenih nizih in popravki, ki so obremenjeni z manjšo ali večjo negotovostjo. Testiranje homogenizacijskih metod v projektu COST ES0601 na temperaturnih nizih z umetno vstavljenimi prelomi in trendi je pokazalo, da se kakovost nizov po homogenizaciji bistveno izboljša (Venema in sod., 2012). Ker se izračunani trend na osnovi interpoliranih nehomogeniziranih vrednosti in homogeniziranih vrednosti na državni ravni ne razlikujeta niti za 0,01 °C/desetletje, menimo, da je ta dejavnik pomemben le pri posameznih mesečnih ali letnih vrednostih v posameznem merilnem nizu.

Ocenjujemo, da vsi zgoraj omenjeni viri napak skupaj pri izračunu povprečne temperature zraka prispevajo k negotovosti trenda manj od 0,05 °C/desetletje, saj so posamezne vrste napak med seboj bolj ali manj neodvisne. Bistveno večji vir negotovosti izračunanega trenda temperature zraka v obdobju 1961–2011 predstavlja statistična negotovost izračunanega trenda zaradi vremenske spremenljivosti. Zaradi tega lahko iz meritev le do neke mere izluščimo podnebni signal, ki nas v luči podnebnih sprememb najbolj zanima. Tem krajše kot je obravnavano obdobje, tem manjša je zanesljivost izračunanega časovnega trenda (slika 21). Pri hitrosti sprememb, ki smo jim priča v zadnjih desetletjih, je okoli 20 let podatkov ali manj premalo za statistično značilno oceno trenda. Na daljšem časovnem obdobju se sicer negotovost izračunanega linearnega trenda zmanjša, a lahko dejanski podnebni signal že močno odstopa od linearnega poteka. Je pa ocena linearnega trenda na nizih, daljših od 40 let, že precej stabilna.

Sklepne misli

Projekt Podnebna spremenljivost nadaljujemo s homogenizacijo časovnih nizov višine padavin in snega, hitrosti vetra in trajanja sončnega obsevanja. Poglobljena analiza spremenljivosti teh spremenljivk bo dopolnila vedenje o podnebnih spremembah v Sloveniji.



Slika 21. Srednja vrednost in razpon intervala zaupanja za velikost trenda v odvisnosti od začetnega leta pri 5 % stopnji značilnosti. Upoštevana je le negotovost zaradi vremenskega šuma.

Viri

Barnett, A., D. B. Hatton in D. W. Jones, 1998. Recent Changes in Thermometer Screen Designs and their Impact. IOM 66 WMO/TD - No. 871, 12 str.

Brandsma, T., in J. P. van der Meulen, 2008. Thermometer Screen Intercomparison in De Bilt (the Netherlands), Part II: Description and modeling of mean temperature differences and extremes. *Int. J. Climatology*, 28, 3, str. 389–400, doi:10.1002/joc.1524

Caussinus H. and Mestre O. (2004) Detection and correction of artificial shifts in climate series. *Applied Statistics*, 53, part 3, 405-425.

Domonkos P., R. Poza, and D. Efthymiadis (2011) Newest development of ACMANT. *dv. Sci. Res.*, 6, 7-11, 2011.

Guijarro J. A. (2011): User's guide to Climatol, 40 pp. <http://www.meteobal.com/climatol/climatol-guide.pdf>

Lacombe, M., D. Bousri, M. Leroy in M. Mezred, 2011. WMO Field Intercomparison of Thermometer Screens/Shields and Humidity Measuring Instruments Ghardaïa, Algeria, November 2008 - October 2009. IOM 106 WMO/TD - No. 1579, Ženeva, 101 str.

Mestre, O., P. Domonkos, F. Picard, I. Auer, S. Robin, E. Lebarbier, R. Böhm, E. Aguilar, J. Guijarro, G. Vertacnik, M. Klančar, B. Dubuisson in P. Stepanek, 2013. HOMER : a homogenization software – methods and applications. *Időjárás - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service (OMSZ)*, 117, 1, str. 47–67

Meulen, J. P. van der, in T. Brandsma, 2008. Thermometer Screen Intercomparison in De Bilt (the Netherlands), Part I: Understanding the weather-dependent temperature differences, *Int. J. Climatology*, 28, 3, str. 371–387, doi:10.1002/joc.1531

Venema, V. K. C., Mestre, O., Aguilar, E., Auer, I., Guijarro, J. A., Domonkos, P., Vertacnik, G., Szentimrey, T., Stepanek, P., Zahradnicek, 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., Acquafotta, F., Fratianni, S., Cheval, S., Klančar, M., Brunetti, M., Gruber, C., Prohom Duran, M., Likso, T., Esteban, P., and Brandsma, T., 2012. Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. *Clim. Past*, 8, str 89–115, doi:10.5194/cp-8-89-2012

Picard F., Lebarbier, E., Hoebeke, M., Rigail, G., Thiam B. and Robin S., 2011. Joint segmentation, calling, and normalization of multiple CGH profiles. *Biostatistics*. doi:10.1093/biostatistics/kxq076

Programsko orodje HOMER 2.6., skupaj z dokumentacijo: <http://www.homogenisation.org/HOMER.2.6.tar.gz>

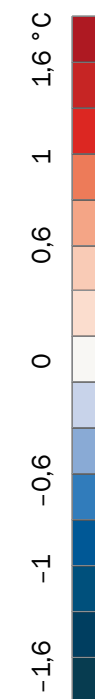
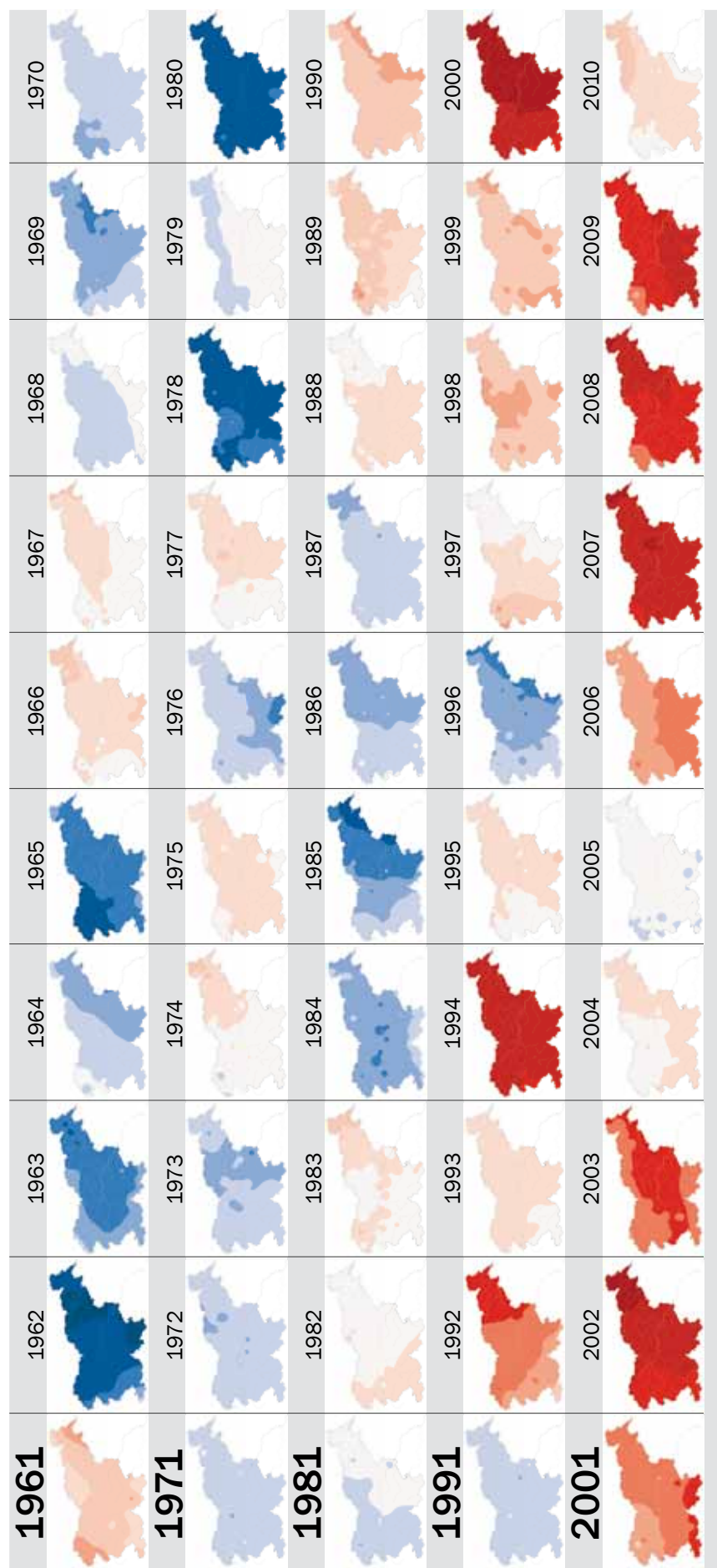
R Development Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Wilcox, R. R., 2010. *Fundamentals of Modern Statistical Methods, Substantially Improving Power and Accuracy*. Springer, 193-208.

Zahvala

Agencija RS za okolje se zahvaljuje hrvaškemu Državnemu hidrometeorološkemu zavodu (DHMZ) in avstrijskemu Centralnemu uradu za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) za posredovane dnevne podatke o meteoroloških spremenljivkah od leta 1956 naprej.

Časovni trak letne povprečne temperature



Odstopanje letne povprečne temperature od tridesetletnega referenčnega povprečja (1971-2000) v °C. Pozitivna odstopanja (topleje od referenčnega obdobja) so označena z rdečimi toni, negativna odstopanja (hladneje od referenčnega obdobja) pa so označena z modrimi toni.

2012

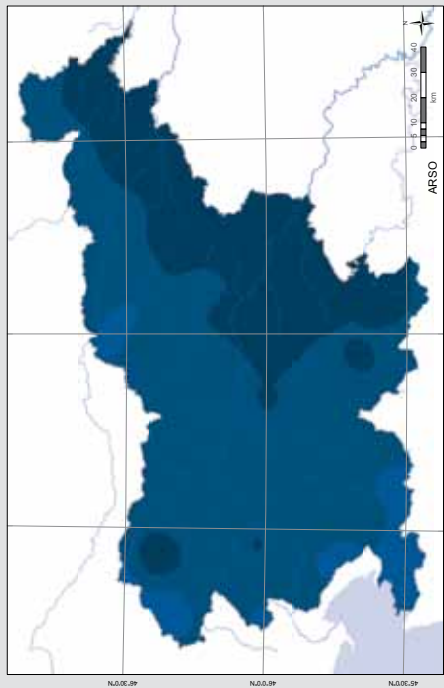


2011

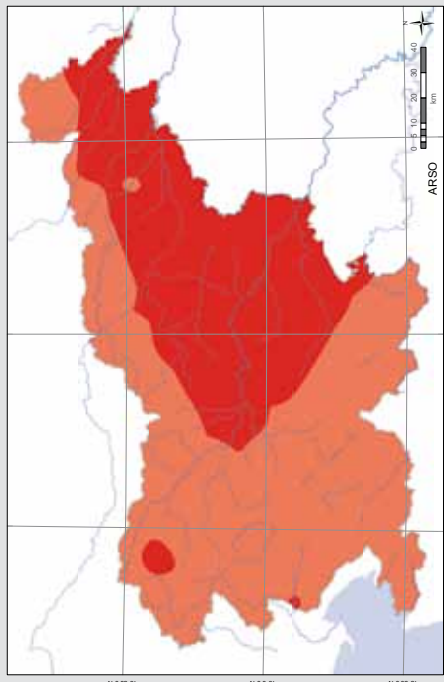


Odstopanje temperature v izjemnih mesecih

januar 1963

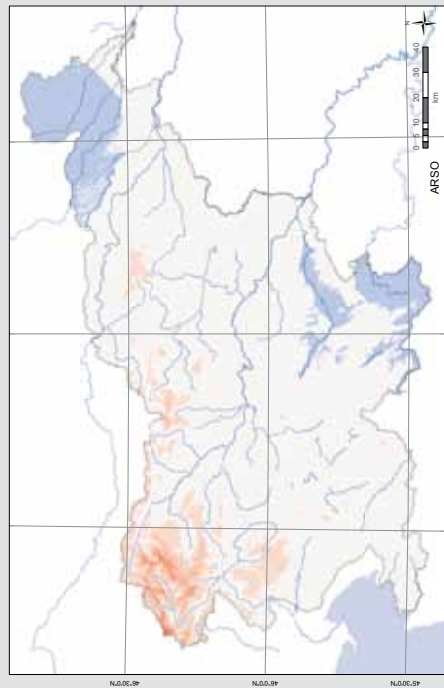


junij 2003

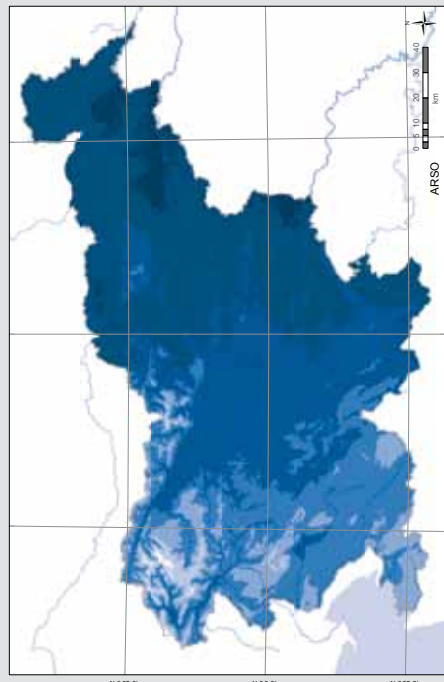


Januar 1963 je bil najhladnejši mesec v obdobju 1961–2011 in hkrati mesec z največjim negativnim odklonom, okoli $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ glede na referenčno obdobje 1971–2000. Med poletnimi meseci je bil najbolj izstopajoč okoli $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pretopenl junij 2003.

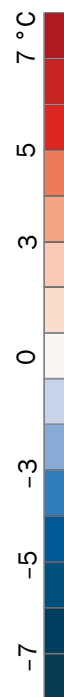
november 2011



januar 1964

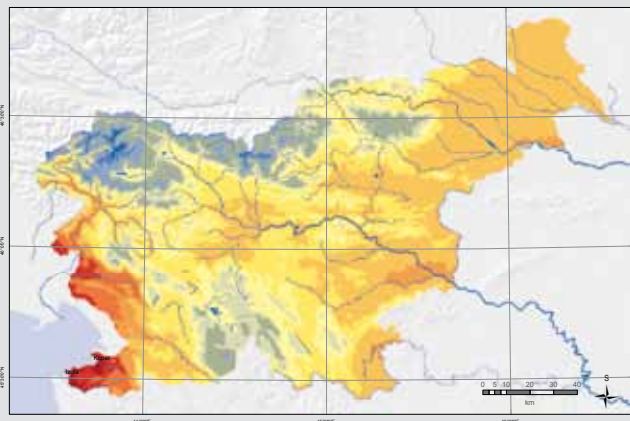


Zaradi razgibanega reliefa in vpliva različnih geografskih enot je temperaturni odklon na mesečni ravni pogosto neenoten. Novembru 2011 je bil v večjem delu države običajno hladen, ponekod po nižinah znatno prehladen, zlasti v visokogorju pa precej pretopen. Podobna pestra je bila temperaturna slika januarja 1964. Takrat je bilo v visokogorju zmerno hladno, na Primorskem nekoliko hladneje od referenčnega obdobja, v vzhodni polovici države pa je bil januar 1964 med najhladnejšimi meseci.

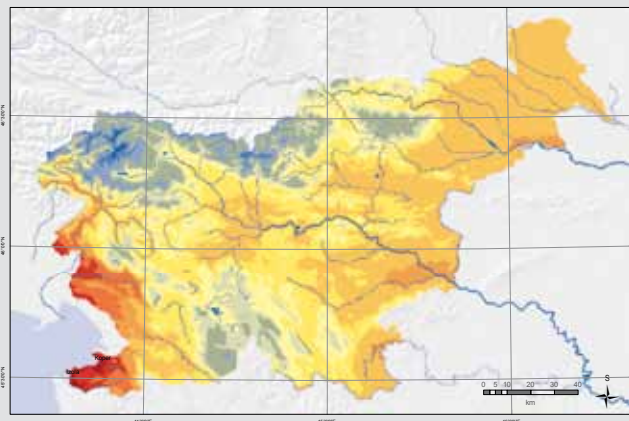


Desetletna povprečna temperatura zraka

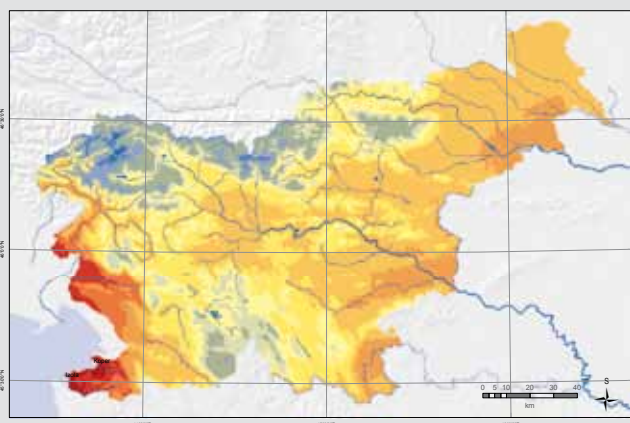
1961–1970



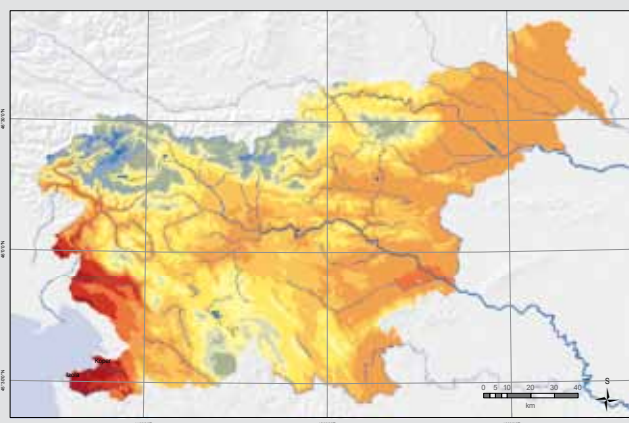
1971–1980



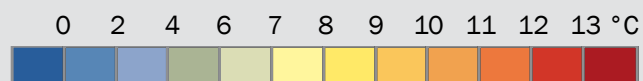
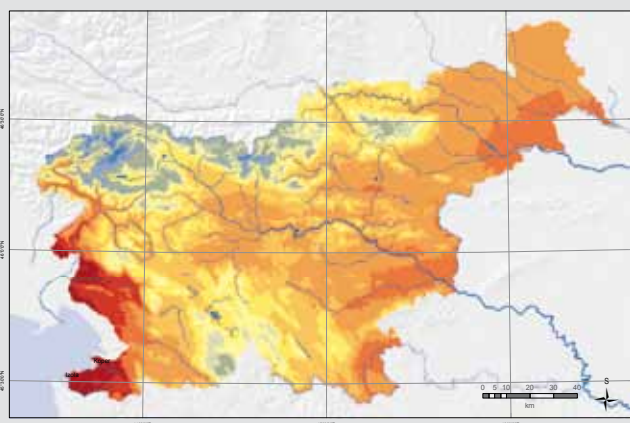
1981–1990



1991–2000



2001–2010



Trend povprečne temperature zraka na izbranih merilnih postajah v obdobju 1961–2011

Trend je izražen v °C/desetletje. Statistično značilne vrednosti trenda, pri stopnji značilnosti 5 %, so zapisane z mastnim tiskom. Trend povprečne letne temperature v povprečju lahko odstopa za 0,11, pomladne za 0,19, poletne za 0,15, jesenske za 0,18 in zimske za 0,30 °C/desetletje. Za postaje so podane tudi Gauß-Krügerjeve koordinate in nadmorska višina (vse v m).

postaja	Y	X	z	leto	pomlad	poletje	jesen	zima
Babno Polje	464897	55758	754	0,35	0,40	0,52	0,14	0,30
Bilje	393617	84389	55	0,32	0,39	0,42	0,14	0,29
Bovec	389733	133439	452	0,30	0,37	0,43	0,08	0,32
Brnik, letališče	459693	119393	364	0,33	0,40	0,46	0,12	0,31
Celje, Medlog	517778	121400	242	0,36	0,40	0,49	0,15	0,35
Čepovan	406758	101105	593	0,31	0,38	0,42	0,11	0,29
Črnomelj, -Dobliče	511774	46206	157	0,34	0,38	0,51	0,11	0,32
Godnje	410437	68508	320	0,32	0,36	0,46	0,13	0,27
Gornji Lenart	544825	87350	150	0,36	0,39	0,53	0,14	0,34
Ilirska Bistrica	441464	47179	424	0,31	0,36	0,45	0,11	0,28
Javorje nad Poljanami	436846	112856	690	0,32	0,38	0,43	0,11	0,32
Kočevje	488690	55756	467	0,33	0,37	0,49	0,12	0,31
Kredarica	411847	137865	2514	0,30	0,39	0,44	0,06	0,30
Krn	397174	121853	910	0,30	0,37	0,42	0,08	0,31
Lesce	436842	136023	515	0,33	0,38	0,45	0,14	0,33
Lisca	522410	102663	947	0,34	0,39	0,51	0,13	0,31
Miklavški Hrib nad Celjem	520572	119172	385	0,36	0,40	0,50	0,16	0,33
Mozirje	497156	132721	340	0,34	0,38	0,48	0,14	0,30
Murska Sobota, Rakičan	591549	168258	187	0,35	0,36	0,48	0,13	0,39
Nanos, Ravnik	423594	75156	905	0,33	0,37	0,49	0,12	0,29
Novo mesto	514163	73066	220	0,37	0,40	0,53	0,14	0,35
Planina nad Sevnico	532059	106502	575	0,33	0,37	0,49	0,11	0,33
Planina pod Golico	427624	147445	970	0,30	0,36	0,41	0,11	0,32
Podgradje	594145	151109	272	0,33	0,36	0,45	0,08	0,38
Portorož, letališče	392163	37707	2	0,30	0,33	0,39	0,16	0,31
Postojna	437588	69412	533	0,32	0,39	0,49	0,10	0,28
Rateče	401574	151142	864	0,31	0,39	0,44	0,07	0,32
Rogaška Slatina	550015	121904	250	0,35	0,38	0,52	0,15	0,32
Sevno	494556	93086	545	0,35	0,41	0,50	0,14	0,31
Slovenske Konjice	532860	133333	330	0,35	0,37	0,50	0,14	0,36
Starše	559215	147302	240	0,35	0,39	0,51	0,15	0,32
Šmartno pri Slovenj Gradcu	508908	149509	444	0,36	0,39	0,47	0,18	0,36
Topol pri Medvodah	451721	105620	660	0,33	0,41	0,49	0,10	0,28
Veliki Dolenci	598600	188885	308	0,35	0,35	0,45	0,14	0,39
Vojsko	415450	98448	1067	0,32	0,38	0,44	0,10	0,30
Vrhnika	445755	91593	293	0,34	0,40	0,50	0,10	0,31
Zgornja Ščavnica	564890	167059	358	0,34	0,36	0,46	0,11	0,38

Značilnosti temperature zraka v obdobju 1961–2011

- povprečna temperatura zraka je v obdobju 1961–2011 naraščala s časovnim trendom okoli 0,34 °C/desetletje
- časovni trend v vzhodni polovici države je v splošnem večji kot na zahodu
- dvig dnevne najvišje temperature zraka je večji od dviga povprečne in dnevne najnižje temperature zraka
- najbolj pozitiven je časovni trend temperature zraka poleti
- časovni trend pomladne temperature kaže prostorsko enotno sliko, zime so se najbolj ogrele na severovzhodu
- jeseni so bile v obdobju 1961–2011 sprva postopno hladnejše, od konca 70. let pa beležimo počasen dvig temperature, vendar trend za obravnavano obdobje ni statistično značilen
- statistično značilen je dvig letne povprečne temperature za obdobje zadnjih 25 let in več