

Agrovoc descriptors: climatic change, climatic factors, meteorological elements, meteorological observations, data collection, precipitation, evapotranspiration, temperature, seasons, adaptation, trends, environmental factors

Agris category code: P40

Spremembe agro-klimatskih spremenljivk v Sloveniji v zadnjih desetletjih

Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ¹, Tjaša POGAČAR², Andrej CEGLAR³, Zalika ČREPINŠEK⁴

Prispelo: 21. septembra 2009; sprejeto 30. decembra 2009

Received: September 21, 2009; accepted December 30, 2009

IZVLEČEK

Kmetijstvo je v veliki meri odvisno od vremena oz. od podnebnih razmer. Kmetijstvo ima ob vse izrazitejših podnebnih spremembah pomembno vlogo pri njihovem blaženju, hkrati pa se mora nanje tudi prilagajati. Za razvoj strategij prilagajanja je potrebno poznavanje vzorcev spreminjanja različnih agro-meteoroloških kazalcev, zato je namen tega prispevka ovrednotiti spremembe ključnih agro-meteoroloških spremenljivk nad območjem Slovenije. Obravnavali smo spremembe temperatur, števila hladnih, toplih ter vročih dni, evapotranspiracije, količine padavin in drugih izvedenih spremenljivk. Za izračun sprememb smo niz meteoroloških podatkov razdelili v izhodiščno obdobje (1961 – 1990) ter primerjalno obdobje (1991 – 2007), za izračun trendov pa smo uporabili kar celoten niz meteoroloških podatkov med leti 1961 ter 2007. Povprečna letna temperatura zraka se je v primerjalnem obdobju povečala med 0,7 °C ter 1,4 °C, izrazit pa je tudi dvig povprečne maksimalne temperature zraka. Izrazito je tudi povečanje števila vročih dni ter zmanjšanje števila hladnih dni. Pri padavinah so opazne spremembe izrazito sezonsko ter regionalno pogojene; tako se je količina padavin zmanjšala pozimi, jeseni pa povečala. Izrazito pozitiven trend je razviden pri poletni evapotranspiraciji, pri čemer so vrednosti trenda najvišje julija (na Goriški ter Obalno-kraški regiji celo 30 mm/10 let).

Ključne besede: podnebne spremembe, prilagajanje, agro-meteorološki kazalci, trend, temperatura, padavine, evapotranspiracija, Winklerjev indeks, Huglinov indeks

ABSTRACT

TRENDS IN AGRO-CLIMATE VARIABLES IN SLOVENIA

Agriculture crucially depends on climate conditions. It has a significant role in mitigating climate change but it also has to adopt certain adaptation measures in order to preserve sustainability. Development of adaptation measures is based on knowledge about agro-meteorological variables. The purpose of this work is therefore to assess changes of most important agro-meteorological variables over Slovenia. These variables include temperature, precipitation, number of hot, warm and cold days, evapotranspiration, precipitation amount and other indices. For the calculation purposes we divided time series of meteorological variables into comparison period (1991 – 2007) which was compared to the base period (1961 – 1990). Average annual temperature has risen for about 0.7 °C to 1.4 °C, the rise in maximum temperature is even more pronounced. The number of hot days has increased whereas the number of cold days has decreased. Precipitation has decreased in winter and increased in autumn, changes in spring and summer exhibit spatial dependency and are in general lower. Summer evapotranspiration exhibits significant positive trend, which is most pronounced in south-eastern part of Slovenia (30 mm/10 years).

Key words: climate change, adaptation, agro-meteorological variables, trends, air temperature, precipitation, evapotranspiration, Winkler's index, Huglin's index

¹ prof. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101, lucka.kajfez.bogataj@bf.uni-lj.si

² univ.dipl.ing.meteor., Agencija republike Slovenije za okolje, 1000 Ljubljana, Vojkova 1b

³ univ.dipl.ing.meteor., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

⁴ doc. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

1 UVOD

Kmetijstvo je usodno odvisno od vremena oziroma podnebnih razmer, saj imajo temperatura zraka in tal, sončno obsevanje, zračna vlaga, količina in razporeditev padavin, pogostnost in intenzivnost vremenskih ujm odločilen vpliv na kmetijsko pridelavo. Podobno je z gozdov v Sloveniji, ki se s 60 odstotnim deležem gozdov uvršča v tretjo najbolj gozdnato državo v Evropi. A podnebje na zemlji se zaradi človeških posegov v podnebni sistem vse hitreje spreminja (Luterbacher in sod., 2004). Z veliko zanesljivostjo lahko trdimo, da je izrazitemu dvigu temperature v zadnjih nekaj desetletjih botroval predvsem človek s spreminjanjem rabe tal in zlasti z emisijami toplogrednih plinov (TGP) ter aerosolov, ki spreminjajo sestavo ozračja in s tem vplivajo na energijsko bilanco Zemlje kot celote. Mnogo gospodarskih sektorjev je močno odvisnih od podnebnih razmer in posledice podnebnih sprememb bodo neposredno občutile predvsem kmetijske dejavnosti (Črepinšek in sod., 2009). Zmanjšana razpoložljivost vode, škoda zaradi vetra, višje temperature, suše, večje število gozdnih požarov in večje tveganje za bolezni bodo povzročile škodo pri gozdovih (Simončič in sod., 2001). Čeprav imajo podnebne spremembe nekaj pozitivnih vidikov (npr. kmetijska proizvodnja v nekaterih omejenih predelih Evrope), utegnejo negativne posledice prevladati.

Napredek znanosti je omogočil, da podatki o podnebjju danes segajo že daleč v preteklost. Čeprav se je podnebje našega planeta v preteklosti že mnogokrat spreminjalo, pa je danes pojem podnebne spremembe vezan na človekov vpliv na podnebni sistem. Človek vse hitreje prek izpustov toplogrednih plinov (TGP) spreminja sestavo ozračja, s spremenjeno rabo tal in sekanjem gozdov pa tudi značilnosti zemeljske površine. Na primer vsebnost CO₂ je danes v atmosferi najvišja v zadnjih 650.000 letih. TGP povzročajo učinek tople grede in ker povečujemo njihovo vsebnost v ozračju, s tem zmanjšujemo prepustnost ozračja za sevanje površja. Kar povzroča dvig temperature površja, je torej povečani učinek tople grede.

Posledice podnebnih sprememb so v Evropi že precejšnje in izmerljive. Zaradi nelinearnosti podnebnih vplivov in občutljivosti ekosistemov imajo lahko že

majhne temperaturne spremembe zelo velike posledice (Črepinšek in sod., 2006). Evropa se je v prejšnjem stoletju segrela za skoraj 1 °C, kar je hitreje od svetovnega povprečja. Toplejše ozračje vsrka več vodne pare, vendar se novi vzorci padavin močno razlikujejo glede na regijo. Na kopnem v zmernih geografskih širinah se je izrazito zmanjšalo število hladnih dni, še zlasti so se zvišale minimalne nočne temperature zraka. V poletnem času se je povečalo število toplih noči. Navkljub globalnemu povečanju padavin, se je pogostnost suš povečevala, predvsem kot posledica spremenjene splošne cirkulacije zraka. Te spremembe se odražajo v okrepljenih zahodnih vetrovih in premiku lege polarne fronte. Okrepljeni zahodni vetrovi vplivajo na prenos oceanskih zračnih mas nad kontinente. Tako lahko zahodni deli kontinentov postajajo toplejši kot vzhodnejši, kar je še posebej očitno v zimskem času.

Slovenija je podnebno raznolika dežela, na kar še zlasti vplivata njen razgibani relief in lega med Alpami, Sredozemljem in Panonsko nižino. Glede podnebnih sprememb Slovenija seveda ni izjema. Analiza dolgoletnih meteoroloških meritev kaže številne spremembe v časovnem poteku posameznih podnebnih značilnosti, še posebej pa naraščanje temperatur zraka. Najbolj opazne spremembe beležimo po letu 1990 (Črepinšek in Kajfež Bogataj, 2003). Tudi na Kredarici temperatura zraka narašča, kar kaže, da gre za globalna dogajanja in ne za krajevne spremembe temperature, ki jih lahko povzročijo tudi drugi vzroki – na primer učinek toplotnega otoka v mestnih okoljih.

V prispevku se ukvarjamo zlasti z vplivom podnebnih sprememb na agrometeorološke kazalce, ki so nujna podlaga za strategije blaženja podnebnih sprememb in prilagajanja, in sicer spremembe povprečne, minimalne in maksimalne temperature zraka, števila hladnih, toplih in vročih dni, akumulirane temperaturne vsote (efektivne in aktivne), spremenjeno tveganje zaradi pomladanske pozebe, ocena povečane evapotranspiracije ter nove vrednosti klimatskih indeksov za vinogradništvo. Za bazno obdobje smo uporabili tridesetletje 1961-1990 (Schonwiese in Rapp, 1997) in s tedanjimi razmerami primerjali stanje v obdobju 1991-2007 ter tako ponazorili spremembe, ki se že dogajajo.

2 METODE IN MATERIAL

Padavinski in temperaturni podatki, izmerjeni na padavinskih ter klimatoloških postajah so bili dobljeni iz arhivov Urada za meteorologijo na Agenciji Republike Slovenije za Okolje (ARSO). Prostorsko interpolacijo podatkov smo naredili z računalniškim programom GSTAT, ki je namenjen

geostatističnemu modeliranju, napovedi ter simuliranju, slike prostorske interpolacije pa so bile narisane s pomočjo programa ArcGIS.

Velik problem pri izračunih predstavljajo manjkajoči podatki v nizu meritev (bodisi zaradi izpada merilne postaje, ukinitve postaje ...). Število padavinskih ter klimatoloških postaj v Sloveniji je v upadanju, kar na tako razgibanem terenu pomeni vse slabše možnosti za kvalitetno prostorsko obdelavo podatkov. V letu 1961 je delovalo 123 klimatoloških postaj, leta 1971 112, leta 1981 89, leta 1991 68, v letu 2007 pa jih je bilo le še 39. Nekaj takih postaj smo uporabili tudi v našem izračunu. Manjši delež manjkajočih podatkov smo nadomestili s preverjenimi interpolacijskimi shemami, postaje z daljšim nizom manjkajočih podatkov (več let), pa smo v izračunu izpustili.

Karte smo pripravili s pomočjo statističnih metod prostorske interpolacije, ki temeljijo na statistični analizi prostorskih podatkov in statističnem modeliranju porazdelitve spremenljivk v prostoru. Uporabili smo metodo splošnega kriginga z upoštevanjem nadmorske višine (Cressie, 1993), ki je implementirana v geostatističnem programskem paketu GSTAT. Ob manjšem številu postaj se pojavi vprašanje reprezentativnosti tovrstne prostorske interpolacije podatkov na območju Slovenije.

POTENCIALNA EVAPOTRANSPIRACIJA

Referenčna evapotranspiracija je po FAO definirana kot količina vode, ki izhlapi iz površine tal, ki jih pokriva ekstenzivna travna ruša visoka 0,12 m, z albedom 0,23 in konstantno površinsko upornostjo 70 s/m. Površina je zelena, dobro preskrbljena z vodo in enakomerno pokriva celotna tla. Potencialna evapotranspiracija je zmožnost atmosfere, da odstrani določeno količino vode iz tal, poraščenih s poljubno rastlino, pri neomejeni količini vode v tleh. Dejanska evapotranspiracija se iz potencialne izračuna z upoštevanjem lastnosti rastline in tal.

Meritev v Sloveniji ni, zato ima izbira dobre računske metode še poseben pomen. Največkrat uporabljamo kombinirano Penman-Moteithovo metodo, ki pa je zelo kompleksna in zahteva velik nabor vhodnih podatkov, ki jih za daljše obdobje in večje število lokacij težko dobimo in uskladimo. Njeno najboljše nadomestilo za Slovenijo je precej enostavnejša Antalova metoda (Kurnik, 2002). Temelji na povezavi s povprečno dnevno temperaturo in povprečno dnevno relativno vlago:

$$ET_0 = k_1 (e_a - e_d)^{0,7} \left(1 + \frac{T}{k_2} \right)^{4,8}, \text{ pri čemer je}$$

ET_0 [mm/dan] dnevna referenčna evapotranspiracija, T [°C] povprečna dnevna temperatura zraka na višini 2 m,

$$k_1 = 0,736 \frac{mm}{dan \cdot hPa^{0,7}} \text{ in } k_2 = 273^\circ C. e_a - e_d$$

[hPa] predstavlja razliko med nasičenim in dejanskim parnim tlakom, ki jo izračunamo iz relativne vlage Rh [%] po

$$\text{enačbi: } e_a - e_d = c_1 \left(1 - \frac{Rh}{100} \right) \cdot \exp \left(\frac{c_2 T}{c_3 + T} \right),$$

konstante pa so glede na arhiv ARSO (2008) pri

$$T \geq 0: c_1 = 6,108 hPa, c_2 = 17,08, c_3 = 234,175^\circ C$$

in pri

$$T < 0: c_1 = 6,107 hPa, c_2 = 22,44, c_3 = 272,44^\circ C$$

(Kurnik, 2002).

Ko računamo za zgoraj opisano ekstenzivno travno rušo, sta izraza referenčna in potencialna evapotranspiracija enakovredna, uporabljali bomo slednjega.

VODNA BILANCA

Najbolj preprost, a vseeno učinkovit način določanja sušnih obdobj je izračun vodne bilance (VB), to je vodnega presežka oz. primanjkljaja. Določimo jo tako, da od dnevne količine padavin (RR) odštejemo dnevno količino potencialne evapotranspiracije (ET_p) in za rezultat vzamemo vodno bilanco zadnjega dne v mesecu:

$$VB_i = VB_{i-1} + RR_i - ET_{p_i}, \text{ kjer prvi dan v mesecu upoštevamo vodno bilanco prejšnjega meseca, vendar brez presežkov in primanjkljajev, torej } 0 < VB_{i-1} \leq PK,$$

pri čemer je PK poljska kapaciteta tal. Ta označuje količino vode, ki ostane v tleh po tem, ko iz z vodo nasičenih tal del odteče zaradi gravitacije. Tla s srednjo zadrževalno sposobnostjo vode so predstavljena s $PK = 100$ mm.

V severovzhodni Sloveniji prevladujejo tla s srednjo zadrževalno sposobnostjo (poljska kapaciteta med 80 in 150 mm), v zahodni Sloveniji imamo večinoma tla z majhno zadrževalno sposobnostjo (poljska kapaciteta med 30 in 80 mm), v severozahodni celo z zelo majhno (poljska kapaciteta do 30 mm). Veliko zadrževalno sposobnost (poljska kapaciteta med 150 in 230 mm) imajo le tla v jugovzhodnem delu in izjemoma še v posameznih katastrskih občinah po Sloveniji.

BIOKLIMATSKI INDEKSI

Izbiramo lahko med mnogo različicami bioklimatskih indeksov, ki nam glede na temperaturo zraka ter lahko tudi glede na količino padavin določajo primernost razmer za različne kulture. Izbrali smo dva, ki se največkrat pojavljajata v strokovni literaturi.

Iz povprečnih temperatur zraka (T [°C]) računamo Winklerjev indeks po enačbi:

$$IW = \sum_{1.4.}^{31.10.} (T - 10^\circ C),$$

kjer seštevamo povprečne dnevne temperature, ki so višje od $10^\circ C$, v obdobju od začetka aprila do konca oktobra. Klasifikacija vinorodnih klimatskih regij glede na Winklerjev indeks je primerna za izračun kjerkoli v svetu. Tabela 1 podaja razrede vinogradniške klime glede na Winklerjev indeks ter primer pripadajočih vinorodnih okolišev. Slovenija ustreza področju I ter II, ki sta naprej razdeljena na pet con (Tabela 2).

Tabela 1: Razredi vinogradniške klime glede na Winklerjev indeks (Riou, 1994).

Table 1: The classification of the viticultural climatic regions according to Winkler climatic index (Riou, 1994).

področje	vrednosti IW [°C]	nekaj vinorodnih okolišev iz tega področja
I	< 1390	Ženeva, Dunaj, Bordeaux, Geisenheim, Dijon
II	1391 – 1670	Budimpešta, Santiago (Čile), Napa (ZDA)
III	1671 – 1950	Milano, Montpellier
IV	1951 – 2220	Benetke, Mendoza (Argentina), The cape (J Afrika)
V	> 2220	Split, Palermo, Alžir

Tabela 2: Razredi vinogradniške klime za Slovenijo glede na prilagojen Winklerjev indeks (Sušnik in sod., 2005).

Table 2: Winegrowing regions according to modified Winkler climatic index as used in Slovenia (Sušnik et al., 2005).

cona	vrednosti IW [°C]
1	< 1150
2	1150 – 1250
3	1251 - 1350
4	1351 – 1450
5	> 1450

Huglinov heliotalni indeks računamo glede na letne vrednosti spremenljivk. Uporabili smo enačbo

$$HI = \sum_{1.4.}^{30.9.} \frac{(T - 10) + (T_{max} - 10)}{2} \cdot d,$$

kjer je T povprečna temperatura zraka v °C, T_{max} maksimalna temperatura zraka v °C in d koeficient dolžine dneva, odvisen od geografske širine (d = 1,04). Seštevamo po vegetacijskem obdobju (od 1. aprila do 30. septembra). V Tabela 3 je

predstavljena klasifikacija glede na Huglinov indeks, ki se večinoma uporablja v vinogradništvu.

Tabela 3: Razredi vinogradniške klime glede na heliotalni Huglinov indeks (Huglin, 1986).

Table 3: Winegrowing regions according to Huglin climatic index (Huglin, 1986).

razred vinogradniške klime	oznaka	vrednosti HI [°C]
zelo topla	HI+3	> 3000
topla	HI+2	2400 - 3000
zmerno topla	HI+1	2100 - 2400
zmerna	HI-1	1800 - 2100
hladna	HI-2	1500 - 1800
zelo hladna	HI-3	<= 1500

POZEBA

Pozeba, ki se pojavi spomladi, ko je rastlina v fazi cvetenja, lahko povzroči veliko znajšanje pridelka. Pri pozebi se osredotočimo na minimalno temperaturo, saj so od nje odvisne poškodbe na cvetovih ali plodičih. Temperature, nižje od -2 °C, povzročijo zmerno, nižje od -3 °C močno ter nižje od -4 °C hudo pozebo. V naši študiji smo kot temperaturo praga definirali 0 °C ter pozebo definirali kot zadnji dan spomladi, ko minimalna temperatura pade pod 0 °C in je rastlina že v fazi cvetenja. Za obravnavo smo določili v Sloveniji precej razširjeno sadno vrsto, to je domačo češpljo. Začetek fenološke faze cvetenja je določen z akumulirano toplotno energijo, ki jo določimo na osnovi vsote aktivnih temperatur (to so temperature nad 0 °C). Za domačo češpljo se vrednosti temperaturne vsote nekoliko razlikujejo po regijah, odvisno od klimatskih značilnosti posamezne regije. Tako znašajo vrednosti povprečne vsote aktivnih temperatur za domačo češpljo v začetni fazi cvetenja v Ratečah 341 °C, v Celju 420 °C, v Biljah 400 °C itd. Toplejši kraji imajo praviloma tudi višjo vsoto aktivnih temperatur, ki so potrebne za začetek fenološkega razvoja rastline. Pri samem izračunu smo vzeli povprečno vrednost vsote aktivnih temperatur za Slovenijo, ki pri domači češplji znaša 420 °C.

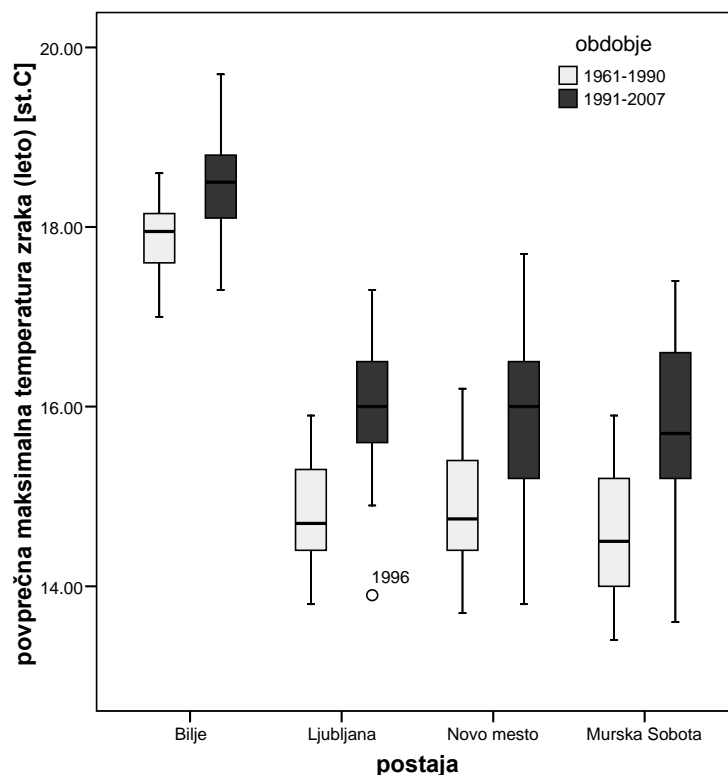
3 REZULTATI IN DISKUSIJA

TEMPERATURA ZRAKA

Povprečna dnevna temperatura zraka se zelo očitno povečuje. Poleti je razlika med obdobjema 1961-1990 in 1991-2007 od 1 do 1,8 °C, najmanj temperatura narašča jeseni, letna razlika se giblje od 0,7 do 1,4 °C. Segrevanje na Kredarici je primerljivo z nižinskimi postajami. Dvig ni značilno odvisen od prvotnega povprečja v obdobju 1961-1990, saj so rezultati med seboj primerljivi.

Variabilnosti pri maksimalnih dnevni temperaturah so večje kot pri povprečnih in se z zviševanjem povprečij še povečajo, a v veliki odvisnosti od lokacije - na grafu (Slika 1) vidimo izredno veliki variabilnosti za Novo

mesto in Mursko Soboto. Sicer pa je dvig povprečja nekoliko večji od tistega pri povprečnih dnevni temperaturah zraka. Največje spremembe so v vzhodnem in severovzhodnem delu Slovenije.



Slika 1: Okvirji z ročaji za Bilje, Ljubljano, Novo mesto in Mursko Soboto, ki predstavljajo porazdelitev letnih povprečij maksimalnih dnevni temperatur zraka za obdobji 1961-1990 (svetli) in 1991-2007 (temni).

Figure 1: Boxplots of yearly averages of maximal daily temperatures for Bilje, Ljubljana, Novo mesto and Murska Sobota for the periods 1961-1990 (bright) and 1991-2007 (dark).

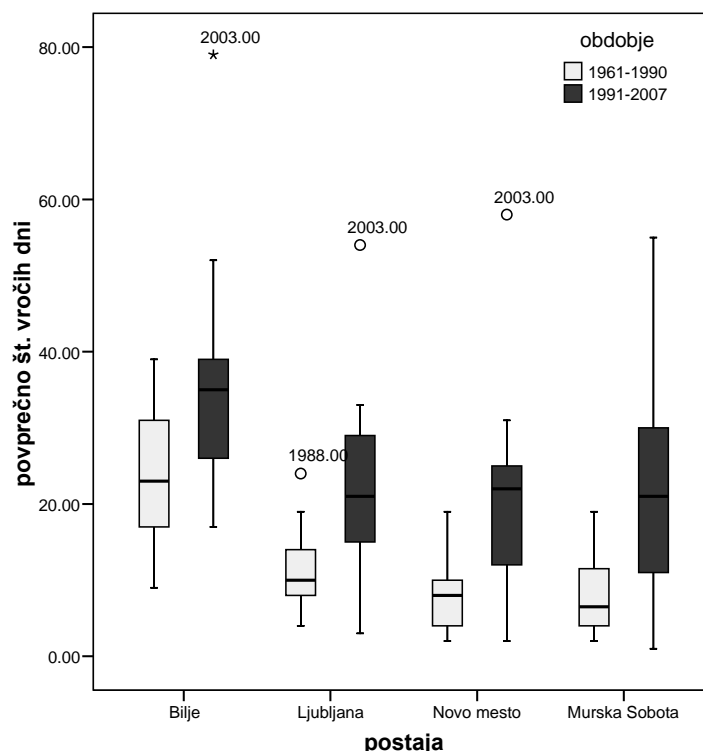
Pri minimalnih temperaturah opazimo podobno naraščanje kot pri povprečnih dnevni temperaturah zraka, torej nekoliko manjše kot pri maksimalnih. Največje razlike se sicer kažejo poleti in najmanjše pozimi, a so kljub temu zanimivejše zimske spremembe, ko rastline potrebujejo mrz za mirovanje.

ŠTEVILO VROČIH, TOPLIH IN HLADNIH DNI

Z naraščanjem temperature zraka je povezano naraščanje števila vročih (maksimalna temperatura nad 30 °C) in toplih dni (maksimalna temperatura nad 25 °C) ter upadanje števila hladnih dni (minimalna

temperatura pod 0 °C). Za fenološki razvoj rastlin je ključnega pomena, da je dovolj hladnih dni, preveliko število toplih ali celo vročih dni pa deluje stresno.

Vroči dnevi spadajo med bolj ekstremne dogodke, kar se odraža predvsem pri večji variabilnosti. Izredno velik razpon v Murski Soboti (Slika 2) lahko pripišemo dejstvu, da je zaradi večjega števila let z več vročimi dnevi leto 2003 ostalo maksimum in ne osamelec kot pri ostalih postajah. Na grafih lahko tudi vidimo, kako ekstremno je zares bilo leto 2003 z izjemno velikim številom toplih in vročih dni. Dejstvo, da je bilo leta 2003 v Biljah 79 vročih dni, je prav neverjetno.



Slika 2: Okvirji z ročaji za Bilje, Ljubljano, Novo mesto in Mursko Soboto, ki predstavljajo porazdelitev poletnih povprečij števila vročih dni ($T_{maks} > 30\text{ °C}$) za obdobji 1961-1990 (svetli) in 1991-2007 (temni).

Figure 2: Boxplots of summer averages of number of hot days ($T_{maks} > 30\text{ °C}$) for Bilje, Ljubljana, Novo mesto and Murska Sobota for the periods 1961-1990 (bright) and 1991-2007 (dark).

PADAVINE

Pozimi opazimo občutno zmanjšanje povprečne količine padavin v zahodni polovici Slovenije z največjim odstopanjem v severozahodnem delu. Kljub dosedanjim napovedim, da naj bi se pozimi količina padavin zviševala, opažamo drugačne spremembe. V Gorenjski in Goriški regiji se je tako količina padavin v zadnjem obdobju glede na tridesetletje 1961-1990 zmanjšala celo do 30 odstotkov. Pri spomladanski količini padavin je opaziti upad na celotnem območju Slovenije, kar smo tudi pričakovali glede na napovedi ob trenutnem povečevanju toplogrednih plinov v ozračju. Kot pozimi pa je tudi spomladi odstopanje izrazitejše v zahodni polovici Slovenije, kjer je povprečna količina padavin v obdobju 1991-2006 za okoli 20 odstotkov manjša kot v tridesetletnem obdobju 1961-1990. Količina padavin se je spomladi najmanj zmanjšala v severovzhodnem delu ter predelih južne Slovenije.

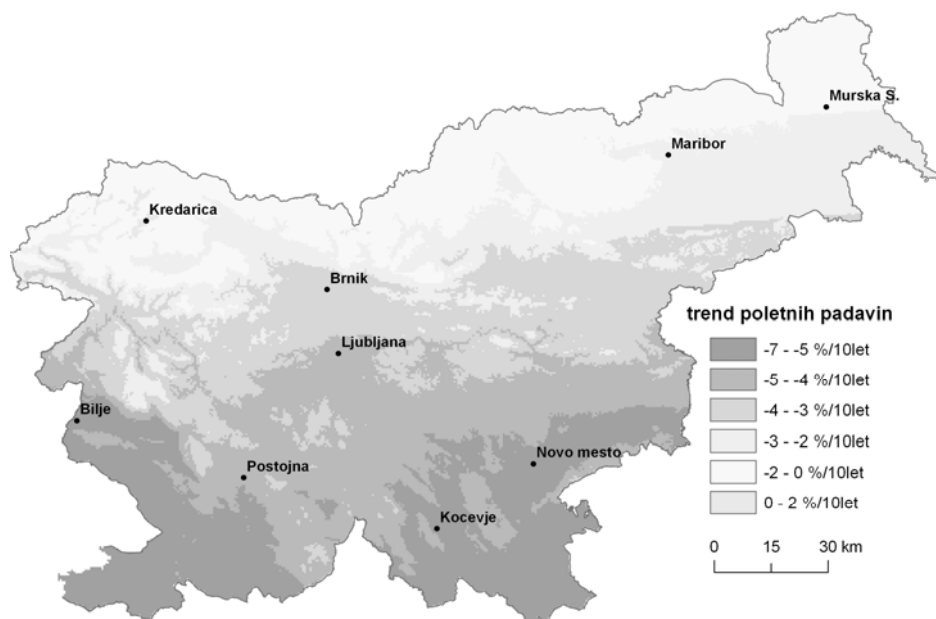
Poleti se vpliva raznolikosti reliefa in vremenskih situacij še bolj odražata na rezultatih, ki so zato zelo raznoliki glede na lokacije po Sloveniji. Odstopanja so manjša kot spomladi, večinoma gre za okoli 10 odstotno zmanjšanje količine padavin. Vendar pa se izjemoma na

nekaterih lokacijah kaže tudi pozitivno odstopanje, kar že izgleda kot začetna znamenja jesenskega dogajanja.

Jeseni je opazen dvig količine povprečnih padavin glede na obdobje 1961-1990. Porast količine padavin je najbolj intenziven v osrednjem delu Slovenije, kjer imamo do 20 odstotna odstopanja, ter v Posočju in na povsem vzhodnem robu Prekmurja z okoli 15 odstotnim dvigom. Na splošno skoraj lahko rečemo, da so tam, kjer so pozimi odstopanja povprečja količine padavin v obdobju 1991-2006 najbolj negativna, jeseni najbolj pozitivna, z izjemo pasu od Ljubljane proti Zasavju.

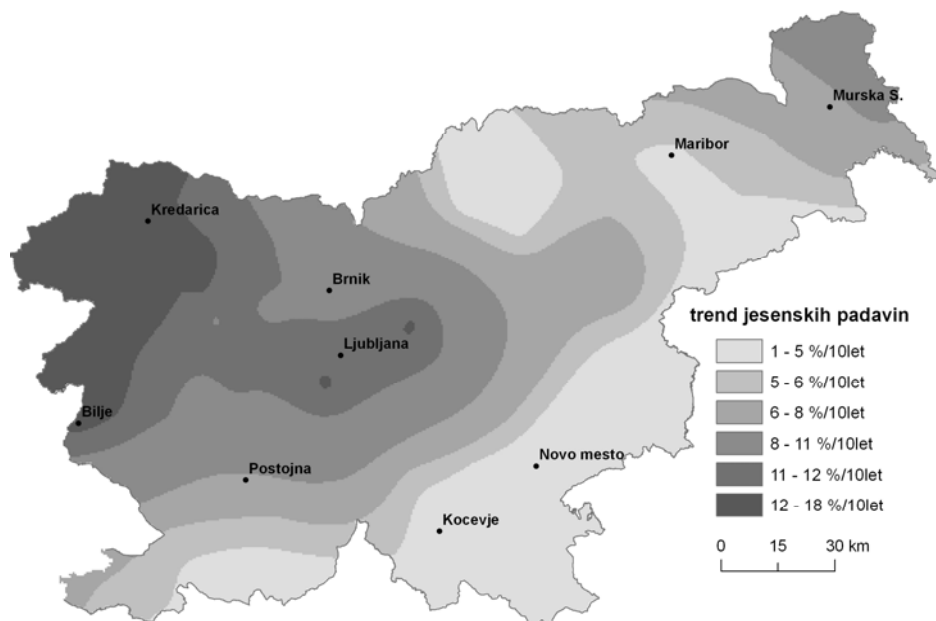
Podobne prostorske vzorce kot pri odstopanjih pričakujemo tudi pri trendih padavin. Spomladi je trend v večini Slovenije negativen, količina padavin upada za okoli 5 odstotkov, seže pa tudi do 10 odstotkov na 10 let.

Pozimi je največji trend upadanja padavin v severozahodni in deloma v jugozahodni Sloveniji. V omenjenih predelih je trend upadanja količine padavin do 20 odstotkov na 10 let. Proti vzhodu se trend upadanja nekoliko zmanjšuje, še posebej proti jugovzhodu Slovenije, kjer trenda praktično ni.



Slika 3: Trend spreminjanja količine poletnih padavin v obdobju 1971-2006 v odstotkih glede na povprečje 1971-2006 na izbrani lokaciji.

Figure 3: The trend of summer precipitation sum in the period 1971-2006 according to the average 1971-2006.



Slika 4: Trend spreminjanja količine jesenskih padavin v obdobju 1971-2006 v odstotkih glede na povprečje 1971-2006 na izbrani lokaciji.

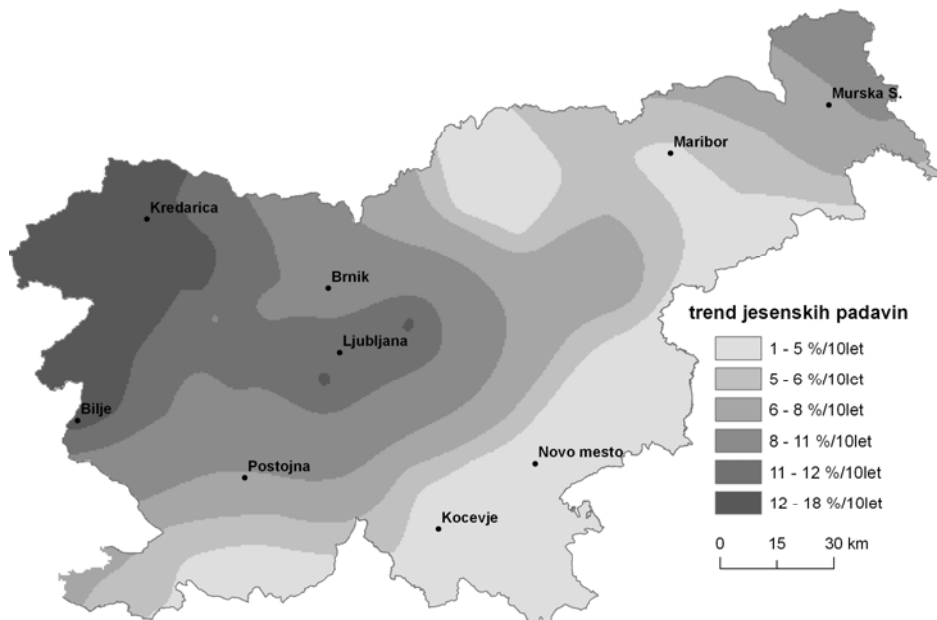
Figure 4: The trend of the summer precipitation sum in the period 1971-2006 according to the average 1971-2006.

Pri prostorski karti spreminjanja količine padavin poleti (Slika 3) je za razliko od ostalih sezon izrazit vpliv nadmorske višine, kar se jasno odraža tudi pri sami strukturi karte. Poleg tega je zanimivo pasovno

naraščanje negativnih trendov od severa proti jugu. Sicer količina poletnih padavin po celi Sloveniji upada, a je na severu trend komaj zaznaven, medtem ko gre v osrednji Sloveniji za upadanje za okoli 5 odstotkov na

10 let, na jugu pa tja do 7 odstotkov na 10 let. Pri trendih jesenskih padavin (Slika 4) se povečevanje količine padavin v osrednji Sloveniji ne kaže v taki meri kot smo lahko opazili pri odstopanju povprečja zadnjih let. Najbolj se količina padavin povečuje na severozahodu Slovenije, kjer so trendi skoraj do 20 odtotkov na 10 let. Proti jugovzhodu in vzhodu se trendi

povečevanja zmanjšujejo, v osrednji Sloveniji se količina padavin povečuje za okoli 10 odstotkov na 10 let, najmanjše naraščanje padavin pa je okoli Novega mesta in Kočevja. Proti severovzhodu Slovenije se trendi naraščanja padavin spet povečujejo in dosežejo na skrajnem robu okoli 10 odstotkov na 10 let.



Slika 5: Trend spreminjanja količine jesenskih padavin v obdobju 1971-2006 v odstotkih glede na povprečje 1971-2006 na izbrani lokaciji.

Figure 5: The trend of the summer precipitation sum in the period 1971-2006 according to the average 1971-2006.

POTENCIALNA EVAPOTRANSPIRACIJA IN VODNA BILANCA

Odstopanje povprečnih vrednosti potencialne evapotranspiracije v obdobju 1991-2007 glede na obdobje 1961-1990 je ponekod celo 50 odstotno, kar je povsem izven naših predstav. Poleg tega se poleti potencialna evapotranspiracija povečuje prav povsod in ni odstopanje nikjer manjše od 15 odstotkov.

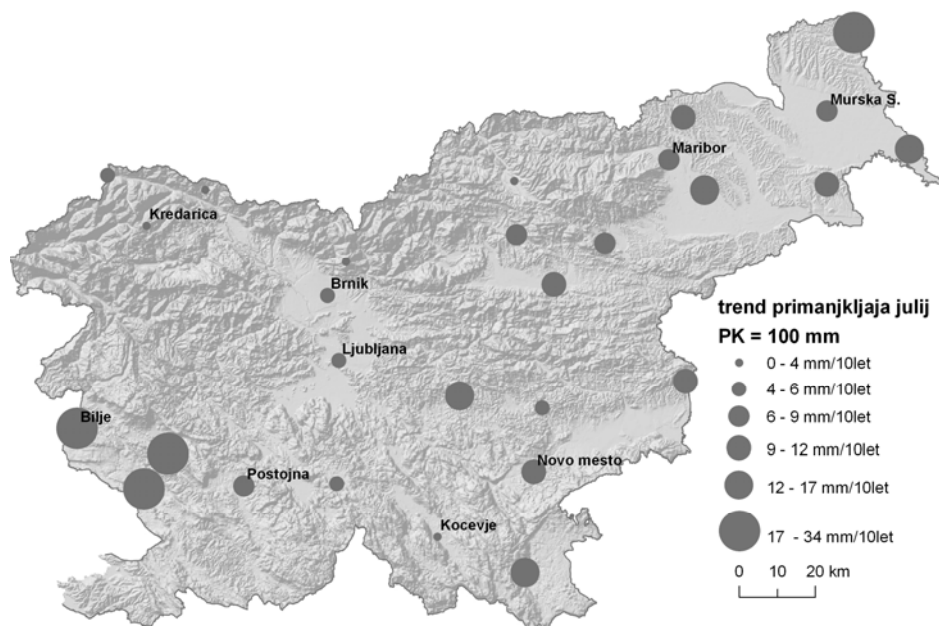
Po vseh lokacijah imamo v obdobju 1971-2006 precej izrazito naraščujoče trende, od 5 odstotkov na 10 let pa do skoraj 30 odstotkov na 10 let.

Povečevanje evapotranspiracije povzroča večje izsuševanje tal, kar je posebej problematično na Goriškem pa tudi v Podravju in Pomurju. Pozitivni

trendi so opazni tudi v vseh ostalih letnih časih, a so precej nižji.

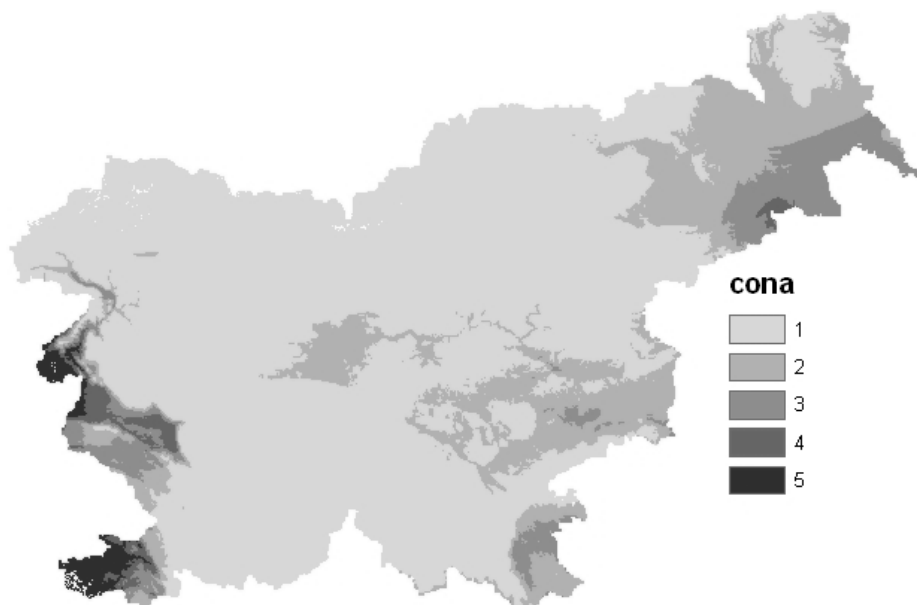
Skupni učinek padavin in potencialne evapotranspiracije nam predstavljata vodno bilanco, ki nam da jasnejšo informacijo o stanju po Sloveniji.

Julija (Slika 6) so vrednosti trendov najvišje. Tako imamo v Goriški in Obalno-kraški regiji trend do 30 mm na 10 let, prav tako tudi na skrajnem severovzhodu. Tako v večini osrednje Slovenije kot tudi na Gorenjskem in Koroškem ostaja vodna bilanca skozi obdobje 1971-2006 bolj ali manj nespremenjena. Karte za različna tla so bile skoraj identične, torej je vpliv večje poljske kapacitete v najbolj sušnem mesecu praktično zanemarljiv.



Slika 6: Absolutni trend spreminjanja julijskega primanjkljaja vode v tleh v obdobju 1971-2006 za tla s poljsko kapaciteto 100 mm.

Figure 6: Absolute trend of water deficit in July in the period 1971-2006 for the soil with 100 mm field capacity.



Slika 7: Klasifikacija Slovenije po povprečnih vrednostih Winklerjevega indeksa v obdobju 1961-1990.

Figure 7: The classification of Slovenia according to average Winkler index values in the period 1961-1990.

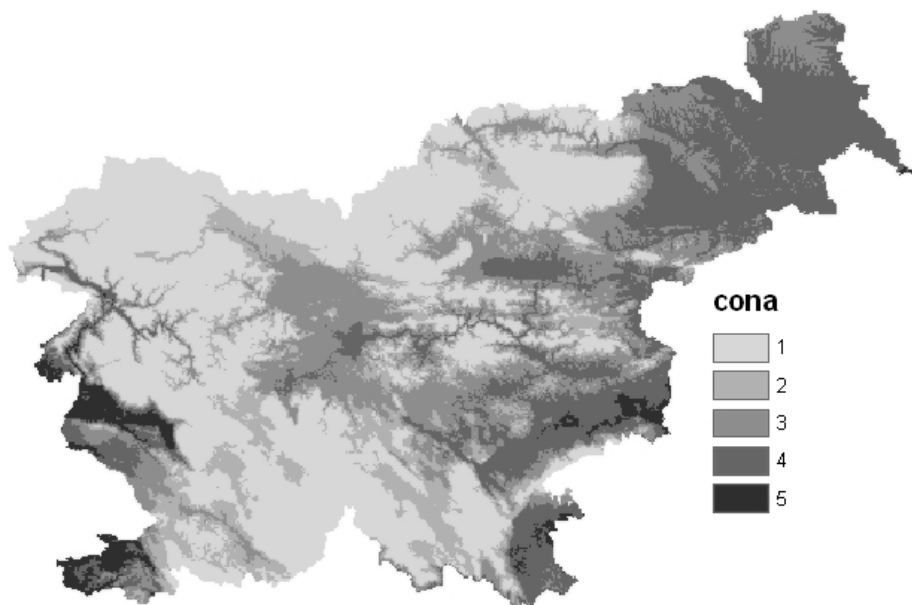
VINOGRADNIŠKI INDEKSI

Pri izračunih Winklerejevega indeksa že povprečno povišanje temperatur zraka za 0,5 °C skoraj vedno prinese prerazporeditev v višjo cono.

Slika 7 predstavlja klasifikacijo Slovenije glede na povprečen Winklerjev indeks za obdobje 1961-1990. Skoraj celotna Slovenija se uvršča v 1. cono, v 5. cono se uvrščajo najbolj zahodne lokacije, v vmesne cone pa pretežno jugozahodna in severovzhodna Slovenija (delno tudi jugovzhodna in osrednja), kjer je

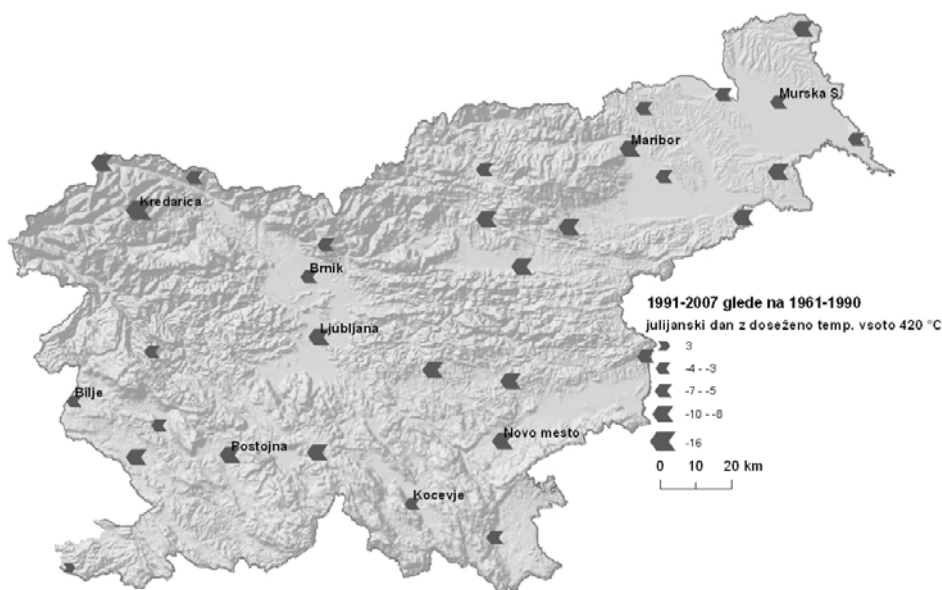
vinogradništvo tudi najbolj razširjeno. Slika 8 pa prikazuje, kakšna je bila nova razporeditev v cone v

obdobju 1991-2007. S povečevanjem temperature zraka se višje cone širijo v notranjost države.



Slika 8: Klasifikacijo Slovenije po povprečnih vrednostih Winklerjevega indeksa v obdobju 1991-2007.

Figure 8: The classification of Slovenia according to average Winkler index values in the period 1991-2007.



Slika 9: Spremembe povprečnega zaporednega dne v letu, ko v povprečju nastopi fenološka faza cvetenja pri domači češplji, za obdobje 1991-2007 glede na 1961-1990.

Figure 9: Changes in average Julian day of flowering of plum tree for the period 1991-2007 according to 1961-1990.

Huglinov indeks je v obdobju 1991-2007 glede na referenčno obdobje 1961-1990 že višji za približno 200 do 250 °C, kar na več lokacijah že prinese uvrstitev v

višji razred vinogradniške klime. Najmanjše so opažene spremembe na Vojskem in Brniku, največje pa v Bizeljskem in Murski Soboti.

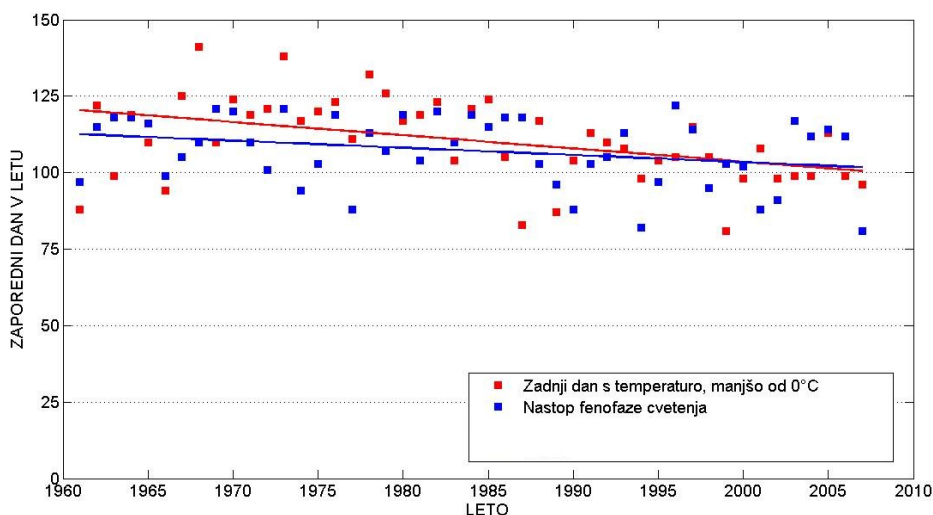
POZEBA

Višanje temperatur zraka prinaša tudi časovne premike doseganja določenih temperaturnih pragov. Največji trend premikanja zadnjega dne spomladi s pojavom minimalne temperature pod 0 °C v koledarskem letu nazaj imajo Veliki Dolenci in Brnik (-6 dni / 10 let), najmanjši pa Kredarica, Slap in Črnomelj (pod -1 dan / 10 let). V 40-ih letih prinesejo taki trendi že zelo očitne spremembe, tako da se v nekaterih krajih lahko v povprečju zadnjič pojavijo negativne temperature že zelo zgodaj v koledarskem letu.

Izračunali smo tudi zaporedne (julijanske) dni v letu, ko nastopi fenološka faza cvetenja pri domači češplji (vsota aktivnih temperatur doseže 420 °C). V obdobju 1961-1990 je cvetenje v večini Slovenije (od osrednje do severvzhodne) nastopilo v mesecu aprilu (med dnevnoma 91 in 112), zelo pozno je vsota dosežena v hribovitih

predelih, zgodaj pa v jugozahodni in zahodni Sloveniji. Spremembe v obdobju 1991-2007 glede na 1961-1990 so predstavljene na karti (Slika 9). Razlike so že sedaj tedenske ali še večje, z nadaljnjim segrevanjem pa lahko pričakujemo tudi 20 ali več dni hitrejši nastop cvetenja domače češplje.

Zanimajo nas pozebe po nastopu fenološke faze cvetenja. Pomemben določitelj pozebe je zadnji dan spomladi, ko minimalne temperature padejo pod 0 °C. Slika 10 nam prikazuje graf za zadnji dan spomladi, ko je minimalna temperatura padla pod 0 °C, ter za zaporedni dan v letu, ko je nastopila fenofaza cvetenja domače češplje. Fenološki razvoj rastline se zaradi višjih povprečnih temperatur začneja vse bolj zgodaj. To seveda pomeni, da cvetenje pomika v obdobje, ko je nevarnost prodorov hladnega zraka in s tem pozebe višja.



Slika 10: Zaporedni dan v letu, ko minimalna temperatura (spomladi) zadnjič pade pod 0 °C (*svetlo*) ter zaporedni dan v letu, ko nastopi fenofaza cvetenja (*temno*) v Murski Soboti.

Figure 10: Julian day on which the minimum temperature falls the last time in the spring under 0 °C (*bright*) and julian day on which flowering begins (*dark*) for Murska Sobota.

4 SKLEPI

Agro-klimatske spremenljivke so se v obdobju 1991-2007 glede na obdobje 1961-1990 v večini že zaznavno spremenile, kar postaja bistvenega pomena predvsem za kmetijstvo. Že opažene spremembe nam dajejo potrditev, da so tudi napovedi po različnih scenarijih podnebnih sprememb upravičene.

Povprečne dnevne temperature zraka so se že izrazito povečale, nekoliko bolj in lokacijsko bolj raznoliko so se povečale povprečne minimalne temperature zraka ter

še malenkost več povprečne maksimalne temperature zraka.

S segrevanjem se spreminjajo tudi ostale spremenljivke, vezane na temperaturo. Število vročih in toplih dni se povečuje, število hladnih dni pa zmanjšuje, kar ima pomemben vpliv na fenološki razvoj rastlin. Večinoma se je bolj povečalo število toplih dni – za do 24 dni, število vročih dni pa za do 18.

Pri padavinah so v obdobju 1971-2006 opaženi trendi pozimi drugačni od napovedi, po katerih naj bi bili pozitivni, a so v večini Slovenije močno negativni, kar velja tudi za spomladanske in poletne trende. Le pri jesenskih padavinah se kažejo pozitivni trendi.

Pri potencialni evapotranspiraciji zasledimo med letoma 1971 in 2006 izrazito naraščajoče trende - od 5 pa do skoraj 30 odstotkov na 10 let.

Najbolj kritičen del vegetacijskega obdobja je julij, ko se nam primanjkljaj vode v tleh že sedaj precej izrazito povečuje. To ima največje posledice na Goriškem, Primorskem in v Prekmurju.

Po Winklerjevem indeksu za obdobje 1961-1990 se skoraj celotna Slovenija uvršča v 1. cono, v 5. cono se uvrščajo le najbolj zahodne lokacije. S povečevanjem temperature zraka se višje cone širijo v notranjost države. V obdobju 1991-2007 je glede na referenčno obdobje 1961-1990 Huglinov indeks že višji za približno 200 do 250 °C. Ob dodatnem segrevanju pričakujemo celo uvrstitev Slovenije za dva razreda višje.

Pri obravnavanju pozebe so spremembe vezane na minimalno temperaturo, saj so od nje odvisne poškodbe na cvetnih brstih v različnih razvojnih fazah. Verjetnost za pojavljanje minimalne temperature, nižje od 0 °C, se večinoma niža. Pas večjega trenda premikanja

zaporednega dne, ko se še pojavi negativna minimalna temperatura, po koledarskem letu nazaj, poteka nekako od jugozahoda do severovzhoda Slovenije. Največji trend je -6 dni / 10 let. Pri primerjavi izračunov za obdobji 1961-1990 in 1991-2007 zaporednega (julijanskega) dne v letu, ko nastopi fenološka faza cvetenja pri domači češplji, so razlike tedenske ali še večje.

Regionalni scenariji podnebnih sprememb za Slovenijo kažejo na dvig temperature zraka (Bergant, 2003, Kajfež-Bogataj in Bergant 2005). Velikost temperaturnih sprememb je zelo odvisna od izbranega scenarija izpustov. V obdobju od leta 2001 do 2030 se bodo v Sloveniji temperature zraka predvidoma povečale za 0,5 do 2,5 °C. Količina padavin poleti se bo lahko zmanjšala za do 20 odstotkov. Opisane spremembe nas zato spodbujajo k razmišljanju o možnih prilagoditvah v kmetijstvu, ki bodo vsekakor potrebne. Poleg tega pa so nujne tudi nadaljnje raziskave v tej smeri, saj dosedanji izračuni predstavljajo le osnovo. Kot smo že omenili, sta obstoječi klimatološka in fenološka mreža postaj za natančnejšo analizo prostorskih značilnosti agroklimatskih spremenljivk premalo gosti. Glede na izračunane kazalce sprememb, ki zahtevajo kompleksno obravnavo, še enkrat opozarjamo, da bi se moralo za kakovostne klimatološke analize število klimatoloških postaj vsaj podvojiti.

5 LITERATURA

- Arhiv meteoroloških podatkov Agencije republike Slovenije za okolje. 2008. Podatki za obdobje 1961-2007. Ljubljana, Agencija republike Slovenije za okolje (izpis iz baze podatkov).
- ARSO, 2006. Agencija Republike Slovenije za okolje http://www.arso.gov.si/podro~cja/vreme_in_podnebje/podnebje/.
- Bergant, K., 2003. Projekcije simulacij globalne klime na lokalni nivo in njihova uporaba v agrometeorologiji. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo. 170 str.
- Cressie, N. A. C. 1993. Statistics for spatial data. Wiley series in probability and mathematical statistics. Applied probability and statistics section. Str. 211 – 275.
- Črepinšek, Z. in Kajfež-Bogataj, L. 2003. Spring phenological trends in Slovenia. *Ann. Ser. hist. nat.*, 13 (1): 57-64.
- Črepinšek, Z., Kajfež-Bogataj, L. in Bergant, K. 2006. Modelling of weather variability effect on fitophenology. *Ecol. model.*, 194 (1-3): 256-265.
- Črepinšek, Z., Solar, M., Štampar, F. in Solar, A. Shifts in walnut (*Juglans regia* L.) phenology due to increasing temperatures in Slovenia. *The journal of horticultural science & biotechnology*, 84 (1): 59-64.
- Huglin, P. 1986. Biologie et écologie de la vigne. Paris, Editions Payot Lausanne: 372 str.
- Kajfež-Bogataj, L., Bergant, K., 2005. Podnebne spremembe v Sloveniji in suša. *Ujma* (19): 37-41.
- Kajfež-Bogataj, L., Bergant, K., 2005. Kakšno bo podnebje v Sloveniji v tem stoletju? *Ujma* (19): 218-223.
- Kajfež-Bogataj, L., Bergant, K., 2005. Podnebne spremembe v Sloveniji in suša = Climate change and drought in Slovenia. *Ujma* (Ljublj.), 2005, št. 19, str. 37-41.
- Kurnik, B. 2002. Primerjava različnih metod za izračun referenčne evapotranspiracije v Sloveniji. Diplomsko delo. FMF, Univerza v Ljubljani. 66 str.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M. in Wanner, H., 2004. European seasonal and annual temperature variability. Trends and extremes since 1500. *Science* 303, pp. 1499–1503.
- Riou, C. 1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucres dans la communauté européenne. 319 pp. Office des

- Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg.
- Schonwiese, C.D. in Rapp, J., 1997. Climate trend atlas of Europe. Kluwer Academic publishers, 228 str..
- Simončič, P., Kobler, A., Kranjc, N., Medved, M., Torelli, N. in Robek, R., 2001. Podnebne spremembe in slovenski gozdovi, Gozdarski vestnik 59, Ljubljana, s. 184-202
- Sušnik, A., Kajfež-Bogataj, L., Bergant, K., Cegnar, T., Črepinšek, Z., Gregorič, G., Rogelj, D. in Žust, A. 2006. Climate change: it is not too late if farmers act now. Ljubljana, Environmental Agency of the Republic of Slovenia, 40 str.
- Sušnik, A., Kajfež-Bogataj, L. in Kurnik, B. 2005. GIS assessment of climate warming impact on wine growing regions distribution in Slovenia. Ljubljana. Predstavitev za 'Workshop on climatic analysis and mapping for agriculture', Bologna, Italija.