

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Gal OBLIŠAR

**SPREMENLJIVOST AGROMETEOROLOŠKIH
PARAMETROV V SLOVENIJI V OBDOBJU
1951–2013**

MAGISTRSKO DELO

Magistrski študij–2. stopnja

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Gal OBLIŠAR

**SPREMENLJIVOST AGROMETEOROLOŠKIH PARAMETROV V
SLOVENIJI V OBDOBJU 1951–2013**

MAGISTRSKO DELO
Magistrski študij – 2. stopnja

**VARIABILITY OF AGROMETEOROLOGICAL PARAMETERS IN
SLOVENIA DURING THE PERIOD 1951–2013**

M. SC. THESIS
Master Study Programmes

Ljubljana, 2016

Magistrsko delo je zaključek magistrskega študijskega programa 2. stopnje Agronomija. Delo je bilo opravljeno na Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora ter ekonomiko in razvoj podeželja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorico magistrskega dela imenovala prof. dr. Lučko KAJFEŽ-BOGATAJ.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Zlata LUTHAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Lučka KAJFEŽ-BOGATAJ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Zalika ČREPINŠEK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Magistrsko delo je rezultat lastnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svojega magistrskega dela na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddal v elektronski obliki, identično tiskani verziji. Na univerzo neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Gal Oblišar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du2
DK	UDK 551.583:551.586 "1951–2013" (497.4)(043.2)
KG	podnebne spremembe/ agrometeorologija/ povprečja/ variabilnost/ Slovenija
AV	OBLIŠAR, Gal
SA	KAJFEŽ BOGATAJ, Lučka (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2016
IN	SPREMENLJIVOST AGROMETEOROLOŠKIH PARAMETROV V SLOVENIJI V OBDOBJU 1951–2013
TD	Magistrsko delo (magistrski študij – 2. stopnja)
OP	XII, 52 str., 8 pregl., 37 sl., 52 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Kmetijstvo je gospodarska panoga, ki v trenutni obliki večinoma poteka na prostem in je zato vsekakor povezana s podnebjem, v katerem se nahaja. Zaradi antropogenih vplivov na podnebje in posledičnih podnebnih sprememb se bo kmetijstvo prisiljeno nanje tudi prilagoditi. V magistrski nalogi je predstavljen aspekt podnebnih sprememb in njihov vpliv na kmetijsko pridelavo. Glavni namen magistrskega dela je bilo ovrednotenje sprememb agrometeoroloških spremenljivk v obdobju 1951–2013. Izbrani agrometeorološki parametri so bili povprečne, najvišje in najnižje dnevne temperature, vegetacijska doba in temperaturne vsote pri dveh temperaturnih pragovih, in sicer 5 °C in 10 °C, primerjava variabilnosti padavinskih vzorcev z uporabo SPI indeksa v 1 in 6 zaporednih mesecih ter frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur. Vse spremenljivke smo obravnavali za deset meteoroloških postaj, ki so enakomerno porazdeljene na področju Slovenije. Nize meritev pa smo razdelili v dve dolgoletni obdobji, in sicer 1951–1980 in 1981–2013 ter jih med seboj primerjali. Med obema preučevanima obdobjema smo ugotovili statistično značilne spremembe v večini preučevanih spremenljivk. Povprečna temperatura v Sloveniji se je v obdobju 1981–2013, glede na obdobje pred tem, zvišala za 1 °C, podobne spremembe smo opazili tudi pri najvišjih in najnižjih temperaturah. Ugotovljeno je bilo povečanje variabilnosti razporeditve povprečnih temperatur, ki je najvišje v vzhodnem delu Slovenije, najnižje pa v krajih ob morju. Zaznali smo podaljšanje vegetacijske dobe in povečanje temperaturnih vsot pri različnih temperaturnih pragovih. Vegetacijska doba se v Sloveniji podaljšuje s trendom med 1 in 8 dnevi v desetletju. Zaznali smo tudi povečanje variabilnosti padavinskih vzorcev po vsej Sloveniji razen na severu države.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Du2
DC UDC 551.583:551.586 "1951–2013" (497.4)(043.2)
CX climate change / agrometeorology/ average/ variability/ Slovenia
AU OBLIŠAR, Gal
AA KAJFEŽ BOGATAJ, Lučka (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2016
TY VARIABILITY OF AGROMETEOROLOGICAL PARAMETERS IN SLOVENIA DURING THE PERIOD 1951 – 2013
DT M. Sc. Thesis (Master Study Programmes)
NO XII, 52 p., 8 tab., 37 fig., 52 ref.
LA sl
Al sl/en
AB Agriculture is an economic branch currently executed mostly outdoors and therefore undoubtedly connected with climate, which it is situated in. Due to anthropogenic influences on climate and subsequent climatic changes the agriculture will be forced to its adaptation. My dissertation presents an aspect of climatic changes and their influence on agricultural production. The main goal of the thesis was an evaluation of changes in agrometeorological variables between 1951 and 2013. The chosen agrometeorological parameters were the average, the maximal and the minimal temperatures, the vegetation period and the sums of temperatures above two temperature thresholds 5 °C and 10 °C, the comparison of variability in precipitation samples by the use of SPI index in the time period of 1 and 6 consecutive months and frequency distribution of average temperatures. All variables were calculated for ten meteorological stations that are evenly distributed in the region of Slovenia. The series of measurements were divided into two long-term periods: 1951 to 1980 and 1981 to 2013 and compared them with each other. In the majority of studied variables, we have established statistically significant changes between the two periods. In the period between 1981 and 2013, an average temperature in Slovenia had risen for 1 °C according to the period before. We have also noticed the similar changes in minimal and maximal temperatures. We established the increase of variability in arrangement of average temperature, that is the highest in the eastern part of Slovenia and the lowest in the places at the seaside. We have perceived the extension of vegetation period and the sums of temperatures at different thresholds temperatures. The vegetation period in Slovenia has been extending with a trend between 1 and 8 days per decade. We have also perceived the increase of variability of precipitation samples in the whole area of Slovenia except in the north.

KAZALO VSEBINE

	KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
	KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
	KAZALO VSEBINE	V
	KAZALO PEGLEDNIC	VII
	KAZALO SLIK	VIII
	SEZNAM OKRAJŠAV	XII
1	UVOD	1
1.1	POVOD IN NAMEN NALOGE	1
1.2	DELOVNE HIPOTEZE	2
2	PREGLED OBJAV	3
2.1	OSNOVNI POJMI	3
2.1.1	Agrometeorologija	3
2.1.2	Podnebje	3
2.2	FIZIKALNE IN KEMIJSKE LASTNOSTI ATMOSFERE	7
2.3	PODNEBJE V PRETEKLOSTI – PALEOKLIMATOLOŠKI POGOJI	8
2.4	ANTROPOGENI VPLIVI NA PODNEBJE	10
2.5	SPREMEMBE V PODNEBNEM SISTEMU	11
2.6	DODATNI NARAVNI PRITISKI NA PODNEBNI SISTEM	17
2.7	PODNEBJE V SLOVENIJI	17
2.8	PRIČAKOVANI PODNEBNI POGOJI NA OBMOČJU SLOVENIJE V PRIHODNOSTI	18
2.8.1	Projekt podnebna spremenljivost v Sloveniji	20
2.9	VPLIV SPREMENLJIVOSTI PODNEBJA NA KMETIJSTVO	22
3	MATERIAL IN METODE	26
3.1	PODATKI IN PROSTORSKA UMEŠTITEV	26
3.1.1	Primerjava povprečne, najvišje in najnižje letne temperature zraka	27
3.1.2	Dolžina vegetacijske dobe in temperaturne vsote	28
3.1.3	Variabilnost padavinskih vzorcev	28
3.1.4	Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur	29
3.2	UPORABLJENE STATISTIKE	29
3.2.1	Analiza časovne vrste	29

3.2.2	Analiza trenda	30
3.2.3	Frekvenčna porazdelitev	30
3.2.4	Okvir z ročaji	31
4	REZULTATI	32
4.1	POVPREČNE TEMPERATURE	32
4.1.1	Povprečne temperature zraka	32
4.1.2	Povprečne najvišje mesečne temperature zraka	32
4.1.3	Povprečne najnižje mesečne temperature zraka	33
4.2	DOLŽINA VEGETACIJSKE DOBE IN TEMPERATURNE VSOTE	34
4.2.1	Dolžina vegetacijske dobe in temperaturne vsote pri pragu 5 °C	34
4.2.2	Dolžina vegetacijske dobe in temperaturne vsote pri pragu 10 °C	34
4.3	VARIABILNOST PADAVINSKIH VZORCEV	35
4.3.1	Variabilnost mesečnih padavinskih vzorcev	35
4.3.2	Variabilnost padavinskih vzorcev v šestih zaporednih mesecih	36
4.4	FREKVENČNA PORAZDELITEV POVPREČNIH TEMPERATUR ZRAKA	37
4.5	FREKVENČNA PORAZDELITEV POVPREČNIH TEMPERATUR ZRAKA V VEGETACIJSKI DOBI (APRIL–SEPTEMBER)	39
5	RAZPRAVA	44
6	SKLEPI	47
7	POVZETEK	48
8	VIRI	49
	ZAHVALA	

KAZALO PEGLEDNIC

Preglednica 1:	Skupni seštevek dospele sončne energije na vrhu atmosfere pri različnih geografskih širinah v MJm^{-2} (Rakovec in Vrhovec, 2007)	7
Preglednica 2:	Trendi letnih padavin na različnih geografskih širinah v mm leto^{-1} (IPCC, 2013)	15
Preglednica 3:	Izbrane meteorološke postaje in njihova lega ter nadmorska višina (ARSO, 2015)	26
Preglednica 4:	Povprečne temperature zraka v $^{\circ}\text{C}$ na izbranih meteoroloških postajah v dveh izbranih obdobjih s trendom ter standardnim odklonom (σ v $^{\circ}\text{C}$).	32
Preglednica 5:	Vsota efektivnih temperatur in dolžina vegetacijske dobe s trendom ter standardnim odklonom pri temperaturnem pragu 5°C	34
Preglednica 6:	Vsota efektivnih temperatur in dolžina vegetacijske dobe s trendom ter standardnim odklonom pri temperaturnem pragu 10°C	35
Preglednica 7:	Povprečje, standardni odklon ter odstopanje obdobja 1981–2013 od 1951–1980 v povprečnih temperaturah zraka v vegetacijski dobi (april– september) za obravnavana mesta v %	41
Preglednica 8:	Povprečje, standardni odklon ter odstopanje obdobja 1981–2013 od 1951–1980 v povprečnih temperaturah zraka v meteorološkem poletju (junij, julij, avgust) za obravnavana mesta v %	43

KAZALO SLIK

Slika 1:	Dejavniki podnebne sistema (IPCC, 2013)	5
Slika 2:	Sestavni deli in prepletenost podnebne sistema (Dolinar, 2011)	6
Slika 3:	Spekter sončnega sevanja na vrhu atmosfere (črna), na površini Zemlje (črna) in 10 m pod površino oceanov (modra) (prirejeno po Gueymard, 2004)	7
Slika 4:	Energijska bilanca Zemlje v Wm^{-2} , z razponom negotovosti (Wild in sod., 2012)	8
Slika 5:	Spremembe temperatur, ogljikovega dioksida, metana in osončenosti na geografski širini 65° v zadnjih 420.000 letih po podatkih iz trajnega ledu na območju Vostoka, Rusija (Petit in sod., 2001)	9
Slika 6:	Antropogeni izpusti CO_2 v zadnjih 150 letih v gigatonah CO_2 na leto (IPCC, 2013)	10
Slika 7:	Sprememba koncentracije atmosferskega ogljikovega izotopa C^{13} v promilih (‰) v zadnjih 200 letih (Wei in sod., 2009)	11
Slika 8:	Sprememba koncentracije CO_2 , atmosferskega izotopa C^{13} in izotopa C^{13} iz koral v promilih (‰), v zadnjih 200 letih (Dassie, 2013)	11
Slika 9:	Sevalni prispevki energijski bilanci podnebne sistema med leti 1750–2011 v Wm^{-2} z mejami verjetnosti (IPCC, 2013)	12
Slika 10:	Povprečne temperature spodnje plasti troposfere v primerjavi s povprečno temperaturo spodnje plasti stratosfere v zadnjih 50 letih iz različnih podatkovnih baz (IPCC, 2013)	13
Slika 11:	Opazovane spremembe temperature površja Zemlje od 1880–2015 v $^\circ\text{C}$ (Hansen in sod., 2016)	14
Slika 12:	Opazovane spremembe v številu toplih noči in spremembe v številu toplih dni 1950–2013 (IPCC, 2013)	14
Slika 13:	Opazovane spremembe letnih padavin v obdobju 1951–2010 v mm leto^{-1} (IPCC, 2013)	15
Slika 14:	Akumulacija energije v oceanih od 1955–2015, v globinah 0–700 m (levi graf) in v globinah 0–2000 m (desni graf) (NOAA NCEI, 2016)	16
Slika 15:	Sprememba v povprečni površini trajno zamrznjenega ledu na severni in južni hemisferi v 10^6 km^2 in % ter povprečna smer in hitrost premikanja ledenih plošč na teh območjih (IPCC, 2013)	16
Slika 16:	Spremembe temperatur v poletnih mesecih za obdobje 2046–2065 glede na povprečne temperature 1986–2005 na območju Evrope na podlagi srednjega emisijskega scenarija za 25, 50 in 75 percentil večmodelne porazdelitve (IPCC, 2013)	18
Slika 17:	Spremembe temperatur v zimskih mesecih za obdobje 2046–2065 glede na povprečne temperature 1986–2005 na območju Evrope na podlagi	

	srednjega emisijskega scenarija za 25, 50 in 75 percentil večmodelne porazdelitve (IPCC, 2013)	19
Slika 18:	Spremembe padavin v poletnih mesecih za obdobje 2046–2065 glede na povprečno količino padavin 1986–2005 na območju Evrope na podlagi srednjega emisijskega scenarija za 25, 50 in 75 percentil večmodelne porazdelitve (IPCC, 2013)	19
Slika 19:	Spremembe padavin v zimskih mesecih za obdobje 2046–2065 glede na povprečno količino padavin 1986–2005 na območju Evrope na podlagi srednjega emisijskega scenarija za 25, 50 in 75 percentil večmodelne porazdelitve (IPCC, 2013)	19
Slika 20:	Sprememba števila vročinskih valov med leti 2071–2100 pri srednjem (levo) in višjem (desno) emisijskem scenariju glede na povprečje v obdobju 1971–2005 (IPCC, 2013)	20
Slika 21:	Sprememba deleža ekstremnih padavinskih dogodkov (%) med leti 2071–2100 pri srednjem (levo) in višjem (desno) emisijskem scenariju glede na povprečje v obdobju 1971–2005 (IPCC, 2013)	20
Slika 22:	Odstopanje povprečne temperature obdobja 2021–2050 v primerjavi s povprečjem obdobja 1961–1990 (ARSO. Projekt PSS, 2015)	21
Slika 23:	Odstopanje povprečnih padavin obdobja 2021–2050 v primerjavi s povprečjem obdobja 1961–1990 (ARSO. Projekt PSS, 2015)	21
Slika 24:	Spremembe v času začetka cvetenja ozimne pšenice (1985–2014) v dnevih na leto (Olesen, 2016)	23
Slika 25:	Spremembe v številu dni brez slane (1985–2014) v dnevih na leto (Olesen, 2016)	24
Slika 26:	Pridelek pšenice in pire ter koruze za zrnje v Sloveniji za obdobje 2004–2014 (t/ha) (SURs, 2015)	24
Slika 27:	Spremembe vodnega primankljaja na primeru koruze za zrnje v letih 1985–2014 (Olesen, 2016)	25
Slika 28:	Lega izbranih meteoroloških postaj v Sloveniji	26
Slika 29:	Shematični prikaz učinka spremembe podnebja (prirejeno po IPCC, 2013)	29
Slika 30:	Shematični prikaz okvirja z ročaji	31
Slika 31:	Okvirji z ročaji za obravnavane lokacije, ki predstavljajo porazdelitev mesečnih najvišjih temperatur zraka (°C) za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni)	33
Slika 32:	Okvirji z ročaji za obravnavane lokacije, ki predstavljajo porazdelitev mesečnih najnižjih temperatur zraka (°C) za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni)	33
Slika 33:	Okvirji z ročaji za mesečni standardiziran padavinski indeks – SPI1 za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni)	36

Slika 34:	Okvirji z ročaji za standardizirani padavinski indeks v 6 zaporednih mesecih – SPI6 za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni)	36
Slika 35:	Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur za obravnavana mesta za obdobji 1951–1980 (rdeča) in 1981–2013 (črtkana)	38
Slika 36:	Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur v vegetacijski dobi (april–september) za obravnavana mesta za obdobji 1951–1980 (rdeča) in 1981–2013 (črtkana)	40
Slika 37:	Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur v meteorološkem poletju (junij, julij, avgust) za obravnavana mesta za obdobji 1951–1980 (rdeča) in 1981–2013 (črtkana)	43

SEZNAM OKRAJŠAV

Okrajšava	Pomen
Ar	Argon
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
C ¹²	Ogljikov izotop 12
C ¹³	Ogljikov izotop 13
CFC	Klorofluoroogljikovodiki (tudi freoni)
CH ₄	Metan
CO ₂	Ogljikov dioksid
EGDD	Effective growing degree day – Temperaturna vsota nad temperaturo praga
FAO	Organizacija Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change – Medvladni odbor za podnebne spremembe
N	Število vseh enot v populaciji
N ₂	Dušik
N ₂ O	Didušikov oksid
NDMC	National Drought Mitigation Center – Nacionalni center za sušo, Lincoln, Nevada, ZDA
O ₂	Kisik
O ₃	Ozon
p(x)	Gostota verjetnosti za normalno porazdelitev
ppm	Parts per milion- število delcev na milijon delov
ppb	Parts per billion – število delcev na milijardo delov
R	Koeficient determinacije

r	Koeficient korelacije
SURS	Statistični urad Republike Slovenije
Tmp	Povprečna mesečna temperatura zraka
Tlp	Povprečna letna temperatura zraka
Tdp	Povprečna dnevna temperatura zraka
Tmax	Najvišja dnevna temperatura zraka
Tmin	Najnižja dnevna temperatura zraka
σ	Standardni odklon
$\bar{x}$	Povprečje

1 UVOD

1.1 POVOD IN NAMEN NALOGE

Kmetijstvo je gospodarska panoga, ki večinoma poteka na prostem in je zato nepreklicno povezana s podnebjem, v katerem se nahaja. Sedem milijard ljudi na svetu je odvisnih od kmetijskega sektorja, ki jim zagotavlja hrano, oblačila in pomembne vstopne surovine za nekaj ostalih dejavnosti. Zaradi tehnološkega napredka v zadnjih 200 letih so ljudje začeli z izpusti toplogrednih plinov in drugimi pritiski na naravna okolja dokazano vplivati na sestavo atmosfere in posledično spreminjati podnebje na Zemlji, to pa bo imelo vpliv tudi na kmetijsko proizvodnjo (Kumar Singh, 2012).

Zaradi spremenjenih dejavnikov kot so temperatura zraka in tal, zračna vlaga, količina in frekvenca padavin ter sončno obsevanje, se bo kmetijstvo na večini svetovnih področjih prisiljeno prilagoditi. Vpliv podnebnih sprememb na kmetijstvo bo na različnih področjih na zemlji različen. Če se omejimo na Evropo, bodo na severu-vzhodu pogoji za kmetijstvo zaradi višjih temperatur in večjih količin padavin boljši, na področju Sredozemskega morja pa bistveno slabši zaradi previsokih temperatur in manjše količine padavin. Te razlike pa bi lahko povzročile različne napetosti med severom in jugom Evrope. Spremembe podnebja so že danes očitne in niso predmet neke daljnje prihodnosti, njihov vpliv na kmetijsko pridelavo pa se bo z nadaljnjim naraščanjem toplogrednih plinov v atmosferi povečeval (Kajfež - Bogataj, 2008). Zaradi nelinearnih trendov podnebnih sprememb in občutljivosti ekosistemov nanje imajo lahko že male spremembe v temperaturi velike posledice, zato so ovrednotenja vplivov in prilagajanja novim pogojem v kmetijstvu smiselna (Črepinšek in sod., 2006).

Koncentracija ogljikovega dioksida (CO_2) v atmosferi je iz predindustrijske ravni 280 ppm v današnjem času narasla na povprečno 400 ppm. V tem obdobju pa so se povečale tudi koncentracije drugih toplogrednih plinov kot so dušikovi oksidi (NO_x), metan (CH_4) in troposferski ozon (O_3). Med tem pa so se koncentracije CFC-jev (kloro-fluoro ogljikovodikov), močnih toplogrednih plinov in katalizatorjev razgradnje ozona v višjih plasteh atmosfere, po pričetku veljave Montrealskega protokola v letu 1989 ustalile (IPCC, 2007).

Tudi v Sloveniji, majhni deželi Srednje Evrope, razpeti med Alpe, Jadransko morje in Panonsko nižino, pričakujemo spremembe podnebja, ki bodo podobne kot v srednji Evropi, in sicer bolj vroča poletja z manj padavinami ter milejše zime, višek padavin pa se bo prestavil v jesenski čas. V današnjem času so že opazni trendi bolj zelenih zim, pogostejših suš, daljših vegetacijskih obdobj ter intenzivnejših in pogostejših vročinskih valov.

V nalogi bomo tako ovrednotili spremembe nekaterih agrometeoroloških spremenljivk v obdobju 1951–2013.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

Zemlja se je v obdobju 1880–2015 ogrela za $0,85 \pm 0,2$ °C, pri tem je temperatura zraka najbolj naraščala v zadnjih 50. letih, in sicer povprečno kar 0,13 °C na desetletje, kar pa kaže tudi na trend pospeševanja ogrevanja podnebja na Zemlji. Na svetovnem nivoju se je v tem obdobju količina padavin povečala, vendar je regionalna razporeditev padavin različna. Zaradi posledic višje vlažnosti zraka je opazen tudi trend večanja pogostosti obilnih padavinskih dogodkov (IPCC, 2013).

Na osnovi pregledane literature smo postavili pet delovnih hipotez:

Predpostavljamo:

- Podnebje se je tudi na področju Slovenije v zadnjih desetletjih spremenilo.
- Povprečne mesečne temperature zraka so se povišale.
- Vsota efektivnih temperatur zraka pri temperaturnih pragovih 5 °C in 10 °C se je zvišala, prav tako se je podaljšala vegetacijska doba.
- Časovna razporeditev padavin se je spremenila.
- Podnebne razmere za kmetijstvo so se v Sloveniji poslabšale.

2 PREGLED OBJAV

2.1 OSNOVNI POJMI

2.1.1 Agrometeorologija

Agrometeorologija je interdisciplinarna veda, ki združuje znanosti meteorologije in agronomije. Preučuje sisteme medsebojne povezanosti med vremenom in kmetijskimi kulturami ter rastlinskimi boleznimi in škodljivci. Definirana je tudi kot znanost, ki preučuje meteorološke, klimatološke in hidrološke pogoje ter njihove interakcije v procesih kmetijske pridelave. Meteorologija je geofizikalna veda, ki se ukvarja s procesi in pojavi ter njihovimi interakcijami v atmosferi. Deli se na več disciplin, ena izmed njih je biometeorologija, ki preučuje interakcije med atmosferskimi procesi in živimi organizmi kot so rastline, živali in ljudje. Agrometeorologija je poddisciplina biometeorologije, v njeni domeni pa so predvsem interakcije med atmosferskimi procesi in rastlinami ter v nekaterih podvejah tudi živali (Hoppe, 2000).

Polje preučevanja agrometeorologije zajema zemeljsko površino tal do globine najglobljih korenin ter prizemno plast zraka do najvišjih plasti atmosfere. S svojimi specifičnimi pristopi poskuša kmetovalcem pomagati izboljšati produktivnost kmetijske pridelave, ozirajoč se na kvantiteto in kvaliteto proizvodnje. Veliko vlogo igra tudi pri vzpostavljanju trajnostne proizvodnje in zaščiti naravnih virov (Rijks in Baradas, 2000).

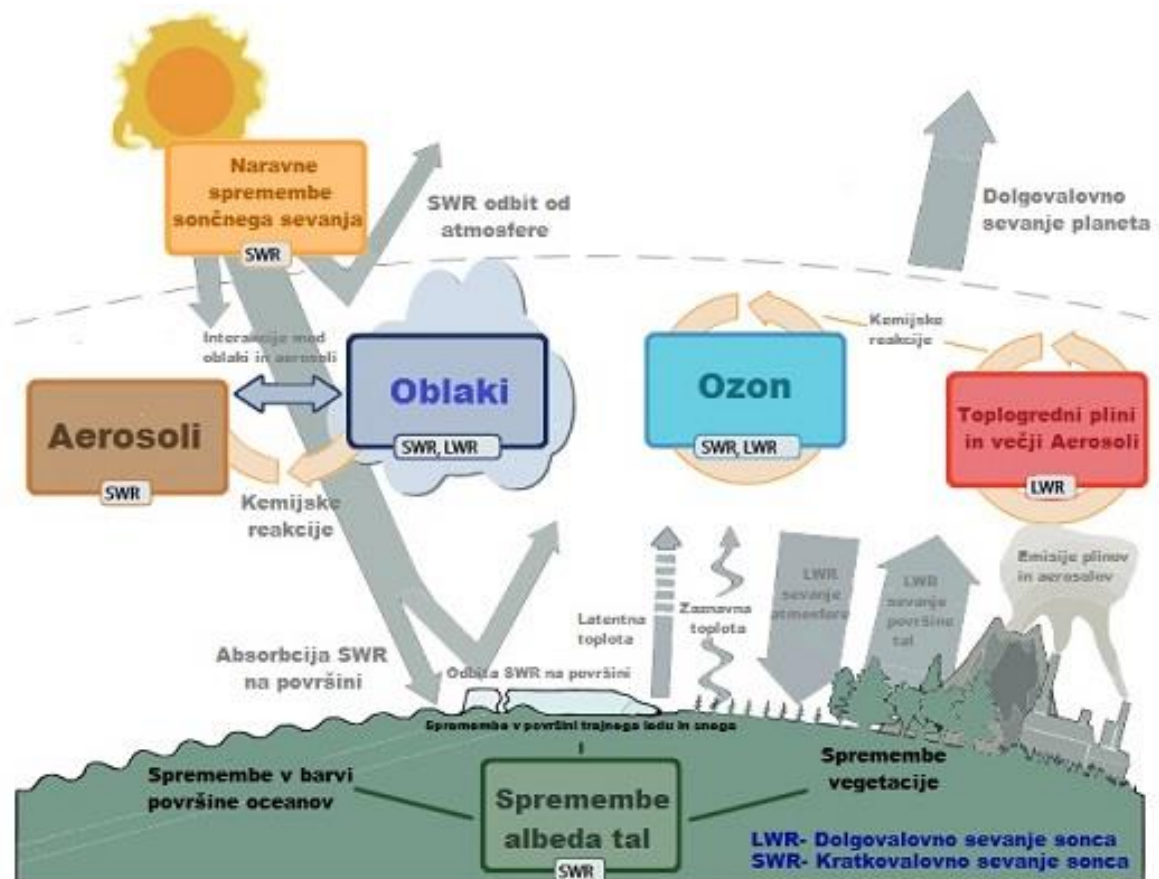
Interdisciplinarna narava agrometeorologije je njena največja prednost in hkrati največja slabost. Največja prednost je ta, da agrometeorologi razumejo interakcije med fizikalnim in biološkim svetom. Slabost pa v tem, da politična realnost ne dopušča agrometeorologiji, da bi bila v celoti sprejeta in cenjena v tradicionalnih krogih fizikalnih in bioloških znanosti (Hollinger, 1994).

2.1.2 Podnebje

Podnebje opredeljujejo atmosferska stanja in značilnosti vremena nad nekim geografskim območjem v daljšem časovnem obdobju, praviloma 30 let, skupaj s pogostostjo pojavljanja tipičnih vremenskih stanj in s sezonskimi spremembami. Razlika med vremenom in podnebjem določenega območja je v časovnem intervalu opazovanja. Vreme lahko opišemo s fizikalnimi spremenljivkami atmosfere in je povezano z vremenskimi sistemi kot so območja nizkega in visokega zračnega tlaka, frontalna območja, intertropska konvergenčna območja itd. Na splošno povzročajo raznolikost podnebja na globalnem nivoju predvsem količina sončnega sevanja, ki je odvisna od geografske širine, vrtenja Zemlje, ter razporeditve kopnega in morja. Podnebja na nekem območju ne predstavljajo zgolj povprečja meteoroloških elementov, ampak tudi njihova variabilnost, ekstremi, periodičnost odstopanj in podobno. V jeziku statistike bi lahko podnebje nekega območja opisali s porazdelitvami vseh vremenskih dejavnikov in časovnim spreminjanjem teh porazdelitev (Rakovec in Vrhovec, 2007).

Pri klasifikaciji svetovnega podnebja uporabljamo različne metode. Delimo jih na empirične metode, ki temeljijo na opazovanih značilnostih, generične metode, ki temeljijo na vzrokih za nastanek podnebja, in na uporabniške metode, ki so narejene kot posledica določenega problema, povezanega s podnebjem. Najbolj znana empirična metoda je Köppen-ova klasifikacija, ki temelji na povprečni temperaturi in padavinah določenega območja in deli svetovno podnebje na pet skupin: tropsko, suho, zmerno toplo, kontinentalno in polarno podnebje. Vsaka glavna skupina je razdeljena še na podskupine, ki so določene glede na padavinski režim, stopnjo suše ali mraza, temperaturnega režima in ekstremov (Chen D. in Chen H., 2013).

Podnebni sistem je kompleksen, nelinearen in kaotičen splet različnih dejavnikov, variabilnosti teh dejavnikov, vseh njihovih interakcij ter zunanjih vplivov na te dejavnike (Slika 1). Glavni sestavni deli v podnebnem sistemu so ozračje (atmosfera), ledeni pokrovi (kriosfera), oceani in sladkovodne površine (hidrosfera), kopne površine (površje litosfere) in vegetacija (biosfera). Najpomembnejši zunanji dejavnik je Sonce, poleg njega pa na podnebje vplivajo še vulkanska in tektonska aktivnost (astenosfera), morebitni vplivi iz vesolja kot so neposredni kontakti s kometi, morebitno sevanje supernov v sistemu naše galaksije in izbruhi žarkov gama (Slika 2). V zadnjem času pa s svojimi vplivi v podnebni sistem vedno bolj posega tudi človek (antrosfera). Podnebni sistem teži k ravnovesju med posameznimi klimatskimi dejavniki, če se določen dejavnik spremeni, se spremenijo vsi ostali v različnih časovnih skalah. V tem procesu nastopajo tudi pozitivne in negativne povratne zanke, ki s svojim delovanjem podnebje grejejo ali ohlajajo. Primer pozitivne povratne zanke je dvig temperature zaradi določenega dejavnika na Zemlji, ki povzroči taljenje ledu na polih. Manjši obseg ledu zniža albedo tal ter povzroči dodatno segrevanje Zemlje. Primer negativne povratne zanke je dvig temperature površja Zemlje, ki posledično povzroči večje izhlapevanje vode in s tem več oblakov, ki imajo hladilni učinek na klimatski sistem. Seveda obe navedeni povratni zanki ne delujeta v istem obsegu in istih časovnih okvirih (IPCC, 2001).



Slika 1: Dejavniki podnebne sistema (IPCC, 2013)

Sestavni deli podnebne sistema

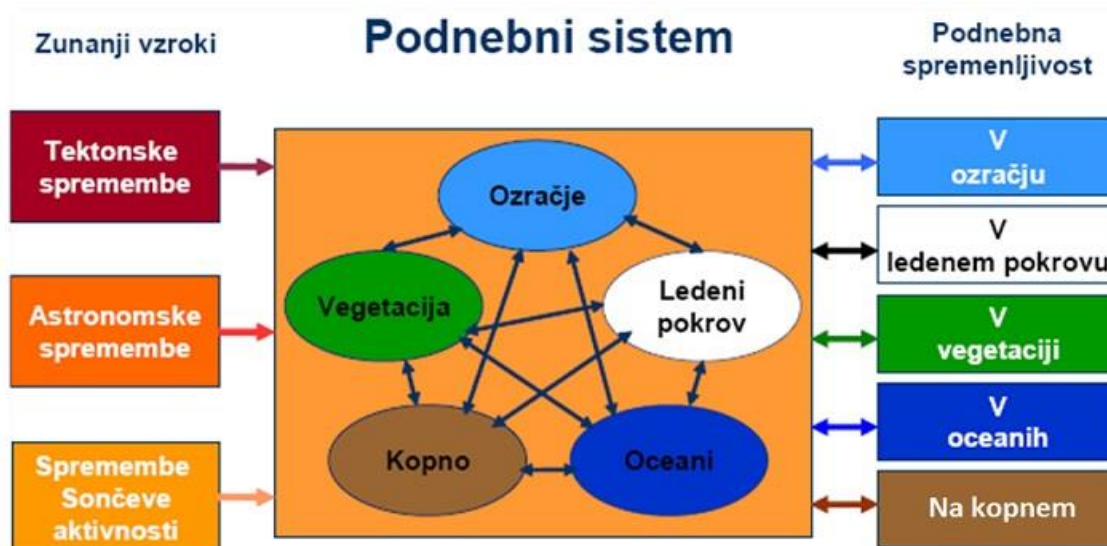
Ozračje je najbolj nestabilen in spremenljiv del podnebne sistema. Sestavljeno je iz dušika (N_2) 78,1 % volumnskega deleža, kisika (O_2) 20,9 % volumnskega deleža, argona (Ar) 0,93 % volumnskega deleža in ostalih plinov. Ogljikov dioksid (CO_2), metan (CH_4), didušikov oksid (N_2O) in ozon (O_3), ki skupaj predstavljajo manj kot 0,1 % volumnskega deleža, imajo poleg vodne pare in aerosolov neposreden regulacijski vpliv na toplotno bilanco atmosfere (Rakovec in Vrhovec, 2007).

Hidrosfera zajema vse vodne površine na planetu in predstavlja tekoči del podnebne sistema. Oceani in morja pokrivajo približno 70,8 % zemljinega površja in shranjujejo velike količine energije ($365 \times 10^{15} \text{ MJK}^{-1}$ – do globine 240 m) ter tako predstavljajo toplotne vztrajnike, ki preprečujejo prevelika toplotna nihanja. Toplotna kapaciteta oceanov je 70-krat večja od toplotne kapacitete atmosfere ($5,3 \times 10^{15} \text{ MJK}^{-1}$), tako da se posledično zelo počasi odzivajo na energijske spremembe podnebne sistema. Oceani v tokokrogih transportirajo velike količine energije predvsem iz tropskih delov proti poloma. Ta proces poganja predvsem razlika v zračnem tlaku, razlika v slanosti in temperaturi določenih območij ter je mnogo počasnejša kot atmosferska cirkulacija. Oceani shranjujejo tudi velike količine presežnega ogljikovega dioksida iz atmosfere, ki se v procesu spremeni

v ogljikovo kislino, kar povzroča zniževanje kislosti oceanske vode. V zadnjih 200 letih so shranili kar 25–30 % vseh antropogenih izpustov ogljikovega dioksida, pri tem pa se je kislost površinske vode znižala povprečno za 0,1 pH/ 100 let (Sabine in sod., 2004).

Kriosfera predstavlja vse trajno poledenele površine na Zemlji kot so Grenlandski ledeni pokrov, Antarktika, celinski ledeniki, morski led in permafrost. Te površine zelo dobro odbijajo sončno svetlobo oz. imajo velik albedo in nizko toplotno prevodnost ter tako ohranjajo polarne predele hladne. Pomembno vlogo imajo tudi pri vzorcih globokomorskih tokov. Celinski ledeni pokrovi so shranjevalniki vode in poleg toplotnega raztezka vode igrajo pomembno vlogo pri višini svetovnih oceanov.

Razporeditev vegetacije in kopnih površin vpliva na albedo tal ter posledično na podnebni sistem s količino odbite in absorbirane svetlobe. Pomembni lastnosti tal sta tudi toplotna kapaciteta ($2,4 \times 10^{15} \text{ MJK}^{-1}$ – do globine 10 m) in toplotna prevodnost. Toplotna kapaciteta tal ni velika in je odvisna predvsem od količine vode v njej, zato se kopne površine podnevi hitro segrevajo, ponoči pa hitro ohlajajo. Oblika in tekstura površine tal vpliva na cirkulacijo in turbulentne tokove v prizemni plasti zraka. Z vegetacijo poraščene površine v atmosfero evaporirajo vodo in s tem zgubljajo energijo, z neporaščenih površin pa lahko veter v atmosfero vnaša prašne delce, ki vplivajo na sevalno bilanco. Celinska in morska biosfera igrata osrednjo vlogo v ogljikovem ciklu. Celinski gozdovi pa so velik shranjevalnik atmosferskega ogljikovega dioksida (IPCC, 2001).



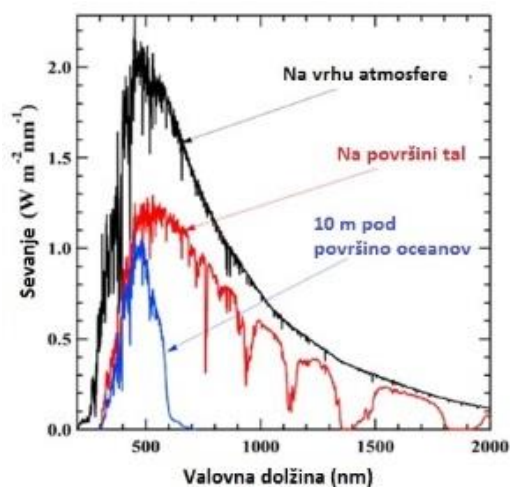
Slika 2: Sestavni deli in prepletenost podnebne sistema (Stališče..., 2011)

2.2 FIZIKALNE IN KEMIJSKE LASTNOSTI ATMOSFERE

Atmosfera je sestavljena večinoma iz dvo- in troatomnih plinov ter aerosolov. Te lastnosti atmosfere imajo ključni vpliv na prenos energije skozi ter posledično na toplotno bilanco tal. Sonce oddaja na Zemljo energijo v obliki kratkovalovnega sevanja dolžine 0,2–4 (0,5 vrh) μm , Zemlja pa seva nazaj v vesolje v dolgovalovnem sevanju dolžine 3,5–60 (10 vrh) μm (Slika 3). Sonce seva zelo podobno kot črno telo z močjo približno 4×10^{20} MW. Gostota energijskega toka pada s kvadratom razdalje in je tik preden reagira z Zemljino atmosfero pri povprečni oddaljenosti Zemlje od Sonca enaka 1367 W m^{-2} , kar imenujemo solarna konstanta. Sončno sevanje se v ciklikih nastajanja in izginjanja sončevih peg spreminja za $\pm 0,1 \%$ zaradi poti Zemlje okoli Sonca, v eliptični obliki pa se obsevanje Zemlje v letni skali spreminja za $\pm 3,3 \%$ (Rakovec in Vrhovec, 2007).

Preglednica 1: Skupni seštevek dospele sončne energije na vrhu atmosfere pri različnih geografskih širinah v MJ m^{-2} (Rakovec in Vrhovec, 2007)

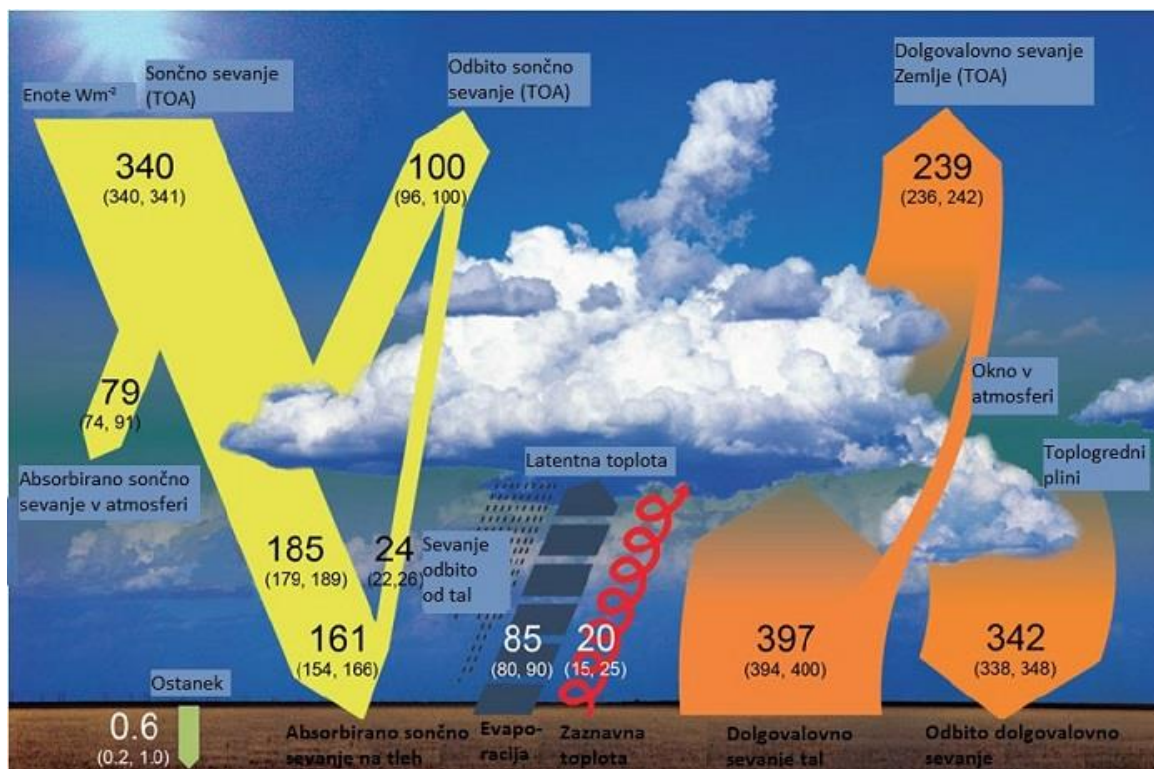
Geografska širina ($^{\circ}$)	0	30	60	90
Sončno sevanje (MJ m^{-2})	10890	9600	6200	4520



Slika 3: Spekter sončnega sevanja na vrhu atmosfere (črna), na površini Zemlje (rdeča) in 10 m pod površino oceanov (modra) (prirejeno po Gueymard, 2004)

Pri povprečnem stanju atmosfere (povprečna motnost, vlažnost in oblačnost) vodna para, CO_2 , O_2 , O_3 , oblaki in aerosoli absorbirajo približno 20 % kratkovalovnega sevanja Sonca in 90 % dolgovalovnega sevanja Zemlje. Okrog 60 % absorpcije dolgovalovnega sevanja pri povprečnem stanju v atmosferi predstavlja vodna para v ozračju, približno 25 % CO_2 , ostalo pa predstavljajo ostali tro-atomni plini. Refleksivnost atmosfere ali odbojna sposobnost za kratkovalovno sevanje predstavlja približno 22 %. Transmisivnost atmosfere ali prepustnost za kratkovalovno sevanje je približno 58 %, za dolgovalovno sevanje pa 10 %. Od tal se odbije še 7 % kratkovalovnega sevanja, ostanek, 49 %, pa se absorbira na

površini tal in kot dolgovalovno sevanje seva nazaj v vesolje (Slika 4). Ena tona izpuščenega CH_4 ima enak toplogredni učinek kot 23 t CO_2 , tona izpuščenega N_2O kot 310 t CO_2 in tona žveplovega heksafluorida (SF_6) kot 23900 t CO_2 , ki nastane v 100 letih od trenutka emisije (Wild in sod., 2012).



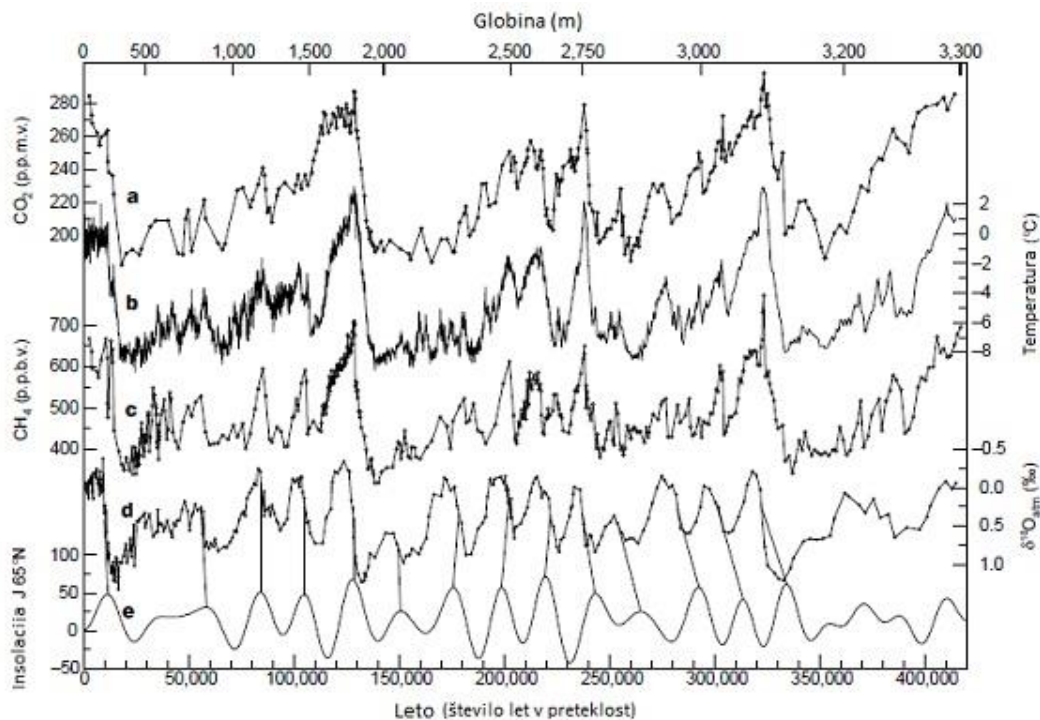
Slika 4: Energijska bilanca Zemlje v Wm^{-2} , z razponom negotovosti (Wild in sod., 2012)

2.3 PODNEBJE V PRETEKLOSTI – PALEOKLIMATOLOŠKI POGOJI

Po trenutno uveljavljeni teoriji klimatskih sprememb, ki jo je zasnoval srbski klimatolog Milankovič, so glavni krivci za spremembe paleogeološki pogoji, astronomske spremembe in spremembe v sestavi ozračja. Paleogeološki pogoji imajo najmanjši vpliv na spremembe ter zajemajo razporeditev kopnega in morja v preteklosti. Drugačna razporeditev kopnih površin bi pomenila tudi drugačno težišče Zemlje ter s tem povezano hitrost in nagib osi vrtenja Zemlje. Astronomske spremembe so najverjetneje glavni razlog sprememb klime v daljših časovnih skalah. Zajemajo spreminjanje nagiba osi vrtenja Zemlje glede na ekliptiko, nutacijo oz. neujemanje osi vrtenja Zemlje in geometrijske osi Zemlje ter spreminjanje orbite Zemlje okoli Sonca. Precesija zaradi delovanja privlačnosti Lune in Sonca niha med $\pm 23,5^\circ$ in v obdobju 13.000 let. Zato ker Luna ne kroži povsem po ekliptiki, precesiji dodaja dodatna nihanja s periodo 18,6 let. Orbita Zemlje okoli Sonca niha in velja za položaj dvojnega vozla, perihelija, ekscentričnosti elipse itd. Do sprememb osončenosti Zemlje zaradi spreminjanja orbite Zemlje prihaja na 60.000 do 150.000 let. V zelo dolgih obdobjih se krepi tudi izsev Sonca zaradi fizikalnih lastnosti zvezde in sicer v povprečju za 10 % na milijardo zemeljskih let. Zaradi teh dejavnikov so bili v preteklosti

različni deli Zemlje različno osončeni, kar velja tudi za Zemljo kot celoto. Razlika osončenosti zaradi astronomskih vplivov je v okviru $\pm 5\%$ glede na povprečje osončenosti na 45° geografske širine v milijardi let oziroma $200\text{--}250 \text{ MJm}^{-2}$ na letni skali (Rakovec in Vrhovec, 2007).

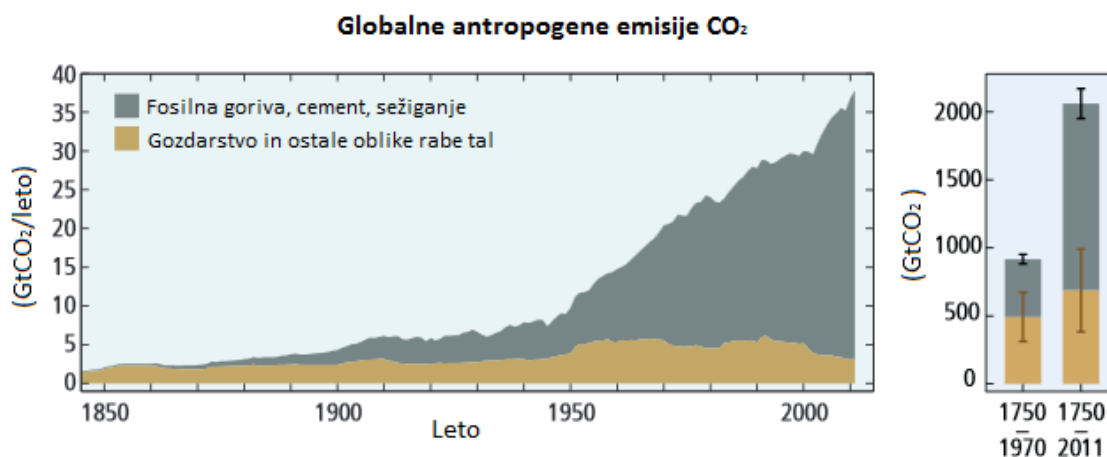
Zemljino podnebje je v zadnjih 420.000 letih nihalo med obdobji poledenitve (4) in krajšimi medglaciarnimi obdobji, v katerem se trenutno nahajamo (Slika 5). Zadnja ledena doba se je končala pred približno 12.000 leti, od takrat pa so se povprečne temperature na Zemlji dvignile za 8°C . V zadnjih 10.000 letih se nahajamo v zelo stabilnem podnebnem obdobju, saj so temperature nihale le $\pm 1^\circ\text{C}$. Ta stabilnost podnebja je najverjetneje omogočila razvoj sodobne civilizacije in moderne agronomije ter se z vnosom velikih količin toplogrednih plinov v današnjem času tudi najverjetneje končuje. Količina CO_2 v atmosferi je po podatkih iz trajno zamrznjenega ledu na območju Vostoka v Rusiji v zadnjih 420.000 letih nihala med 180 ppm v obdobjih poledenitve in 280 ppm v toplih obdobjih. Krivulja vsebnosti CH_4 v atmosferi je podobna krivulji CO_2 in se je gibala med 350 in 700 ppb. Koncentracija CO_2 in povprečna temperatura atmosfere sta kompleksno povezani in delujeta obratno sorazmerno ena na drugo. Če se koncentracija CO_2 v atmosferi poveča ali se spremeni kakšen drugi dejavnik, ki segreje klimatski sistem, se toplejšim oceanom posledično zmanjša sposobnost skladiščenja CO_2 . Če temperatura atmosfere pade, so hladnejši oceani sposobni skladiščiti več CO_2 (Petit in sod., 2001).



Slika 5: Spremembe temperatur, ogljikovega dioksida, metana in osončenosti na geografski širini 65° v zadnjih 420.000 letih po podatkih iz trajnega ledu na območju Vostoka, Rusija (Petit in sod., 2001)

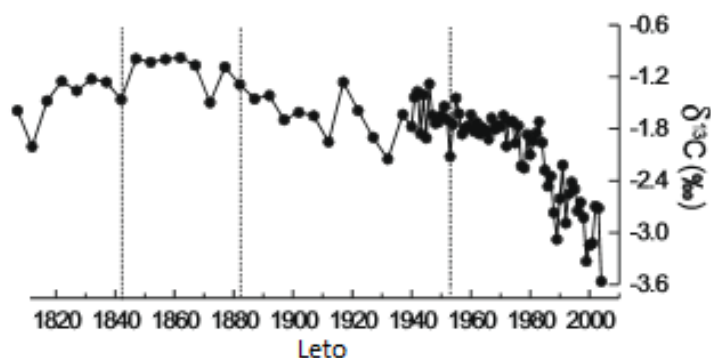
2.4 ANTROPOGENI VPLIVI NA PODNEBJE

Če upoštevamo paleoklimatske podatke, se bi morala Zemlja v današnjem času na svetovnem nivoju hladiti, vendar podatki kažejo drugače. Najverjetnejši razlog za te spremembe v zelo kratkem času je človeštvo s svojim vplivom na okolje. Z izsekavanjem gozdov in izpusti fosilnih toplogrednih plinov kot so CO_2 , CH_4 in ostali smo resno posegli v Zemljino podnebno stabilnost. Človeški izpusti CO_2 so dosegali v 80. letih 20. stoletja na letni ravni okoli 23 Gt, danes že do 40 Gt (Slika 6), kar pa se zdi v primerjavi z naravnimi izpusti 776 (vegetacija in kopno 444, oceani 332) Gt malo, vendar narava v okviru naravnega ogljikovega cikla absorbira na letnem nivoju 788 (vegetacija in kopno 450, oceani 338) Gt tega plina, ostanek (38 Gt) pa ostane kot presežek v atmosferi. V 90. letih prejšnjega stoletja je povprečna vrednost CO_2 v zraku dosegala vrednosti 360 ppm, danes smo že dosegli vrednost 400 ppm, kar je 120 ppm več kot v predindustrijskem nivoju in največ v zadnjih 750.000 letih. Kar polovico teh izpustov pa smo ustvarili v zadnjih 30 letih (IPCC, 2007).

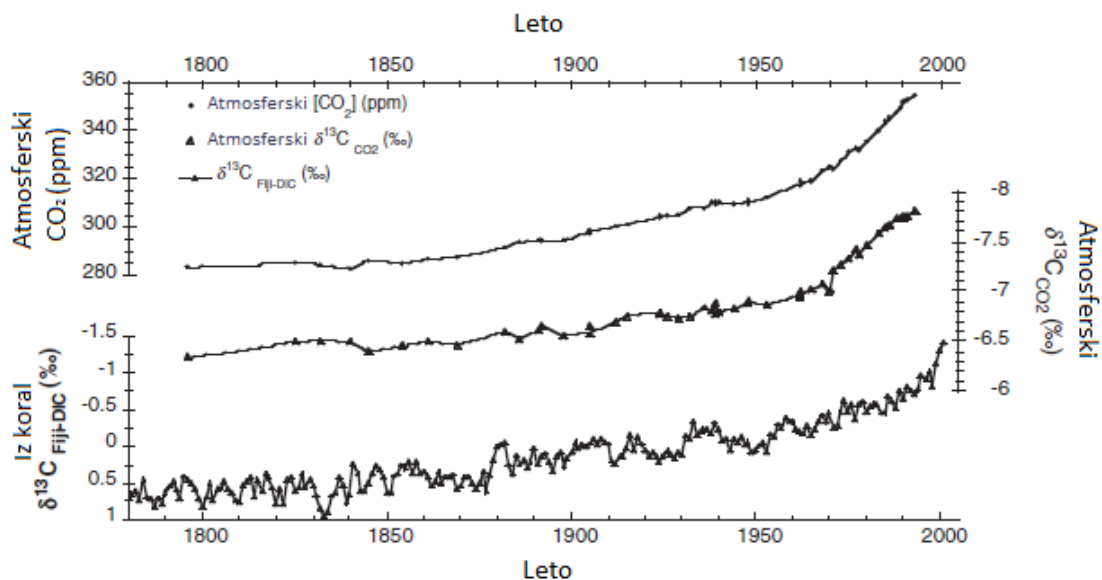


Slika 6: Antropogeni izpusti CO_2 v zadnjih 150 letih v gigatonah CO_2 na leto (IPCC, 2013)

Neposredni dokaz, da presežni CO_2 v atmosferi izvira iz fosilnih goriv, je padec ogljikovega izotopa C^{13} v atmosferi v zadnjih 200 letih. Razmerje med ogljikovima izotopoma C^{13} in C^{12} je 1: 98,9 oziroma je na Zemlji v vsem ogljiku približno 1,1 % izotopa C^{13} . Razmerje med ogljikovima izotopoma C^{12} in C^{13} je v ogljikovem ciklu relativno konstantno, razen če prihaja do sprememb v samem ciklu kot so vulkanski izbruhi, padci asteroidov, spremembe osončenosti Zemlje ipd. V procesu fotosinteze je zaradi kemijskih poti in encima RuBisCO favoriziran ogljikov izotop C^{12} , zato je ogljikov izotop C^{13} ostajal v atmosferi. Zdaj se iz fosilnih goriv, predvsem iz premoga, sprošča večinoma ogljikov izotop C^{12} in v atmosferi redči ogljikov izotop C^{13} (Sliki 7, 8) (Wei in sod., 2009; Dassie in sod., 2013).



Slika 7: Sprememba koncentracije atmosferskega ogljikovega izotopa C^{13} v promilih (‰) v zadnjih 200 letih (Wei in sod., 2009)

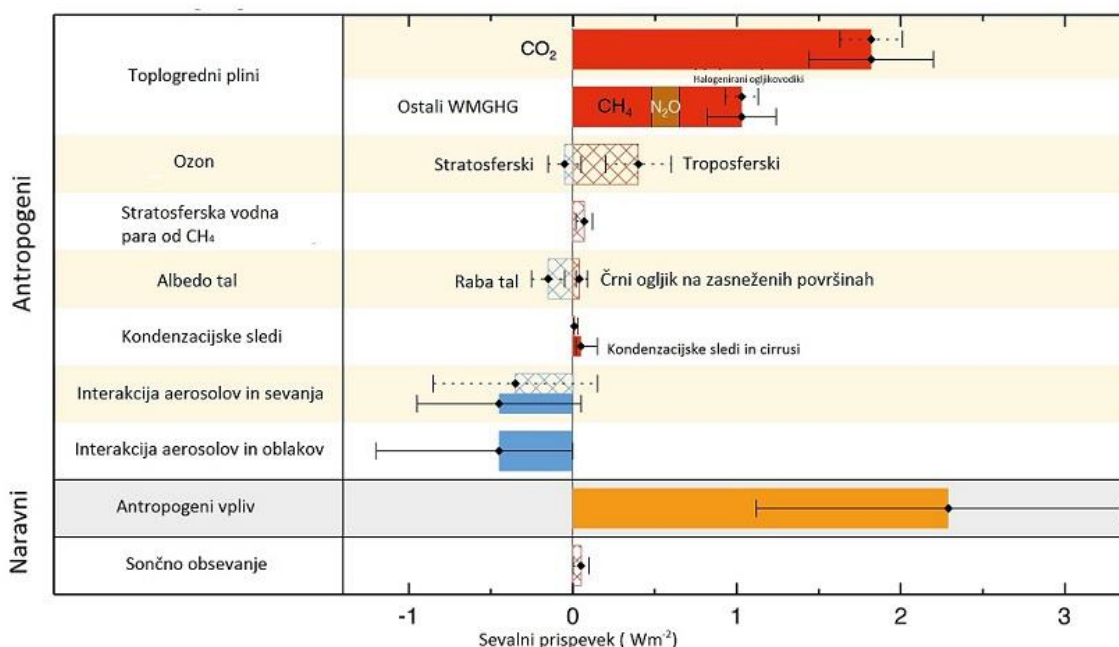


Slika 8: Sprememba koncentracije CO_2 , atmosferskega izotopa C^{13} in izotopa C^{13} iz koral v promilih (‰), v zadnjih 200 letih (Dassie, 2013)

2.5 SPREMEMBE V PODNEBNEM SISTEMU

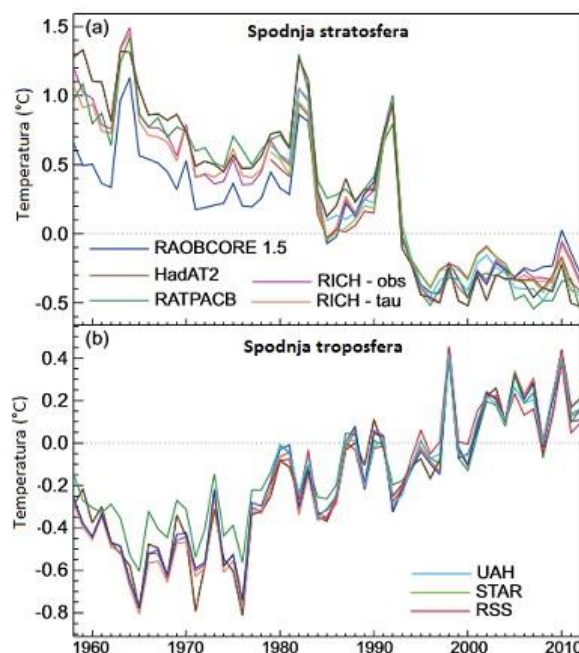
Troposfera zaradi spremenjene energijske bilance, ki je posledica višje koncentracije toplogrednih plinov v atmosferi, zadrži več energije v obliki dolgovalovnega sevanja oziroma toplotne energije. Prispevki različnih toplogrednih plinov so različni in so odvisni od sposobnosti zadrževanja toplote posameznega plina in koncentracije v atmosferi. Prav tako obstajajo vplivi, ki atmosfero hladijo kot so vsebnost aerosolov v atmosferi in povečan albedo tal zaradi širjenja puščav. Energijo, ki dodatno segreva troposfero, lahko opredelimo v Wm^{-2} . V zadnjih 250 letih je zaradi človeškega izpusta fosilnega CO_2 in ostalih toplogrednih plinov prišlo v podnebnem sistemu do zadrževanja $2,3 \pm 1 Wm^{-2}$ toplotne energije Zemlje (Slika 9). Sevalni prispevek energijski bilanci podnebnega sistema ni konstanten po celotni površini Zemlje in se nekoliko spreminja. Spremembe so

odvisne od zračnih tokov in koncentracije toplogrednih plinov nad različnimi deli zemeljske površine. Sevalni prispevek pa se z naraščanjem toplogrednih plinov v atmosferi konstantno viša. Velik ohlajevalni dejavnik v atmosferi so aerosoli, njihova koncentracija se spreminja glede na pozicijo na Zemlji, višino in čas. Troposferski aerosoli imajo kratko življenjsko dobo, od nekaj ur do nekaj dni ali tednov. Stratosferski aerosoli pa imajo zaradi stabilne plasti zraka v tej plasti atmosfere daljšo življenjsko dobo, do nekaj let, in posledično tudi večji ohlajevalni učinek. V atmosferi je tudi veliko antropogenega aerosola, ki se večinoma nahaja v troposferi in izhaja iz intenzivnih industrijskih območij. Naravni izvori aerosola so oceani, puščave ter vulkani. Slednji so glavni izvor troposferskega in stratosferskega aerosola in imajo lahko učinek na energijsko bilanco lokalnega in pri večjih izbruhih tudi globalnega podnebja, ki traja od nekaj mesecev do nekaj let v povprečnem učinku od 0,1 do 4 Wm⁻² (IPCC, 2013).



Slika 9: Sevalni prispevki energijski bilanci podnebne sistema med leti 1750–2011 v Wm⁻² z mejami verjetnosti (IPCC, 2013)

Zaradi povečane sposobnosti troposfere za zadrževanje dolgovalovnega sevanja prihaja v stratosfero manj tega sevanja in se le-ta zato ohlaja (Slika 10). Učinek ohlajanja stratosfere bi lahko do neke minimalne mere pripisali tudi znižanju koncentracije stratosferskega ozona, ki ob reakciji z ultravijoličnimi žarki v tej plasti atmosfere sprošča toploto.

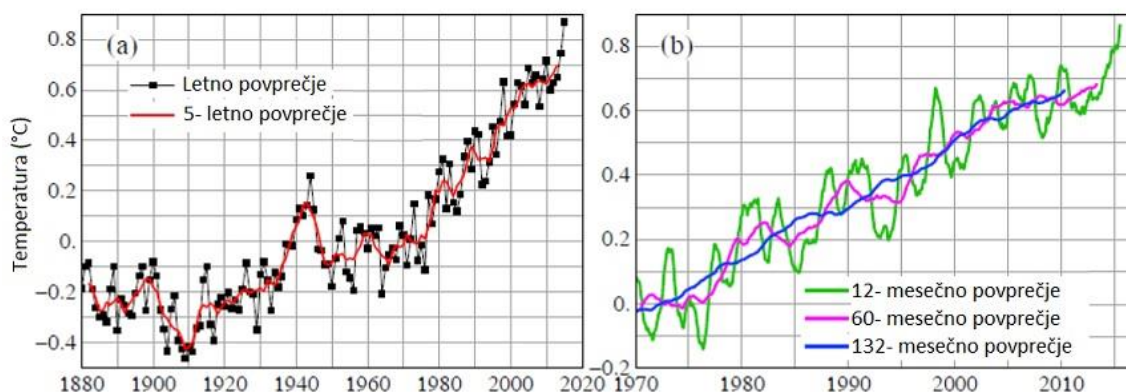


Slika 10: Povprečne temperature spodnje plasti troposfere v primerjavi s povprečno temperaturo spodnje plasti stratosfere v zadnjih 50 letih iz različnih podatkovnih baz (IPCC, 2013)

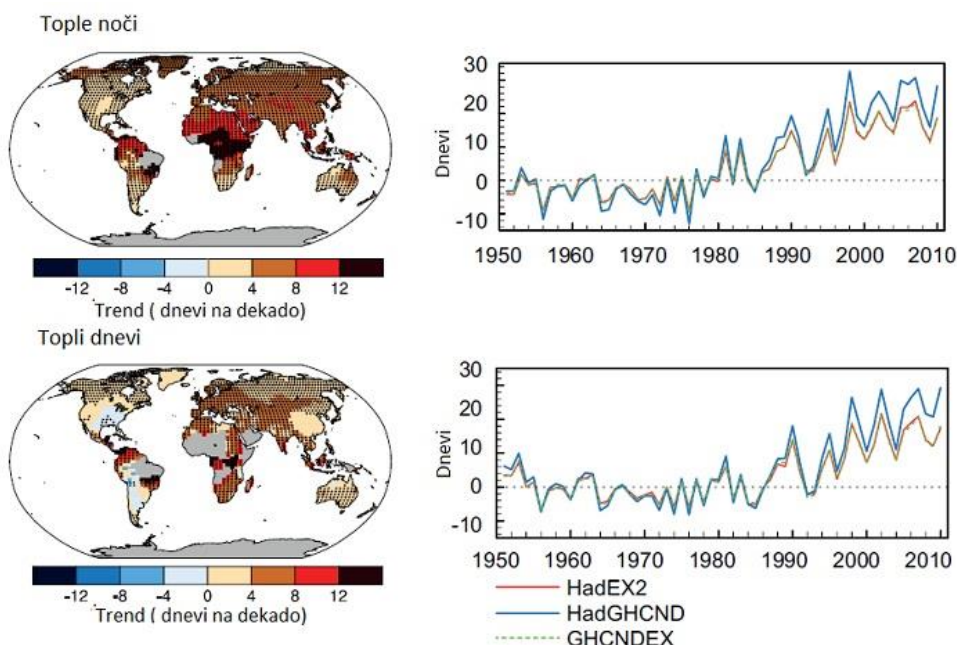
Zaradi spremenjene energijske bilance atmosfere že prihaja do opaznih sprememb tudi v ostalih delih podnebne sistema. Dviga se povprečna temperatura površja Zemlje in oceanov, viša se nivo vode v svetovnih oceanih, prihaja do sprememb v padavinskih vzorcih, povečuje se izhlapevanje vode iz oceanov, talijo se ledeniki in permafrost ter trajno zamrznjene ledene površine na polih.

Spodnja troposfera se je v obdobju 1880–2015 ogrela povprečno za $+0,85 \pm 0,2$ °C (Slika 11), pri tem so se najbolj ogrevale kopne površine. Edini negativni trend v tem obdobju je opazen na Severnem Atlantiku, kjer se je ohladilo povprečno za $-0,3$ °C. Razlog najverjetneje tiči predvsem v slabljenju Zalivskega toka, ki je močan toplotni vztrajnik in glavni dejavnik posebnosti klime na širšem območju. Najbolj so se ogrela območja Sibirije v Rusiji, Severne Amerike na območju Kanade, nekatera območja v Braziliji na vzhodu Južne Amerike in območja v Severni Afriki, kjer so spremembe v tem obdobju že dosegle $+2,5$ °C (IPCC, 2013).

Posledično prihaja tudi do pozitivnih trendov v številu toplih noči, ko temperatura ne pade pod 20 °C in trendu toplih dni, ko je najvišja dnevna temperatura nad 25 °C. Na območju Evrope se število toplih noči povečuje 4–8 dni na desetletje, isti trend pa velja tudi za število vročih dni. Oba intervala sta statistično značilna (Slika 12) (Donat in sod., 2013; Klok in Tank, 2009).



Slika 11: Opazovane spremembe temperature površja Zemlje od 1880–2015 v °C (Hansen in sod., 2016)

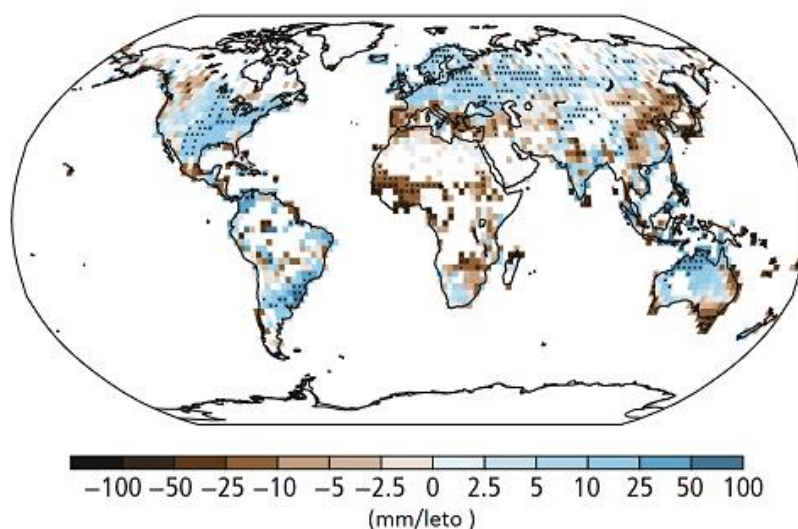


Slika 12: Opazovane spremembe v številu toplih noči in spremembe v številu toplih dni 1950–2013 (IPCC, 2013)

Do opaznih sprememb je prišlo tudi v padavinskih vzorcih. V obdobju 1951–2010 pade od 5 do 25 mm več padavin na leto na območju severne in srednje Evrope, na območjih srednje Severne Amerike, ponekod v Indiji in severni Avstraliji (Slika 13). Opazni so tudi trendi v manjšem povprečnem številu padavinskih dogodkov in večji količini padavin v posameznem padavinskem dogodku. Spremembe v naraščanju ali padanju količine padavin na različnih geografskih širinah so prikazane v preglednici 2.

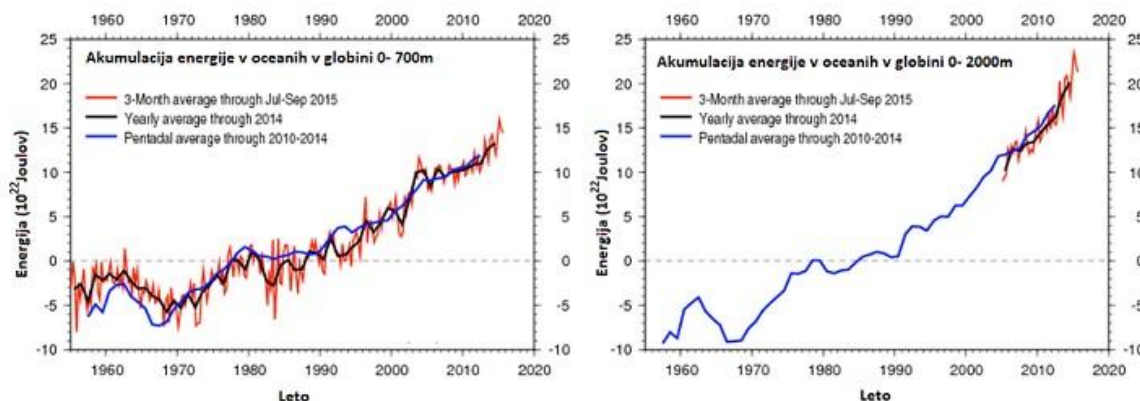
Preglednica 2: Trendi letnih padavin na različnih geografskih širinah v mm leto⁻¹ (IPCC, 2013)

Geografska širina	Obdobje / trendi v mm leto ⁻¹	
	1901–2008	1951–2008
60 °N – 90 °N	–	2,69 ± 2,54
30 °N – 60 °N	3,14 ± 1,05	1,50 ± 1,93
30 °S – 30 °N	–0,48 ± 3,35	–4,16 ± 9,65
60 °S – 30 °S	2,40 ± 2,01	–0,51 ± 5,45



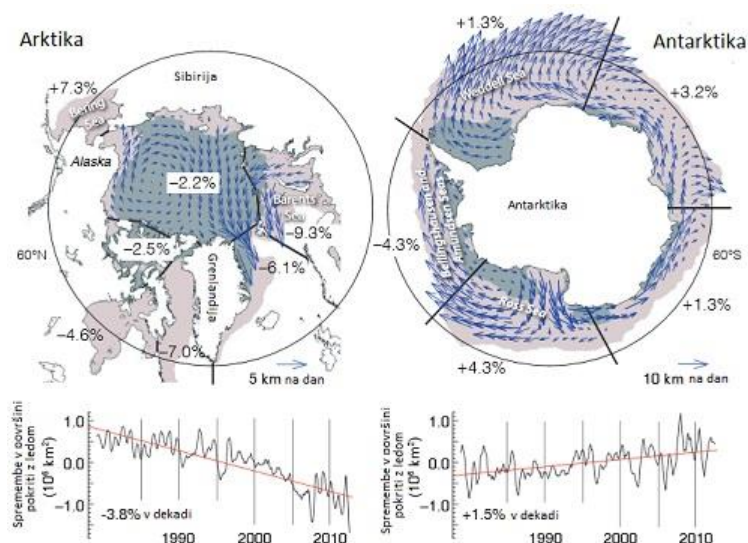
Slika 13: Opazovane spremembe letnih padavin v obdobju 1951–2010 v mm leto⁻¹ (IPCC, 2013)

Večina presežka toplotne energije, ki je nastala zaradi spremenjene energijske bilance, se je shranila v oceane. Med leti 1971–2010 se je tako v zgornjih 700 m oceanov in morij shranilo 137 TW dodatne energije (Domingues in sod., 2008). V oceane v globini 700–2000 m se je shranilo 62 TW dodatne energije (Slika 14) (Purkey in Johnson, 2010). Tako se je v oceane skupno shranilo 93 % vse energije, ki je nastala kot presežek zaradi spremenjene energijske bilance. Za taljenje ledu na vseh področjih trajno zamrznjenega ledu se je porabilo 7 TW energije ali 3 % vse presežne energije, na kopna področja Zemlje se je med tem shranilo še 6 TW energije, ali približno 3 % vse presežne energije. Atmosfera pa je v tem času pridobila le 2 TW dodatne energije oziroma samo 1 % vse presežne energije, ki je nastala kot posledica spremenjene energijske bilance planeta. Torej večino dodatne energije vsrkajo oceani, pri tem so se v zadnjih 40 letih povprečno segrevali v zgornjih 75 m za 0,11 °C na desetletje, segrevanje pa je na različnih delih oceana različno in se spreminja tudi z globino (Levitus in sod., 2009). Zaradi toplotnega raztezka in taljenja trajno zamrznjenih površin na kopnem posledično prihaja do dviga morske gladine, v obsegu $1,7 \pm 0,2$ mm leto⁻¹, ali od leta 1901 do danes že skoraj 20 cm (Church in White, 2011).



Slika 14: Akumulacija energije v oceanih od 1955–2015, v globinah 0–700 m (levi graf) in v globinah 0–2000 m (desni graf) (NOAA NCEI, 2016)

Površine, pokrite s trajnim ledom, se ob spremenjeni energijski bilanci planeta v povprečju talijo in pri tem porabljajo presežno energijo. Na severni polobli se je med leti 1978–2012 trajni led krčil s hitrostjo $3,8 \pm 0,3$ % na desetletje. Med različnimi področji pa so znatne razlike v hitrosti taljenja ali kopičenja ledu, od $+7,3$ % na desetletje v Beringovem morju do $-13,8$ % na desetletje v zalivu St. Lawrence v Kanadi ob Atlantskem oceanu (Derksen in sod., 2012). Na južni polobli se je količina trajnega ledu med leti 1978–2012 rahlo večala, in sicer za $1,5 \pm 0,3$ % na desetletje ali 0,13–0,20 milijonov km^2 . Večanje površine, pokrite z ledom, lahko pripišemo predvsem višanju vlage v atmosferi in posledičnim večjim padavinam na tem območju (Parkinson in Cavalieri, 2012). Spreminjata se tudi debelina in volumen trajnega ledu. V prvem desetletju 21. stoletja se je led povprečno stanjšal za 1,7 m na Evroazijskem področju in 0,9 m na območju Beaufortovega in Chukchijevega morja glede na povprečje iz let 1958–1977. Povečala se je tudi hitrost drsenja ledenih plošč v morje in posledično hitrejši razpad le-teh (Slika 15) (Wadhams in Davis, 2000).



Slika 15: Sprememba v povprečni površini trajno zamrznjenega ledu na severni in južni hemisferi v 10^6 km^2 in % ter povprečna smer in hitrost premikanja ledenih plošč na teh območjih (IPCC, 2013)

2.6 DODATNI NARAVNI PRITISKI NA PODNEBNI SISTEM

Zaradi taljenja trajnega ledu in permafrosta na polih, predvsem severnem, prihaja do uhajanja velikih količin CH_4 v atmosfero. Gre za dolgotrajni naravni proces, ki ga znatno pospešuje segrevanje spodnje plasti troposfere, sam po sebi pa segrevanje še pospešuje. Plin uhaja iz naravnih nahajališč fosilnega metana in z metanogenetskim razpadanjem biomase. CH_4 je shranjen v obliki naravnih depozitov, permafrosta in metanovih klatratih. Po ocenah iz Sibirske Arktike na leto uide v atmosfero 3,8 Mt ali 0,0038 Gt tega plina (Walter in sod., 2006; Shakhova in sod., 2010). Ocenjujejo, da je na Zemljinih polih skupno shranjenega okoli 1400 Gt ogljika, ki je večinoma v obliki CH_4 in nekaj v obliki ogljikovega dioksida. Vpliv na podnebje sproščanja CH_4 iz naravnih zalog bo zelo pomemben dejavnik na časovni skali 1000–100.000 let in bo odvisen od temperature vode na polih (Archer in Buffett, 2005).

2.7 PODNEBJE V SLOVENIJI

Slovenija leži v srednji Evropi v zaledju Alp in na območju, kjer se poleg Alp mešajo še vplivi Sredozemskega morja in Panonske nižine. Zaradi specifične lokacije na tem območju, velikem malo več kot 20.000 km², prevladujejo štirje klimatski tipi. Na vzhodu Slovenije prevladuje zmerno kontinentalna klima, v hribovitem svetu severne in zahodne Slovenije prevladuje gorska klima, v kotlinah in srednji Sloveniji subalpska, zahodno od Alpsko-Dinarske pregrade pa sredozemska klima. Na vzhodu Slovenije so zaradi zmerne kontinentalne klime večja dnevna in letna nihanja temperatur, na zahodu Slovenije pa zaradi vpliva morja manjša.

Povprečne letne temperature se gibljejo okoli 10 °C, v Alpah okoli 0 °C z dolgimi zimami in kratkimi poletji, na Primorskem pa okoli 14 °C z dolgimi vročimi poletji ter kratkimi in milimi zimami. Vegetacijska doba traja v večini ravninskega dela Slovenije 220–240 dni, ob morju do 280 dni. Najvišja temperatura v Sloveniji, 40,8 °C, je bila izmerjena 8. avgusta 2013 v Cerkljah ob Krki, najnižja pa na Babnem polju -34,5 °C, 13. januarja 1968. V meteorološkem poletju (junij–avgust) leta 2015 je temperatura v večini Slovenije presegla dolgoletno povprečje za okoli 2 °C. Najvišje preseganje je bilo zabeleženo v Novem mestu, letališču Jožeta Pučnika Ljubljana in Lisci (2,2 °C), najmanjše pa v Celju (1,7 °C). Te temperaturne vrednosti postavljajo to meteorološko poletje na drugo mesto najtoplejših poletij, izmerjenih v Sloveniji od začetka meritev, za rekordnim letom 2003 (ARSO, 2015).

Padavin je na območju Slovenije veliko, največ na Alpsko-Dinarski pregradi, ki je zaradi prisilnega dviga zračnih mas in posledičnih orografskih padavin tudi glavni krivec za veliko količino padavin. Na tem območju pade na leto povprečno okoli 1500–2000 mm padavin, na območju Bovca tudi do okoli 3000 mm letno. Padavin je nato proti vzhodu vedno manj, v Murski Soboti na primer manj kot 800 mm letno. Ljubljana ima v povprečju 1400 mm padavin letno in je najbolj namočeno evropsko glavno mesto. Časovna

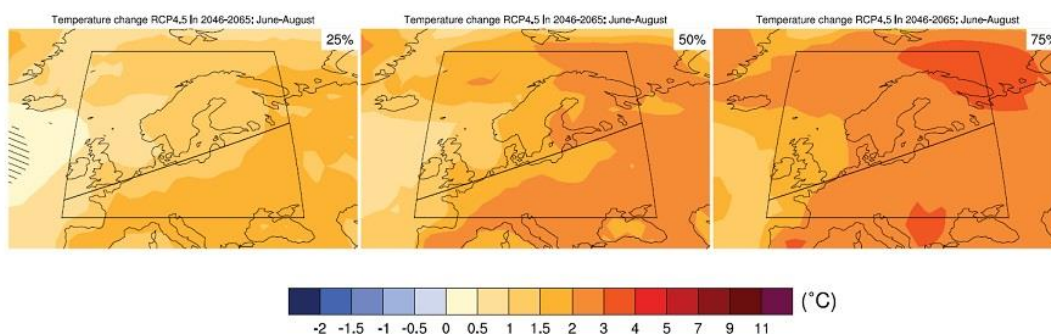
razporeditev padavin je različna, višek padavin je v povprečju poleti na vzhodu Slovenije in jeseni na zahodu Slovenije, najmanj padavin pa pade pozimi. Najmočnejše padavine dosega v zahodni Sloveniji do 363 mm dnevno (Bovec 14. 11. 1969) ali 157 mm v dveh urah (Kneške Ravne 18. 9. 2007). Slovenija je zaradi mešanja več podnebnih tipov tudi zelo nevihtno področje. Na več postajah po državi zabeležijo tudi do 50 nevihtnih dni na leto. Najvišja gostota udarov strel na km² letno je v zahodni Sloveniji, in sicer do 11,8 udarov na km² letno. Sneg v Sloveniji pade vsako zimo razen v krajih ob morju. V osrednji Sloveniji sneg obleži povprečno okoli 50 dni letno, v Ratečah 130 dni na leto, na Kredarici 262 dni na leto, medtem ko na Primorskem v povprečju le 2 dni letno (ARSO, 2015).

Veter je v Sloveniji manj pogost pojav, ker leži v zavetrju Alp in je splošni zahodni vetrovi večinoma ne dosežejo. Značilni veter je južnih in severnih smeri, posebnost na Primorskem pa je burja, ko z gorskih pregrad v sunkih piha na morje. Močno piha tudi ob lokalnih pojavih neviht ali prehodih hladnih front (ARSO, 2015).

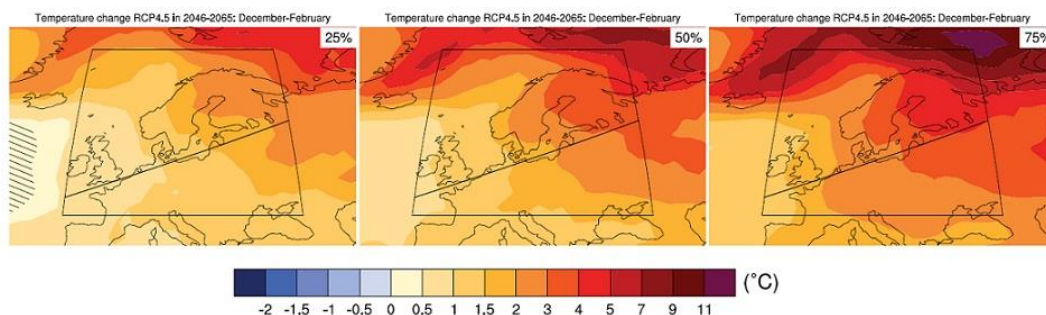
Sonce sije povprečno 250 ur na mesec, na Primorskem poleti do 300 ur na mesec, pozimi do 90 ur na mesec, v kotlinah širše osrednje Slovenije zaradi pogostejše megle pozimi do 50 ur na mesec (ARSO, 2015; Rakovec in Vrhovec, 2007).

2.8 PRIČAKOVANI PODNEBNI POGOJI NA OBMOČJU SLOVENIJE V PRIHODNOSTI

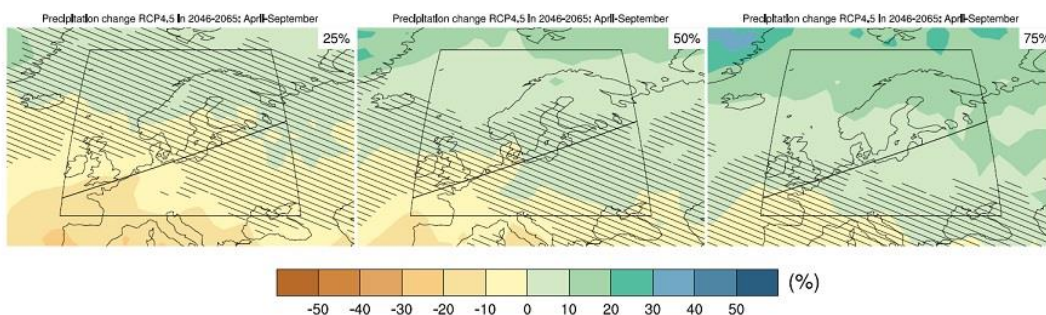
Ob predvidenem nadaljnjem povečevanju vsebnosti toplogrednih plinov se bo temperatura zraka še dodatno dvignila na celotnem območju Slovenije. V obdobju od 2046 do 2065 se bodo temperature zraka v poletnih mesecih predvidoma povečale za $2,5 \pm 0,5$ °C, v zimskem obdobju pa za $1,75 \pm 0,25$ °C glede na povprečno temperaturo 1986–2005 (Sliki 16, 17). Navedene temperaturne prognoze veljajo za srednji A1B emisijski scenarij. Padavine se bodo v obdobju 2046 do 2065 v poletnih mesecih zmanjšale za $10 \% \pm 5 \%$, v zimskih mesecih pa povečale za $10 \% \pm 5 \%$ glede na povprečne padavine v obdobju 1986–2005 (Sliki 18, 19). Srednji emisijski scenarij predvideva nadaljno rast izpustov CO₂ do sredine 21. stoletja in nato postopen upad, ter izkoriščanje tako fosilnih kot tudi obnovljivih virov energije (IPCC, 2013).



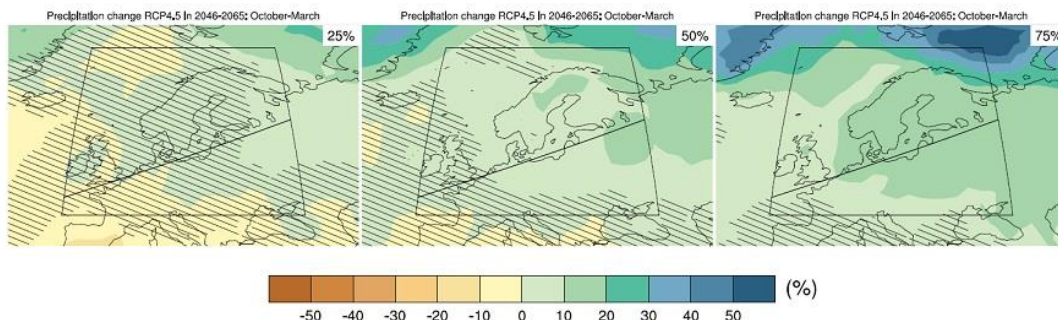
Slika 16: Spremembe temperatur v poletnih mesecih za obdobje 2046–2065 glede na povprečne temperature 1986–2005 na območju Evrope na podlagi srednjega emisijskega scenarija za 25, 50 in 75 percentil večmodelne porazdelitve (IPCC, 2013)



Slika 17: Spremembe temperatur v zimskih mesecih za obdobje 2046–2065 glede na povprečne temperature 1986–2005 na območju Evrope na podlagi srednjega emisijskega scenarija za 25, 50 in 75 percentil večmodelne porazdelitve (IPCC, 2013)

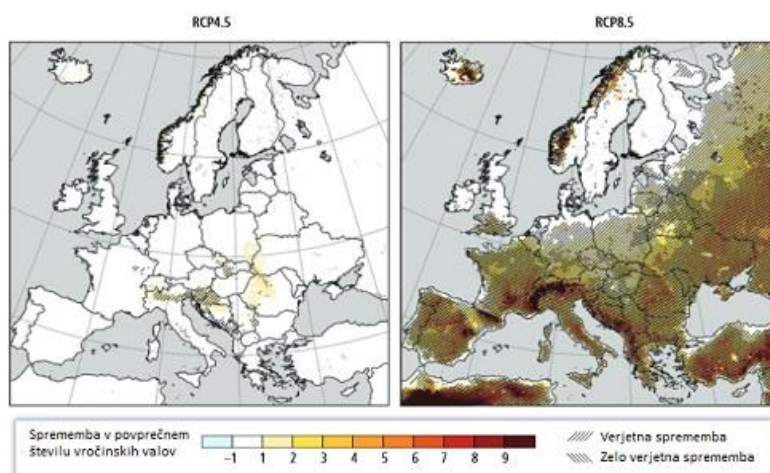


Slika 18: Spremembe padavin v poletnih mesecih za obdobje 2046–2065 glede na povprečno količino padavin 1986–2005 na območju Evrope na podlagi srednjega emisijskega scenarija za 25, 50 in 75 percentil večmodelne porazdelitve (IPCC, 2013)

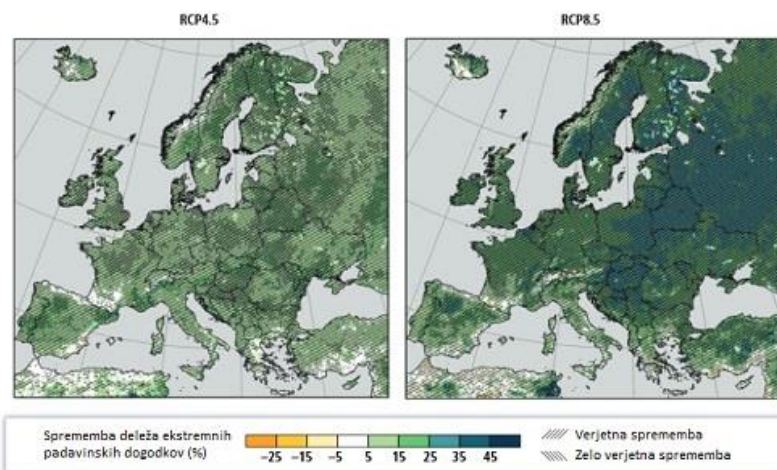


Slika 19: Spremembe padavin v zimskih mesecih za obdobje 2046–2065 glede na povprečno količino padavin 1986–2005 na območju Evrope na podlagi srednjega emisijskega scenarija za 25, 50 in 75 percentil večmodelne porazdelitve (IPCC, 2013)

Zaradi posledic spreminjanja podnebja se bo na območju Slovenije v obdobju 2071–2100 povečalo število vročinskih valov za 1–2 pri srednjem emisijskem scenariju, pri višjem emisijskem scenariju pa za 6–7, glede na obdobje 1971–2000. Povečal se bo tudi delež ekstremnih padavinskih dogodkov, in sicer po srednjem emisijskem scenariju med leti 2071–2100 za 15–25 %, po višjem emisijskem scenariju pa za 35–45 % glede na obdobje 1971–2000 (IPCC, 2013).



Slika 20: Sprememba števila vročinskih valov med leti 2071–2100 pri srednjem (levo) in višjem (desno) emisijskem scenariju glede na povprečje v obdobju 1971–2005 (IPCC, 2013)

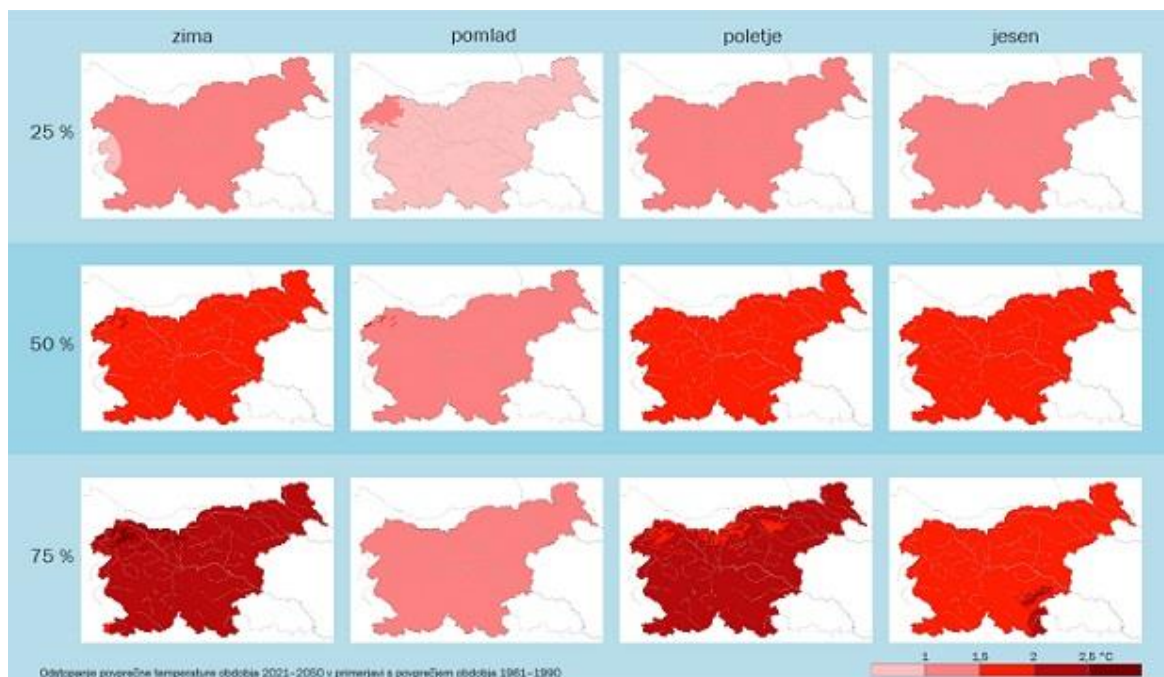


Slika 21: Sprememba deleža ekstremnih padavinskih dogodkov (%) med leti 2071–2100 pri srednjem (levo) in višjem (desno) emisijskem scenariju glede na povprečje v obdobju 1971–2005 (IPCC, 2013)

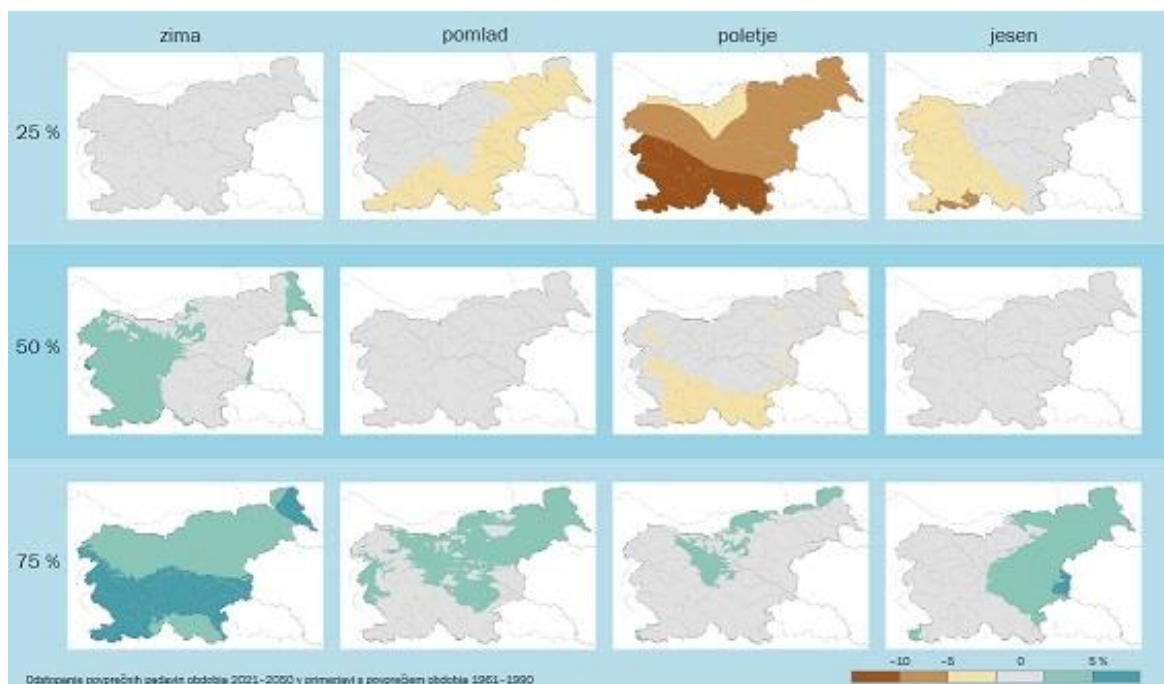
2.8.1 Projekt podnebna spremenljivost v Sloveniji

Leta 2008 se je v okviru izvajanja nalog državne meteorološke službe začel projekt podnebna spremenljivost v Sloveniji (PSS). Cilji projekta so bili analiza spremenljivosti podnebja v zadnjih 150 letih na izbranih meteoroloških postajah, pregled spremenljivosti in trendov glavnih meteoroloških spremenljivk in ekstremnih vremenskih dogodkov od leta 1961 ter vzpostavitev operativnih procesov za spremljanje podnebne spremenljivosti. Projekt je bil razdeljen na štiri vsebinske sklope in sicer kontrola podatkov, homogenizacija časovnih nizov meteoroloških podatkov, analiza časovnih nizov in sinteza rezultatov. Rezultati bodočih podnebnih sprememb so bili pripravljani v okviru evropskega projekta ENSEMBLES, upoštevali pa so srednji A1B scenarij izpustov toplogrednih plinov. Podnebni scenariji projekta PSS kažejo, da se bo v prihodnosti vsa Slovenija še naprej ogrevala. Do sredine stoletja bodo pomladi toplejše za 1,5 °C, vsi ostali letni časi pa

celo za 2 °C (Slika 22). Za pomlad in jesen lahko pričakujemo tako zmanjšanje kot povečanje količine padavin. Pozimi se bo količina padavin verjetno povečala, medtem ko se bo poleti vsaj v južni polovici države zelo verjetno količina padavin zmanjšala (Slika 23) (ARSO. Projekt PSS, 2015).



Slika 22: Odstopanje povprečne temperature obdobja 2021–2050 v primerjavi s povprečjem obdobja 1961–1990 (ARSO. Projekt PSS, 2015)



Slika 23: Odstopanje povprečnih padavin obdobja 2021–2050 v primerjavi s povprečjem obdobja 1961–1990 (ARSO. Projekt PSS, 2015)

2.9 VPLIV SPREMENLJIVOSTI PODNEBJA NA KMETIJSTVO

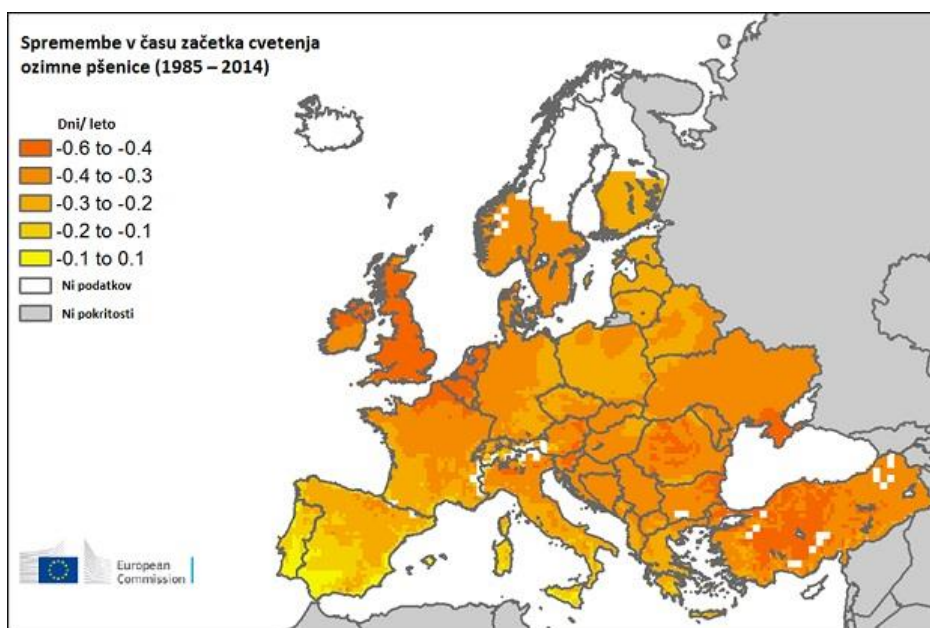
Kmetijstvo je eden od ekonomskih sektorjev, ki je v svoji trenutni obliki močno povezano in odvisno od podnebja, v katerem se nahaja. Kmetijske površine trenutno na svetu pokrivajo 4922,2 milijona ha površin, oziroma 37,8 % vseh kopnih površin na Zemlji. Trajni travniki zajemajo 3359,6 milijona ha, poljedelske površine pa 163,9 milijona ha (FAO–STAT, 2012). Spremembe v podnebnih pogojih poleg degradacije tal predstavljajo eno od največjih groženj produktivnosti svetovnega kmetijstva, predvsem zaradi povečanja stresnih faktorjev. Agroekosistemi, v katerih se odvija kmetijska pridelava, so kompleksne združbe biotskih in abiotskih dejavnikov. Na produktivnost agroekosistemov tako poleg lastnosti podnebja vplivajo še kemijske in fizikalne lastnosti tal, kemijske lastnosti atmosfere, uporaba antropogenih gnojil in fitofarmacevtskih sredstev, kmetijska mehanizacija in druge kmetijske tehnologije kot so npr. namakanje in protitočne mreže na trajnih nasadih (Rosenzweig in Hillel, 2008).

Spremembe v podnebnih pogojih, ki so posledica podnebnih sprememb in vplivajo na agroekosisteme, so lahko pozitivne in negativne ter jih lahko razdelimo na: nihanja v klimatskem sistemu, povišanje temperatur, vročinski stres, povečanje atmosferskega CO₂, pojav troposferskega ozona, količina in razporeditev padavin, pojav pozeb, frekvenca pojavljanja ekstremnih vremenskih dogodkov, kot so suše in poplave. Na svetovnem nivoju bi lahko dodali še dvig morske gladine, predvsem na območjih, kjer so pridelovalne površine v priobalnem pasu na nizkih nadmorskih višinah in prihaja do zasoljevanja tal (Rosenzweig in Hillel, 2008).

Nihanja v klimatskem sistemu na evropskem prostoru so opredeljena predvsem s severno atlantsko oscilacijo (NAO). To določa razlika v zračnem tlaku na območju Islandije ter območju Azorskih otokov v severnem Atlantiku. Fluktuacije v zračnih tlakih določajo variabilnost vzorcev padavin ter prodorov vročega ali hladnega zraka nad našimi kraji. Na agroekosisteme pa imajo pozitivne in negativne vplive, odvisno od dane situacije (Cassou, 2008).

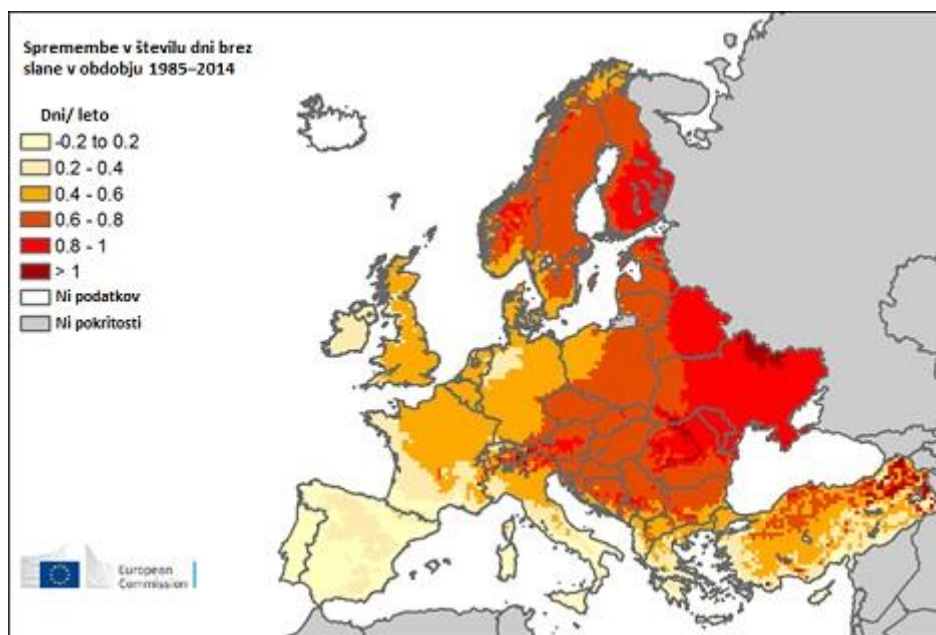
Povišanje temperatur zraka ima vpliv na fenologijo in fiziološke procese rastlin. Če ostali dejavniki ne omejujejo rastlinskega metabolizma in fotosinteze, se ta pri višjih temperaturah poveča, posledično pa to vpliva na hitrejšo rast rastlin. To prednost bodo lahko izkoristile predvsem C₄ rastline, kot je koruza in pretežni del tropskih trav. Zaradi višjih temperatur prihaja tudi do krajšanja rastne dobe in hitrejšega prehoda iz vegetativne v generativno fazo rasti ter posledično manjšega števila dni z aktivno asimilacijo. Pridelek je posledično manjši in slabše kakovosti. Zaradi višjih temperatur je intenzivnejša tudi evapotranspiracija, ki pelje do povečane porabe vode v kmetijstvu ter ostalih sektorjih. Pri spremembi fenoloških spremenljivk pričakujemo, da se bo potek razvoja rastlinskih vrst zaradi višjih temperatur spomladi začel prej in se bo tudi prej zaključil (Sliki 24, 25). Prostorski premiki kmetijske pridelave zaradi višjih temperatur, ki bodo potekali v smeri sever–jug, bodo glede na velikost Slovenije manj pomembni. Premiki v višje lege pa bodo

zagotavljali bistveno manjše pridelovalne površine, kot jih lahko zagotavljajo doline. Višje lege so praviloma tudi bolj razgibane in s tem manj primerne za intenzivno kmetijsko pridelavo. Prav tako so izpostavljene negativnim vremenskim vplivom, kot so močnejši vetrovi in spomladanske pozebe. Razvojni krogi različnih škodljivih žuželk in bolezni se bodo z višjo temperaturo krajšali, posledično bo pogostost napadov škodljivih organizmov na kmetijske rastline večja. Lahko pride tudi do razmika fenoloških faz v odvisnosti med škodljivci in gostiteljskimi rastlinami. Prostorska razširjenost se bo ob višji temperaturi in spremenjenih padavinskih vzorcih odražala v tem, da bodo rastlinske in živalske vrste migrirale v skladu s premiki klimatskih območij, torej na višje nadmorske višine in proti poloma (Katerji in sod., 2008).

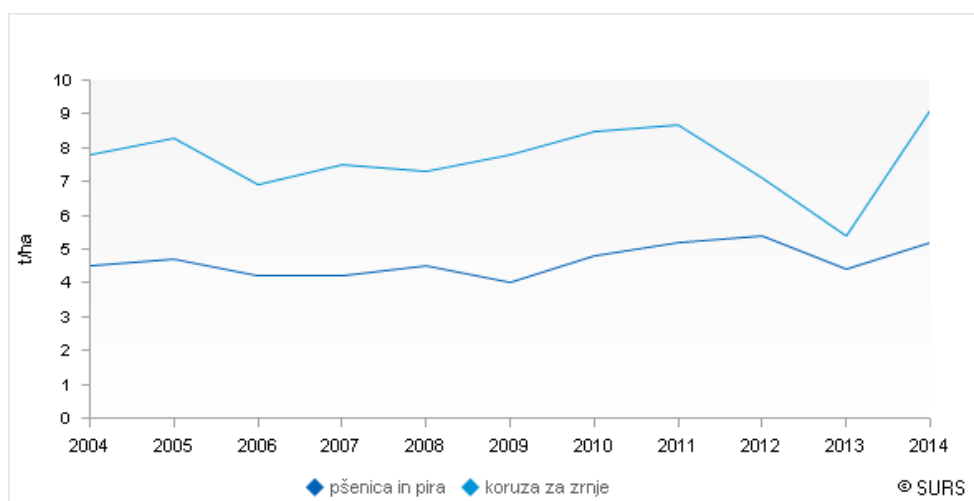


Slika 24: Spremembe v času začetka cvetenja ozimne pšenice (1985–2014) v dnevih na leto (Olesen, 2016)

Vročinski stres se pojavi pri temperaturah 30–35 °C in je odvisen od vrste rastline. Povzroča zmanjšanje pridelka zaradi zmanjšanja fotosinteze, sterilnosti cvetnega prahu in posledičnih problemov pri opraševanju rastlin. Poveča se tudi ranljivost rastlin pri okužbah z boleznimi in škodljivci. Vsaka dnevna stopinja nad 30 °C v sušnih pogojih zmanjša pridelek koruze (*Zea mays*) za 1,7 % (Lobell in sod., 2011). Pri pšenici (*Triticum* spp.) visoke temperature v fenofazi zorjenja zmanjšajo vsebnost beljakovin v semenih (Hurkman in sod., 2009). Negativni vpliv na kmetijstvo imajo tudi visoke nočne temperature, pridelek riža (*Oryza* spp.) se zmanjša za 90 %, če se nočna temperatura dvigne na 32 °C glede na nočno temperaturo 27 °C (Mohammed in Tarpley, 2009). Visoke najvišje dnevne temperature zraka v kombinaciji s sušnim stresom so bile tudi glavni razlog zmanjšane pridelka pšenice in pire ter koruze za zrnje v Sloveniji leta 2013 (Slika 26) (SURs, 2015).



Slika 25: Spremembe v številu dni brez slane (1985–2014) v dnevih na leto (Olesen, 2016)



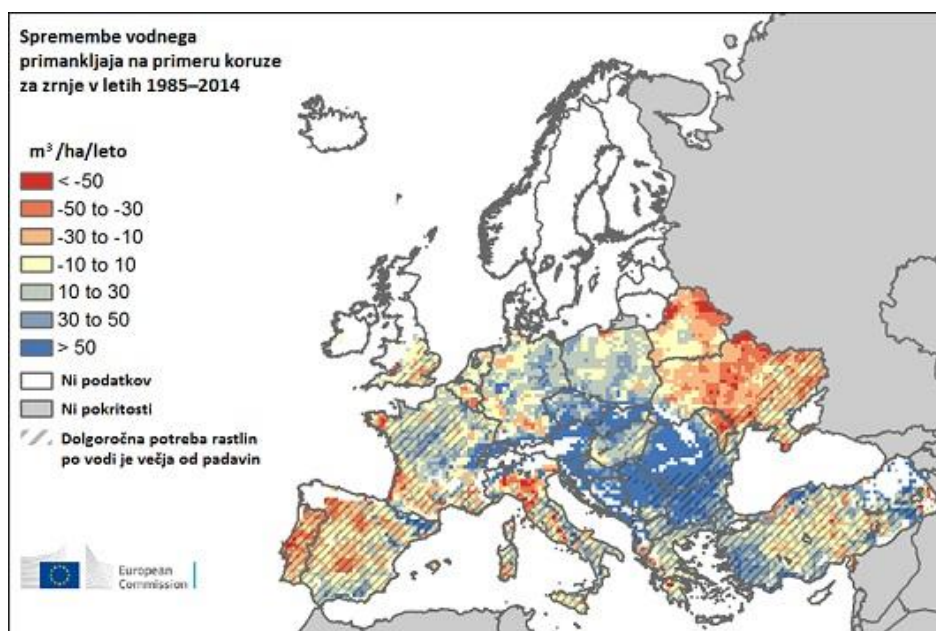
Slika 26: Pridelek pšenice in pire ter koruze za zrnje v Sloveniji za obdobje 2004–2014 (t/ha) (SURs, 2015)

Povečanje koncentracije atmosferskega CO_2 ima za rastline gnojilni učinek in zaradi fiziologije fotosinteze poveča izkoristek in s tem tudi produkcijo biomase na enoto površine. Prednost višje koncentracije CO_2 bodo lahko izkoristile predvsem C_3 rastline, kot sta pšenica in riž, ker nimajo aktivnega mehanizma za kopičenje CO_2 . C_4 rastline, med katere spada tudi krompir, bodo pri povišani koncentraciji CO_2 sposobnost fiksacije ogljika ohranile na isti ravni ali le malenkostno višji. Zaradi spremenjenih pogojev bo spremenjena tudi transpiracija, ker lahko imajo rastline ob povišani koncentraciji CO_2 za isti izkoristek krajši čas odprte listne reže.

Troposferski ozon nastaja v poletnih mesecih. Na koncentracijo vpliva temperatura, količina UV svetlobe in onesnaženost zraka z dušikovimi oksidi. Povzroča 5–15 % izgubo pridelka, pridelok pa je tudi slabše kakovosti (Booker in sod., 2009).

Količina padavin na svetovnem nivoju narašča, vendar se spreminjajo padavinski vzorci, kar povzroča izrazitejšo sušo in moče. Oba ekstremna pojava pa izrazito zmanjšata pridelek. Na nekaterih območjih pa se bodo zaradi povečanja padavin pogoji za kmetijsko pridelavo izboljšali (Slika 27). Ugotovljena je bila statistično značilna povezava med mesečnim padavinskim indeksom in količino pridelka različnih ozimnih in jarih poljščin, ki so imele tudi različne tolerance na sušni stres. Ta raziskava je bila opravljena na različnih lokacijah na Češkem (Hlavinka in sod., 2009).

Pojav pozeb se povečuje predvsem zaradi milejših zim, ki rastline silijo v zgodnejši razvoj takrat, ko nevarnost pozeb še ni minila. Frekvenca pojavljanja ekstremnih vremenskih dogodkov se povečuje. Ti dogodki, kot so toča, nalivi, pozebe, suše, vetrolomi, požari in poplave, lahko privedejo do zmanjšanja kakovosti in količine pridelka ali do popolnega uničenja le-tega (Kajfež-Bogataj, 2005).



Slika 27: Spremembe vodnega primankljaja na primeru koruze za zrnje v letih 1985–2014 (Olesen, 2016)

3 MATERIAL IN METODE

3.1 PODATKI IN PROSTORSKA UMEŠTITEV

Izbrali smo si deset meteoroloških postaj, ki so relativno enakomerno razporejene po celotnem območju Slovenije z izjemo Gorenjske regije. Izbrane meteorološke postaje so: Bilje pri Novi Gorici (BI), Črnomelj (CR), Celje (CE), Ljubljana (LJ), Maribor (MB), Murska Sobota (MS), Novo mesto (NM), Postojna (PO), Portorož (PR) in Šmartno pri Slovenj Gradcu (SG) (Preglednica 3). Agrometeorološki podatki so bili pridobljeni iz arhivov Urada za meteorologijo na Agenciji Republike Slovenije za okolje v digitalni obliki. Podatki so zajemali najvišje, najnižje in povprečne dnevne temperature zraka ter količino dnevnih padavin na izbranih postajah.

Preglednica 3: Izbrane meteorološke postaje in njihova lega ter nadmorska višina (ARSO, 2015)

Meteorološka postaja	Geografska širina - φ	Geografska dolžina - γ	Nadmorska višina - z (m)	Prevladujoči tip podnebja
BI	45°54'	13°38'	55	submediteransko
CR	45°33'	15°09'	157	zmerno kontinentalno
CE	46°15'	15°15'	244	zmerno kontinentalno
LJ	46°40'	14°31'	299	zmerno kontinentalno
MB	46°32'	15°39'	275	zmerno kontinentalno
MS	46°39'	16°11'	188	zmerno kontinentalno
NM	46°48'	15°15'	220	zmerno kontinentalno
PO	45°47'	14°13'	556	zmerno kontinentalno
PR	45°31'	13°36'	31	submediteransko
SG	46°31'	15°05'	413	zmerno kontinentalno



Slika 28: Lega izbranih meteoroloških postaj v Sloveniji

Zajem meteoroloških podatkov na postajah se izvaja trikrat dnevno, in sicer ob 7., 14. in 21. uri po uradnem času, torej poleti eno uro kasneje. Višino padavin se meri dvakrat dnevno, in sicer ob 7. in 19. uri. Na vseh izbranih meteoroloških merilnih postajah, razen Biljah in Portorožu, so bile na voljo vse meteorološke spremenljivke v obdobju 1951–2013. Na postaji Portorož v obdobju 1961–2013, na postaji Bilje pa v obdobju 1962–2013.

Za ovrednotenje sprememb agrometeoroloških parametrov smo si izbrali primerjavo povprečne, najvišje in najnižje temperature zraka na izbranih postajah. Za ovrednotenje sprememb dolžine vegetacijske dobe v tem obdobju smo izbrali dva različna temperaturna pragova, in sicer 5 °C in 10 °C. Za ovrednotenje sprememb variabilnosti padavinskih vzorcev smo si izbrali SPI indeks, in sicer za obdobje 1 in 6 zaporednih mesecev. Za ovrednotenje sprememb temperatur smo primerjali tudi frekvenčno porazdelitev povprečnih temperatur. Vse nize meritev smo razdelili v dve obdobji, in sicer 1951–1980 in 1981–2013 ter jih med sabo primerjali. Prvo obravnavano obdobje pa je na postajah Portorož in Bilje ustrezno krajše.

3.1.1 Primerjava povprečne, najvišje in najnižje letne temperature zraka

Povprečna letna temperatura zraka (T_{lp}) je aritmetična sredina vseh dnevnih povprečnih temperatur zraka (T_{dp}) v obravnavanem letu. Prav tako velja aritmetična sredina vseh dnevnih temperatur za najvišje in najnižje temperature zraka. Iz povprečnih dnevnih temperatur zraka se izračuna povprečne mesečne temperature (T_{mp}), iz povprečnih mesečnih temperatur pa povprečno letno temperaturo in temperaturo izbranega obdobja (enačbe 1, 2, 3). Za povprečno temperaturo zraka smo izračunali še trend za obdobje 10 let in standardni odklon (σ) posameznih nizov podatkov.

Standardni odklon je mera razpršenosti enot. Z njim je moč izmeriti, kako razpršene so vrednosti (x_i), vsebovane v populaciji. Standardni odklon je definiran kot kvadratni koren variance, s čimer je v vsakem primeru dosežena pozitivna vrednost kazalca (enačba 4) (Košmelj, 2007).

Povprečne temperature zraka smo prikazali v preglednici. Povprečne najnižje in najvišje temperature zraka pa smo prikazali z okvirji z ročaji.

$$T_{mp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{dp}}{n} \qquad T_{lp} = \frac{\sum_{i=1}^{12} T_{mp}}{12} \qquad \dots (1)$$

$$T_{mp}^{max} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{dp}^{max}}{n} \qquad T_{lp}^{max} = \frac{\sum_{i=1}^{12} T_{mp}^{max}}{12} \qquad \dots (2)$$

$$T_{mp}^{min} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{min}}{n} \qquad T_{lp}^{min} = \frac{\sum_{i=1}^{12} T_{mp}}{12} \qquad \dots (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}} \qquad \dots (4)$$

3.1.2 Dolžina vegetacijske dobe in temperaturne vsote

Dolžina vegetacijske dobe je obdobje med dnem, ko spomladi dnevna temperatura preide vegetacijski temperaturni prag, in dnem, ko jeseni spet pade pod to vrednost. Temperaturni prag je presežen, ko je spomladi vsaj šest dni zaporedoma povprečna dnevna temperatura zraka višja, jeseni pa nižja od temperature praga. S tem so izločene vsaj 6 dni trajajoče zgodnje zimske otoplitve. Za vse nize dolžin vegetacijske dobe smo izračunali še standardni odklon (σ) (ARSO. Kazalci... , 2015).

Temperaturna vsota ali Effective growing degree day – EGDD je vsota izmerjenih efektivnih temperatur v izbranih obdobjih, ki je pomembna za rast rastlin in daje podatek o toplotnem okolju rastline. Efektivna temperatura je razlika med povprečno dnevno temperaturo zraka in temperaturo izbranega praga (enačba 5). Povprečna dnevna temperatura je izračunana iz najvišje dnevne temperature zraka (T_{max}) in najnižje dnevne temperature zraka (T_{min}). V našem primeru smo si izbrali temperaturni prag (T_{prag}) 5 °C in 10 °C. Temperaturne vsote in dolžina vegetacijske dobe so lahko orodje za napoved časa cvetenja rastlin ali zrelosti pridelkov in so hevristično orodje fenologije.

$$EGDD = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{prag} \qquad \dots (5)$$

3.1.3 Variabilnost padavinskih vzorcev

Za ovrednotenje sprememb variabilnosti padavinskih vzorcev smo izbrali SPI indeks. SPI ali standardizirani padavinski indeks je opredeljen kot mera, kaj določena količina padavin pomeni skozi izbrano časovno obdobje glede na normalno oziroma pričakovano razporeditev padavin za to obdobje. Je statistično standardiziran odklon količine padavin od dolgoletnega povprečja, ki je v našem primeru 62 zaporednih let in razdeljen v dve zaporedni obdobji 1951–1980 in 1981–2013. SPI indeks smo izračunali za obdobje 1 in 6 zaporednih mesecev (SPI1 in SPI6). Vpliv SPI1 lahko povezujemo s primanjkljajem ali presežkom vode v tleh in s tem posredno na razvoj kmetijskih rastlin. SPI6 pomeni presežek ali primanjkljaj v daljšem časovnem obdobju in je povezan s hidrološko sušo ali

moč in vpliva na večje vodotoke ter podzemne vode, ki so lahko posredno ali neposredno povezane z možnostjo zajema vode za namakalne sisteme. V splošnem velja, da so vrednosti indeksa med -1 in 1 povezane z normalnimi razmerami, ki so statistično pričakovane. Indeks ob sušah ali močah doseže tudi vrednosti pod -2 in nad 2 (ARSO. SPI..., 2015).

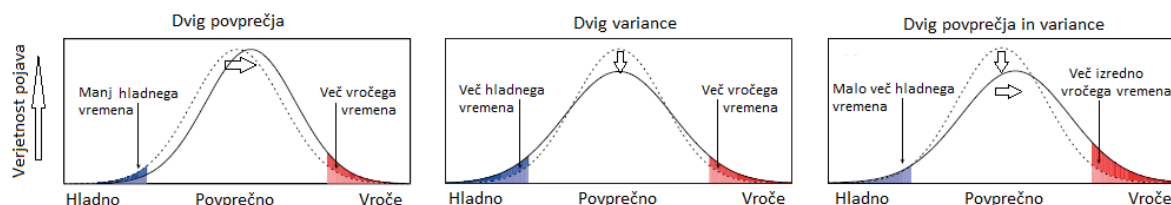
Za namene magistrskega dela smo uporabili SPI program NDMC – National Drought Mitigation Center, Lincoln, Nevada, ZDA. Izračunane vrednosti SPI smo prikazali v okvirjih z ročaji (NDMC, 2015).

3.1.4 Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur

Zaradi premika povprečja dnevnih temperatur in spremenjene gostote verjetnosti je med sabo smiselno primerjati zaporedna dolgoletna obdobja. Primerjali smo gostote verjetnosti povprečnih mesečnih temperatur za dve zaporedni obdobji, in sicer 1951–1980 in 1981–2013.

Tako smo za vsako vrednost povprečne temperature izračunali gostoto verjetnosti za normalno porazdelitev $p(x)$ za prvo obdobje 1951–1980 in drugo 1981–2013 ter jih ločeno nanesli na isti graf. Na x osi so vrednosti povprečnih temperatur ($^{\circ}\text{C}$), na y osi pa njihove vrednosti $p(x)$.

Znižanje krivulje tako pomeni dvig variance povprečnih temperatur, premik krivulje levo ali desno ali celo v obe smeri pa pomeni večjo možnost za ekstremno visoke ali ekstremno nizke temperature (Slika 29) (Košmelj, 2007).



Slika 29: Shematični prikaz učinka spremembe podnebja (prirejeno po IPCC, 2013)

3.2 UPORABLJENE STATISTIKE

3.2.1 Analiza časovne vrste

Časovna vrsta je niz istovrstnih podatkov, ki se nanašajo na zaporedne časovne razmike ali trenutke. En sam podatek oziroma statistična spremenljivka Y da statistično sliko pojava, niz istovrstnih podatkov v enakih časovnih razmikih $Y = y(t)$ pa daje sliko dinamike opazovanega pojava. Osnovni namen preučevanja časovnih vrst je opazovati časovni razvoj pojavov in iskati zakonitosti tega gibanja. Ugotovljene zakonitosti omogočajo napovedovanje nadaljnjega razvoja in s tem povezano sprejemanje ustreznih ukrepov. V

primeru, da časovna vrsta ni ekvidistantna, moramo pri prikazu rezultatov to tudi upoštevati (Košmelj, 2007).

V primeru izračunov magistrske naloge so spremenljivke Y agrometeorološki podatki. Izračune smo izdelali za dve zaporedni časovni obdobji 1951–1980 in 1981–2013 in ju med sabo primerjali.

3.2.2 Analiza trenda

Na spreminjanje vrednosti podatkov v časovni vrsti vplivajo številni dejavniki. Glede na soroden vpliv na pojav združujemo dejavnike v skupine, ki povzročajo spremembe, ena izmed njih je tudi trend ali osnovna smer razvoja. Ostali dejavniki, ki vplivajo na spremembe, so še ciklična nihanja, periodična nihanja in iregularne spremembe, ki pa so lahko enkratne ali slučajne.

Regresija je prilagajanje ustrezne matematične funkcije empiričnim podatkom. Lahko je linearna ali bolj kompleksna. Linearna regresija izhaja iz aditivnega modela časovne vrste: $Y_t = T_t + R_t$. R_t v tem primeru predstavlja residualne sestavine časovne vrste podatkov o pojavu Y . Predpostavimo lahko, da je trend predstavljen s premico (enačba 6).

$$Y = \alpha + \beta * x + \varepsilon \quad \dots (6)$$

V enačbi 6 α predstavlja konstanto, βx predstavlja večkratnik neodvisne spremenljivke in ε slučajne, neznane oz. nepojasnene vplive. Izračunali smo tudi koeficient korelacije (r), ki nam pove, v kolikšni meri sta spremenljivki povezani (enačba 7). Koeficient korelacije je opredeljen s kvadratnim korenem koeficienta determinacije R^2 . Na podlagi tega izračuna lahko določimo tudi statistično značilnost spremenljivke. Spremenljivki sta statistično značilni pri stopnji tveganja 0,01 (**) ali statistično manj značilni pri stopnji tveganja 0,05 (*) (Košmelj, 2007).

$$r = \sqrt{R^2} \quad \dots (7)$$

3.2.3 Frekvenčna porazdelitev

Normalna porazdelitev, tudi Gaussova porazdelitev, je verjetnostna porazdelitev vrednosti statističnih enot v statistični populaciji, ki je grafično predstavljena v obliki zvona oziroma normalne krivulje. Dejstvo, da je slučajna spremenljivka X porazdeljena po normalni porazdelitvi s parametroma pričakovane vrednosti (μ) in variance (σ^2), krajše zapišemo $X \sim N(\mu, \sigma)$ (enačbi 8, 9).

$$E(x) = \mu \quad \dots (8)$$

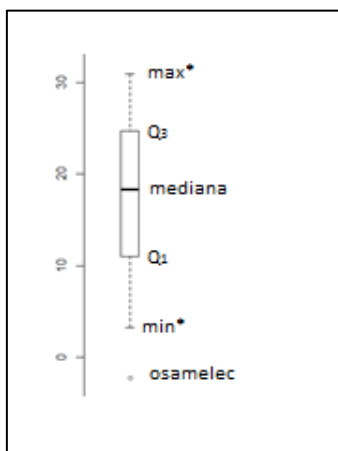
$$\text{Var}(X) = \sigma^2 \quad \dots (9)$$

Parametra normalne porazdelitve sta povprečna vrednost $\mu \in \mathbb{R}$ in standardni odklon $\sigma > 0$. Parameter μ vpliva na lego krivulje, parameter σ pa vpliva na obliko krivulje. Večji σ pomeni večjo raztegnjenost v smeri abscisne osi. Gostota verjetnosti je definirana na celotni realni osi. Gostoto verjetnosti za normalno porazdelitev $p(x)$ izračunamo po naslednji formuli (enačba 10) (Košmelj, 2007).

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \dots(10)$$

3.2.4 Okvir z ročaji

Okvir z ročaji je grafični prikaz podatkov številske spremenljivke. Na grafu so prikazani pogojni minimum, pogojni maksimum, kvantili ter osamelci. Osamelec je vrednost, ki bistveno odstopa od večine ostalih vrednosti in je izven intervala $(Q_1 - 1,5 \times Q, Q_3 + 1,5 \times Q)$, pri čemer je Q kvartilni razmik. Pogojni minimum ($\min^*$) je najmanjša vrednost, ki ni spodnji osamelec, podobno velja za pogojni maksimum ($\max^*$), ki je največja vrednost, ki ni zgornji osamelec. Če v podatkih osamelcev ni, je pogojni maksimum oz. minimum najmanjša oz. največja vrednost. Okvir določata kvartila Q_1 in Q_3 , njegovo prečko pa Q_2 . Zgornji ročaj določata vrednosti Q_3 in $\max^*$, spodnji ročaj pa vrednosti Q_1 in $\min^*$ (Slika 30) (Košmelj, 2007).



Slika 30: Shematični prikaz okvirja z ročaji

4 REZULTATI

4.1 POVPREČNE TEMPERATURE

4.1.1 Povprečne temperature zraka

Analiza povprečnih temperatur zraka na izbranih meteoroloških postajah kaže, da je bilo obdobje 1981–2013 toplejše od obdobja 1951–1980 na vseh obravnavanih mestih. V povprečju na vseh obravnavanih mestih razlika med obema obravnavanima obdobjema znaša 0,995 °C, najvišja je bila na merilnem mestu Postojna, in sicer kar 1,72 °C. Postaji Portorož in Bilje, s povprečno temperaturo 13,27 °C in 12,42 °C v obdobju 1981–2013, sta bila najtoplejša obravnavana kraja. V celinskem delu Slovenije so se povprečne temperature zraka v obdobju 1981–2013 gibale med 10 in 11 °C. Najhladneje je bilo na severu, kjer je na merilnem mestu Slovenj Gradec znašala povprečna temperatura 8,6 °C. Trendi naraščanja povprečnih temperatur zraka so v večjem delu Slovenije znašali med 0,44 in 0,46 °C na desetletje. Najhitreje je temperatura zraka naraščala na merilnem mestu Portorož, in sicer 0,51 °C na desetletje. Trendi povprečnih temperatur zraka so bili statistično značilni na vseh obravnavanih mestih. V obdobju 1981–2013 se je na vseh obravnavanih mestih povečal tudi standardni odklon. To kaže na to, da so poleg višjih temperatur zraka le te v obravnavanem nizu tudi bolj razpršene (Preglednica 4).

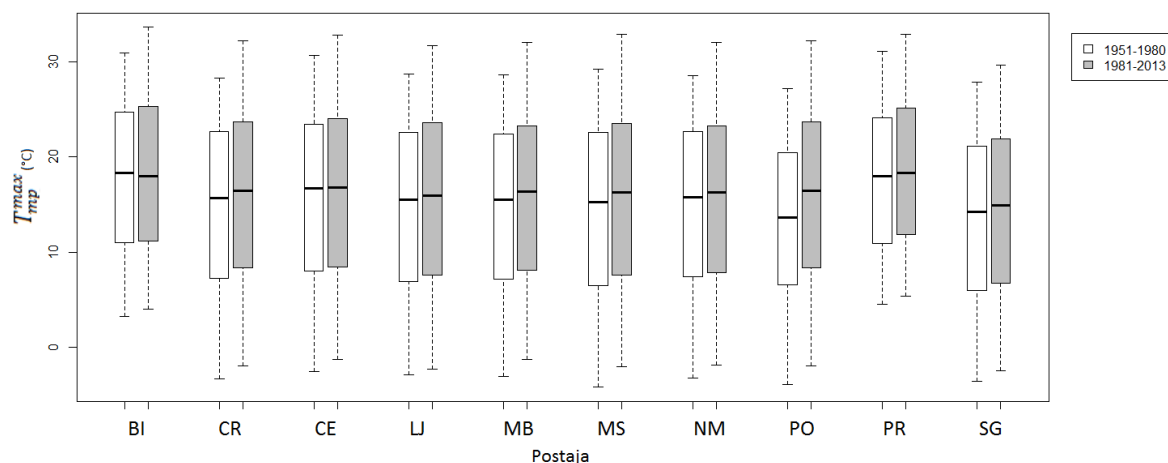
Preglednica 4: Povprečne temperature zraka v °C na izbranih meteoroloških postajah v dveh izbranih obdobjih s trendom ter standardnim odklonom (σ v °C).

	1951–1980		1981–2013		Trend za obdobje 1951–2013 (°C/10let)
	T_{mp} (°C)	σ (°C)	T_{mp} (°C)	σ (°C)	
BI [~]	12,05	6,60	12,46	7,07	0,44**
ČR	10,19	7,41	10,85	7,75	0,43**
CE	9,07	7,39	10,13	7,60	0,44**
LJ	9,73	7,42	10,87	7,65	0,43**
MB	9,47	7,44	10,67	7,69	0,43**
MS	9,18	7,60	10,15	7,86	0,44**
NM	9,42	7,30	10,54	7,56	0,44**
PO	8,41	6,61	10,13	7,60	0,46**
PR [~]	12,49	6,60	13,27	6,80	0,51**
SG	7,67	7,43	8,60	7,66	0,44**

[~]: niz podatkov se prične kasneje, BI- 1962, PR- 1961

4.1.2 Povprečne najvišje mesečne temperature zraka

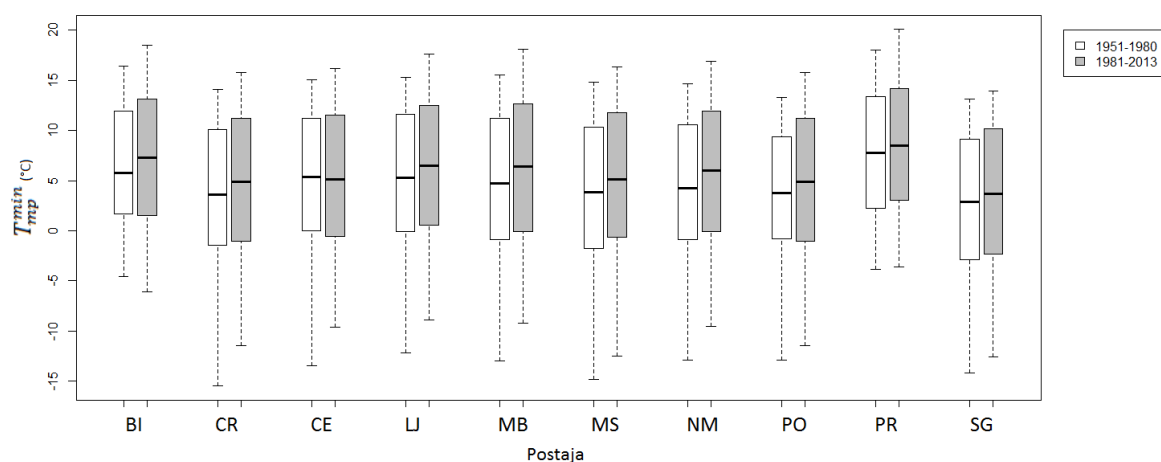
Povprečne najvišje temperature zraka so se na vseh obravnavanih mestih v obdobju 1981–2013 zvišale glede na obdobje pred tem. S povišanjem povprečne najvišje temperature zraka zaznavamo tudi povečanje variabilnosti razporeditev temperatur. Največje povečanje variabilnosti zaznavamo v Postojni, Črnomlju in na skrajnem vzhodu države, najmanjše pa v krajih ob morju. Razlika med obdobjema se giblje med 0,2 in 2,6 °C (Slika 31).



Slika 31: Okvirji z ročaji za obravnavane lokacije, ki predstavljajo porazdelitev mesečnih najvišjih temperatur zraka ($^{\circ}\text{C}$) za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni)

4.1.3 Povprečne najnižje mesečne temperature zraka

Povišanje zaznavamo na vseh obravnavanih mestih tudi pri povprečnih najnižjih temperaturah zraka. Najbolj so se povprečne najnižje temperature povišale na jugu in vzhodu Slovenije. Kraji z najhitreje rastočo povprečno najnižjo temperaturo zraka so Maribor, Novo mesto, Murska Sobota in Črnomelj. Najmanjši dvig je zaznan v krajih v bližini morja. Razlika med obema obdobjema se giblje med 0,1 in 1,6 $^{\circ}\text{C}$. Zaznali smo tudi povečanje variabilnosti razporeditev temperatur, opazno je znatno zmanjšanje števila najnižjih povprečnih temperatur. Variabilnost se je najbolj povečevala v krajih, ki imajo tudi povprečno višji dvig najnižje temperature zraka, torej v celinskem delu Slovenije, najmanj pa v krajih ob morju (Slika 32).



Slika 32: Okvirji z ročaji za obravnavane lokacije, ki predstavljajo porazdelitev mesečnih najnižjih temperatur zraka ($^{\circ}\text{C}$) za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni)

4.2 DOLŽINA VEGETACIJSKE DOBE IN TEMPERATURNE VSOTE

4.2.1 Dolžina vegetacijske dobe in temperaturne vsote pri pragu 5 °C

Dolžina vegetacijske dobe pri temperaturnem pragu 5 °C se je v obdobju 1981–2013 na vseh obravnavanih mestih podaljšala glede na obdobje pred tem. Najhitreje se je dolžina vegetacijske dobe pri tem temperaturnem pragu daljšala v Postojni s povprečno 4,8 dnevi na 10 let, sledijo Bilje in Maribor s povprečno 4,2 dnevi na 10 let. Najmanjše podaljšanje vegetacijske dobe je zaznано v Črnomlju s povprečno 0,6 dneva na 10 let. Pri temperaturnih vsotah zaznavamo podobno zgodbo kot pri dolžinah vegetacijske dobe pri tem temperaturnem pragu. Najvišje povečanje temperaturne vsote je bilo v Postojni s 158,7 °C na 10 let, najmanjše pa v Črnomlju z 32,4 °C na 10 let. Trendi so statistično značilni pri stopnji tveganja 0,01 (**), razen v Črnomlju in pri dolžini vegetacijske dobe v Slovenj Gradcu, kjer so statistično značilni pri stopnji tveganja 0,05 (*). Prav tako se je povečal standardni odklon dolžine vegetacijske dobe v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem na vseh obravnavanih mestih. Večji standardni odklon kaže na to, da so bile dolžine vegetacijske dobe v zadnjem obdobju bolj neenakomerno dolge oziroma bolj razpršene (Preglednica 5).

Preglednica 5: Vsota efektivnih temperatur in dolžina vegetacijske dobe s trendom ter standardnim odklonom pri temperaturnem pragu 5 °C

1951–1980					1981–2013				Trend za obdobje 1951–2013	
EGDD (°C)			Dolžina veg. dobe (dnevi)		EGDD (°C)		Dolžina veg. dobe (dnevi)		EGDD	Veg. doba
	Letna vsota	σ	Letno št. dni	σ	Letna vsota	σ	Letno št. dni	σ	°C/10 let	dni/10let
BI [*]	2937	123,6	292	17,4	3164	222,7	306	13,7	120,2**	4,2**
ČR	2614	156,7	270	14,8	2681	377,8	274	29,1	32,4*	0,6*
CE	2194	130,8	250	14,0	2506	172,5	260	16,4	89,6**	3,2**
LJ	2385	131,7	255	13,0	2694	195,8	264	17,2	92,5**	3,6**
MB	2311	124,0	252	13,9	2677	189,1	265	16,5	108,2**	4,2**
MS	2221	144,9	247	13,6	2535	190,8	255	15,7	87,4**	2,9**
NM	2372	124,8	263	13,7	2689	195,8	273	16,6	90,0**	3,2**
PO	1902	108,3	243	10,7	2506	172,5	259	16,2	158,7**	4,8**
SG	1886	122,3	230	11,4	2127	158,3	237	13,0	69,0**	2,4*

^{*}: niz podatkov se prične kasneje, BI- 1962

4.2.2 Dolžina vegetacijske dobe in temperaturne vsote pri pragu 10 °C

Dolžina vegetacijske dobe pri temperaturnem pragu 10 °C se je v obdobju 1981–2013 prav tako podaljšala na vseh obravnavanih mestih glede na obdobje pred tem. Hitrost daljšanja vegetacijske dobe pri tem temperaturnem pragu, je podobna kot pri temperaturnem pragu 5 °C. Najhitreje se vegetacijska doba podaljšuje pri tem temperaturnem pragu v Postojni z 8,3 dneva na 10 let, sledi Bilje s 5,7 dneva na 10 let. Najmanjše podaljšanje vegetacijske

dobe je zaznано v Črnomlju, kjer se je vegetacijska doba pri tem temperaturnem pragu podaljšala povprečno za 1,6 dneva v 10 letih. Temperaturne vsote pri pragu 10 °C imajo podobne odklone kot dolžina vegetacijske dobe. Temperaturne vsote so se v obdobju 1981–2013 povečale za 126,2 °C glede na obdobje pred tem v Postojni, sledi Maribor s 100,4 °C in Bilje z 97,2 °C. Izračunani trendi so statistično značilni pri stopnji tveganja 0,01 pri vseh krajih, razen Črnomlju, kjer je trend statistično značilen pri stopnji tveganja 0,05. Na večini obravavanih mestih je v obdobju 1981–2013 opazen tudi dvig standardnega odklona dolžine vegetacijske dobe, kar kaže na to, da so bile vegetacijske dobe pri tem temperaturnem pragu v zadnjem obdobju bolj neenakomerno dolge oziroma so bili podatki bolj razpršeni (Preglednica 6).

Preglednica 6: Vsota efektivnih temperatur in dolžina vegetacijske dobe s trendom ter standardnim odklonom pri temperaturnem pragu 10 °C

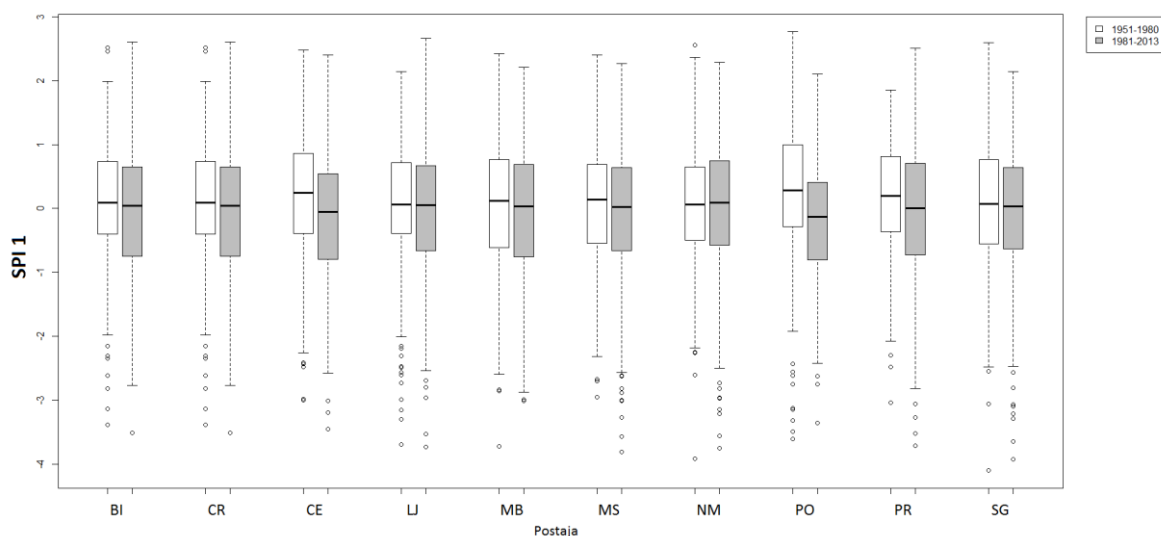
1951–1980					1981–2013				Trend za obdobje 1951–2013	
EGDD (°C)			Dolžina veg. dobe (dnevi)		EGDD (°C)		Dolžina veg. dobe (dnevi)		EGDD	Veg. doba
Letna vsota	σ		Letno št. dni	σ	Letna vsota	σ	Letno št. dni	σ	°C/ 10 let	dni/ 10let
BI	1610	111,9	222	10,0	1823	181,5	232	12,6	97,2**	5,7**
ČR	1415	128,9	206	11,7	1488	250,8	207	26,5	26,1*	1,6*
CE	1121	92,1	182	12,7	1367	131,0	198	10,2	69,4**	4,5**
LJ	1270	105,3	189	12,0	1522	150,7	205	12,1	73,4**	4,6**
MB	1211	92,5	187	11,6	1509	150,0	204	10,3	100,4**	5,1**
MS	1149	109,9	182	12,0	1406	151,5	197	9,8	70,0**	4,1**
NM	1225	95,0	194	11,6	1487	149,2	209	10,6	71,9**	4,5**
PO	882	84,4	166	11,3	1367	131,0	197	10,3	126,2**	8,3**
SG	903	90,4	163	12,2	1086	125,2	178	10,2	51,5**	4,0**

[†]: niz podatkov se prične kasneje, BI- 1962

4.3 VARIABILNOST PADAVINSKIH VZORCEV

4.3.1 Variabilnost mesečnih padavinskih vzorcev

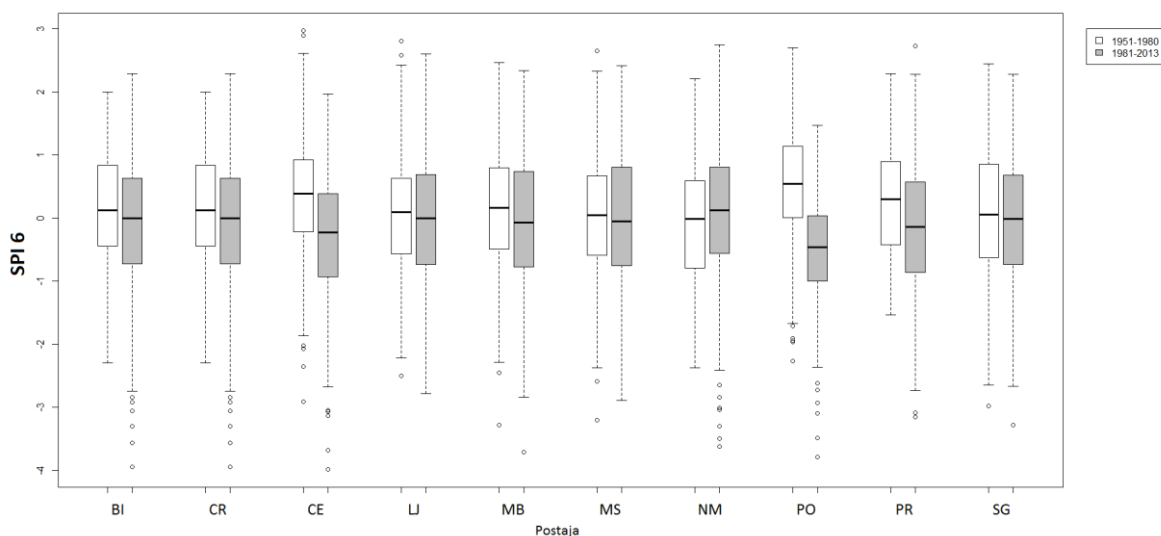
Variabilnost mesečnih padavinskih vzorcev se je v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem povečala na večini obravnavanih mest, razen na severu države. Razlika v indeksu SPI1 med obdobjema je povprečno med 0,1 in -0,5. Na postajah Bilje, Portorož, Črnomelj in Ljubljana je bilo v obdobju 1981–2013 več tako sušnih kot zelo namočenih mesecev glede na obdobje pred tem. Na postajah Celje, Maribor, Murska Sobota, Novo mesto in Postojna se je v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem število suhih mesecev povečalo, število zelo namočenih pa je rahlo padlo. Na postaji Slovenj Gradec pa zaznavamo zmanjšanje števila zelo namočenih mesecev, število suhih pa je ostalo na isti ravni kot v obdobju pred tem (Slika 33).



Slika 33: Okvirji z ročaji za mesečni standardiziran padavinski indeks – SPI1 za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni)

4.3.2 Variabilnost padavinskih vzorcev v šestih zaporednih mesecih

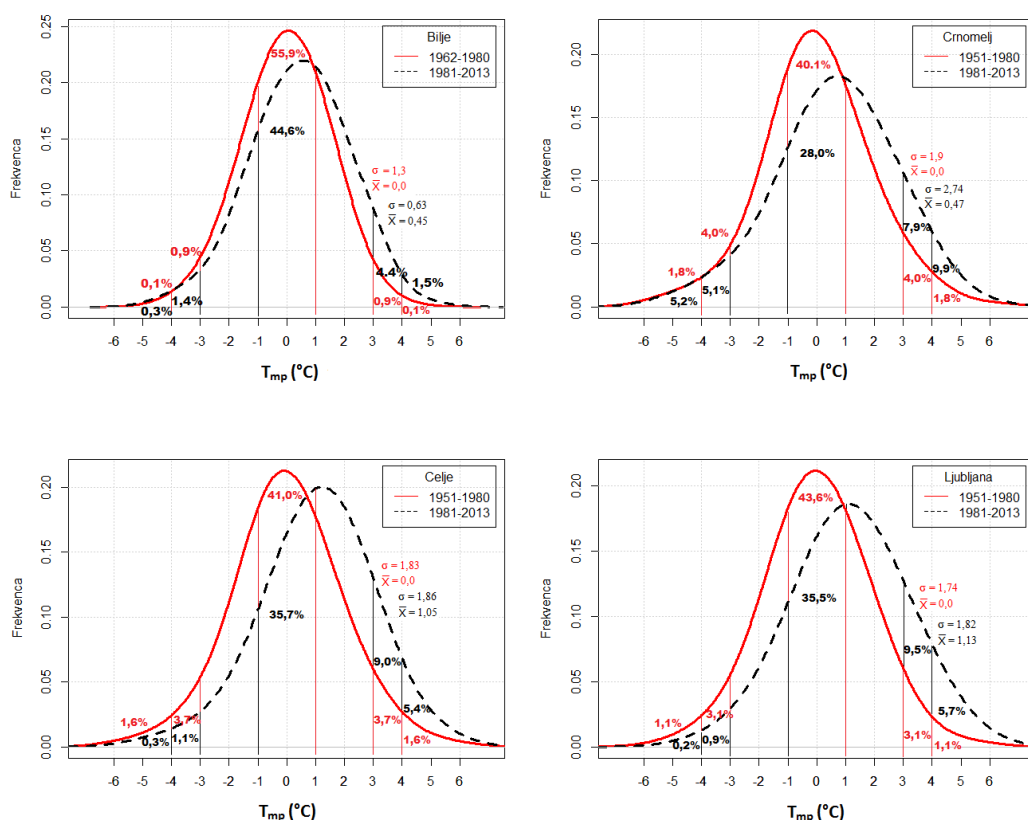
Variabilnost padavinskih vzorcev v šestih zaporednih mesecih se je v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem povečala na večini obravnavanih mest, razen na severu države. Na postajah Bilje, Črnomelj, Ljubljana, Murska Sobota, Novo mesto in Portorož zaznavamo, da je bilo v obdobju 1981–2013 več tako sušnih kot zelo namočenih mesecev glede na obdobje pred tem. Na postajah Celje, Maribor, Postojna in Slovenj Gradec se je v obdobju 1981–2013 število zelo namočenih mesecev zmanjšalo, število sušnih mesecev pa povečalo. Razlika v indeksu SPI6 med obdobjema je povprečno med 0,2 in -0,8 (Slika 34).



Slika 34: Okvirji z ročaji za standardizirani padavinski indeks v 6 zaporednih mesecih – SPI6 za obdobji 1951–1980 (svetli) in 1981–2013 (temni)

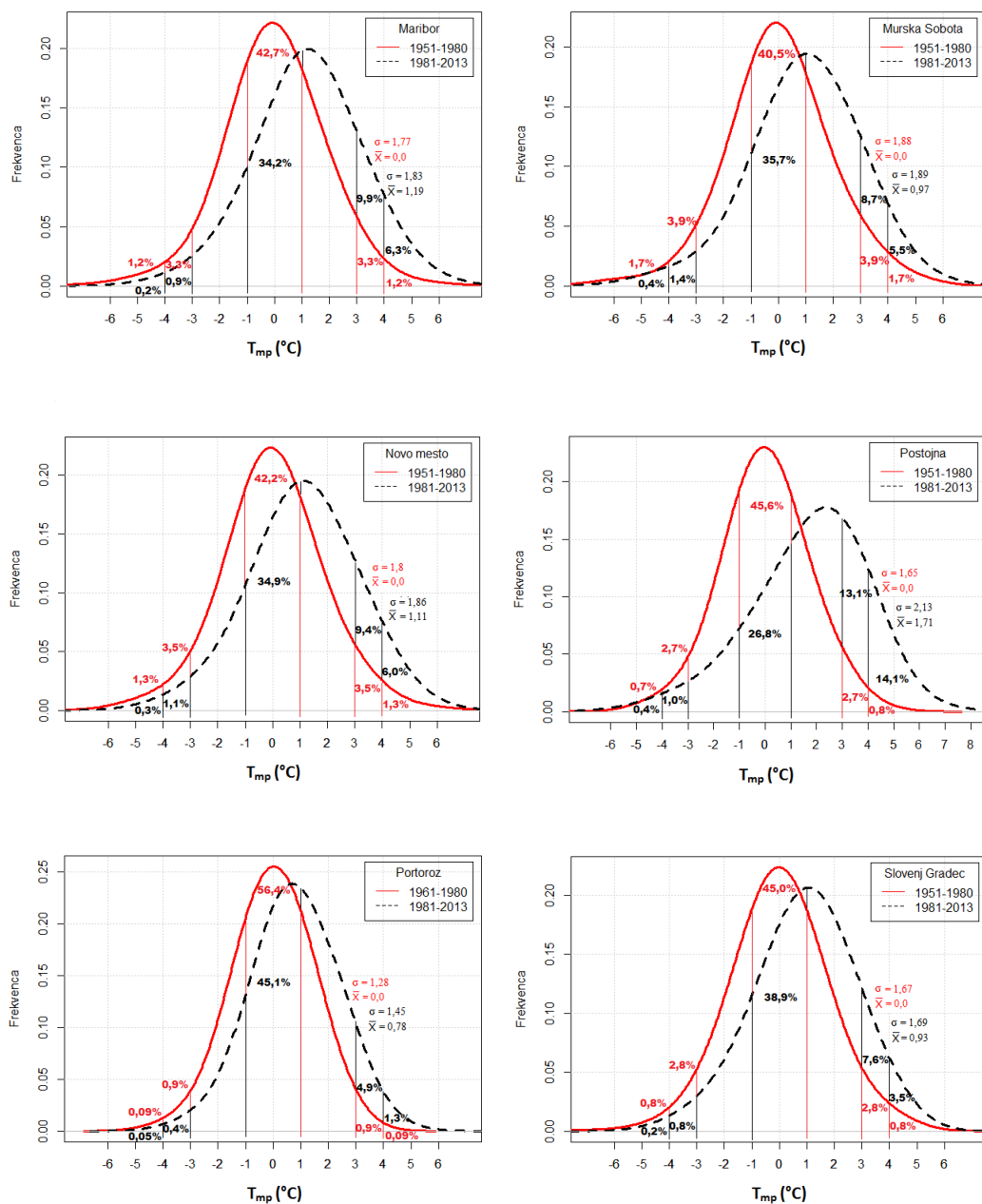
4.4 FREKVENČNA PORAZDELITEV POVPREČNIH TEMPERATUR ZRAKA

Kot smo že ugotovili pri analizi povprečnih temperatur zraka, se je povprečna temperatura zraka v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem povišala na vseh obravnavanih mestih. Pri frekvenčni porazdelitvi povprečnih temperatur zraka pa smo ugotovili tudi, da se je na vseh mestih povečala tudi varianca razporeditve povprečnih temperatur zraka v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem. Najmanjšo razliko v varianci opazimo v krajih ob morju, in sicer v Portorožu in Biljah ter krajih na severu države, v Slovenj Gradcu in Celju. Največje povečanje variance razporeditve povprečnih temperatur zaznamo na jugu in vzhodu Slovenije ter na gorskih pregradah, ki ločujejo mediteransko in celinsko podnebje. Največ ekstremno visokih povprečnih temperatur zraka je bilo v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem v Postojni, Črnomlju in Novem mestu. V Postojni je bila možnost za 3 – 4 °C višje temperature kot v obdobju pred tem višja za 13,1 %, v Črnomlju 7,9 %, v Novem mestu pa za 9,4 %. Možnost za povprečne temperature (-1 – 1 °C) se je glede na obdobje 1951–1980 v Postojni zmanjšala iz 45,6 % na 26,8 % v obdobju 1981–2013, v Črnomlju pa iz 40,1 % na 28 % (Slika 35).



Slika 35 se nadaljuje

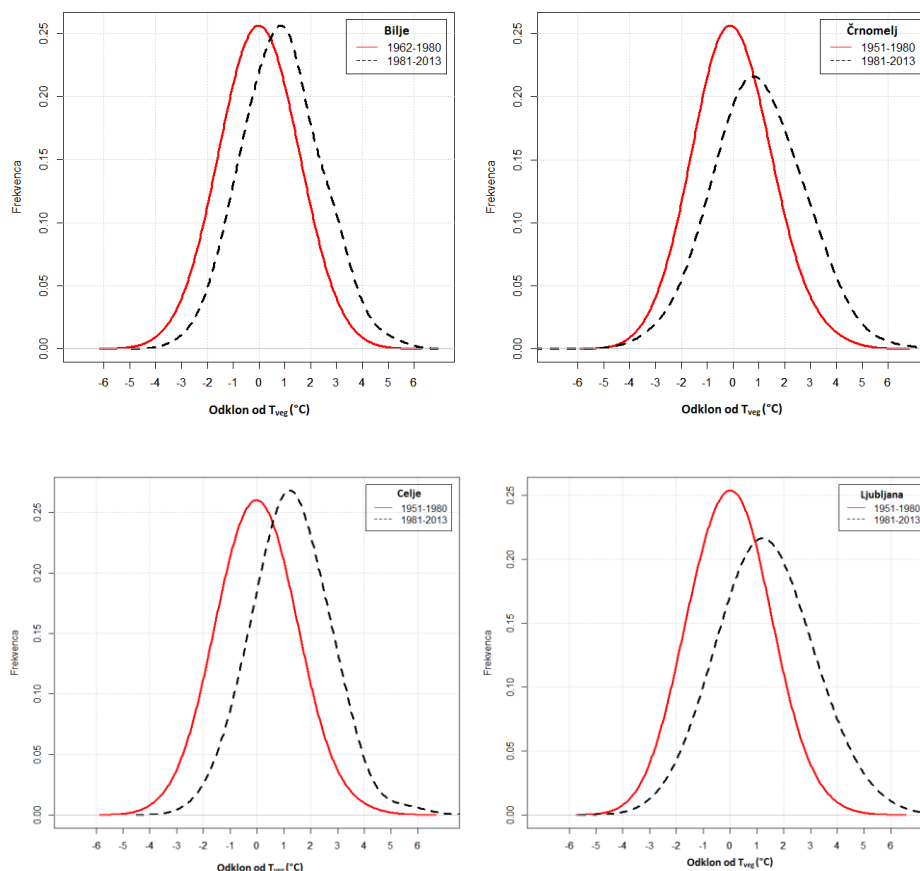
nadaljevanje slike 35



Slika 35: Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur za obravnavana mesta za obdobji 1951–1980 (rdeča) in 1981–2013 (črtkana)

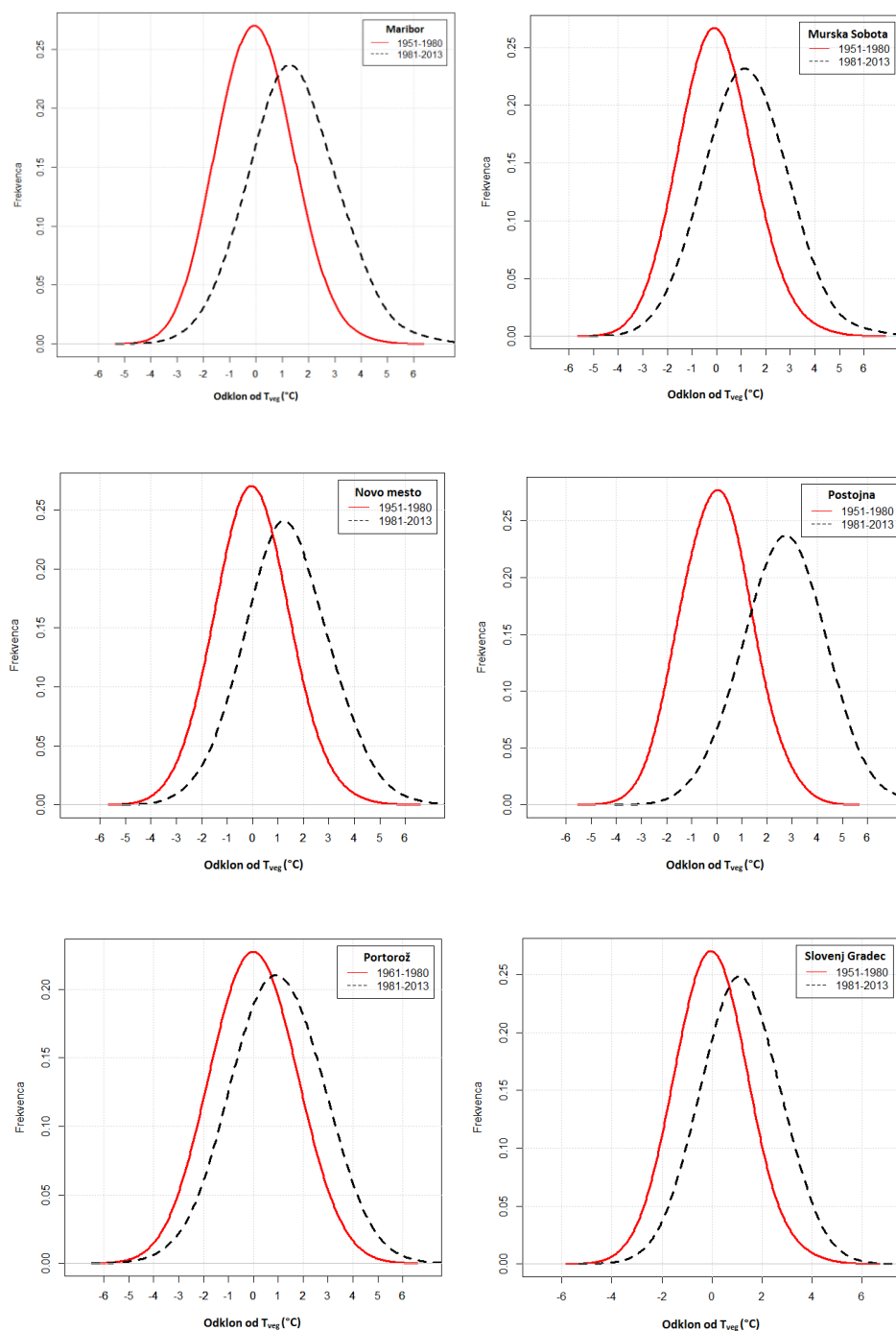
4.5 FREKVENČNA PORAZDELITEV POVPREČNIH TEMPERATUR ZRAKA V VEGETACIJSKI DOBI (APRIL–SEPTEMBER)

Pri frekvenčni porazdelitvi povprečnih temperatur v vegetacijski dobi so trendi naraščanja povprečja in večanje variance razporeditve temperatur zraka podobni kot na letni skali, vendar so v tem primeru na večini obravnavanih mest še bolj izraziti kot v celoletnem merilu. Najmanjša sprememba variance razporeditve povprečnih temperatur zraka je opazna v Biljah in Portorožu, najvišja pa v Postojni, Mariboru in Ljubljani. Možnost, da povprečna mesečna temperatura v vegetacijski dobi ne bo odstopala od povprečja za več kot $\pm 1^\circ\text{C}$, se je v obdobju 1981–2013 zmanjšala na vseh obravnavanih mestih, glede na obdobje pred tem. Najmanjše zmanjšanje možnosti za ta temperaturni razpon je opazen v krajih ob morju in sicer v Portorožu za 15,4 % v Biljah pa za 17,7 %. Najvišje zmanjšanje možnosti za $\pm 1^\circ\text{C}$ odstopanje od povprečja je v Postojni za 49,8 %, sledi Črnomelj za 31,9 % in Maribor za 27 %. Povečala pa se je možnost za višje povprečne mesečne temperature v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem. Med drugim je bila možnost za več kot 4°C višje povprečne temperature v vegetacijski dobi v Postojni 17,8 % in v Črnomlju 13,7 %. V Črnomlju opazimo tudi povečanje možnosti za nižje temperature, in sicer za odstopanje v temperaturnem razponu $-3 - -4^\circ\text{C}$ za 4,6 % in za odstopanje nad -4°C za 7 % (Slika 36, Preglednica 7).



Slika 36 se nadaljuje

nadaljevanje slike 36



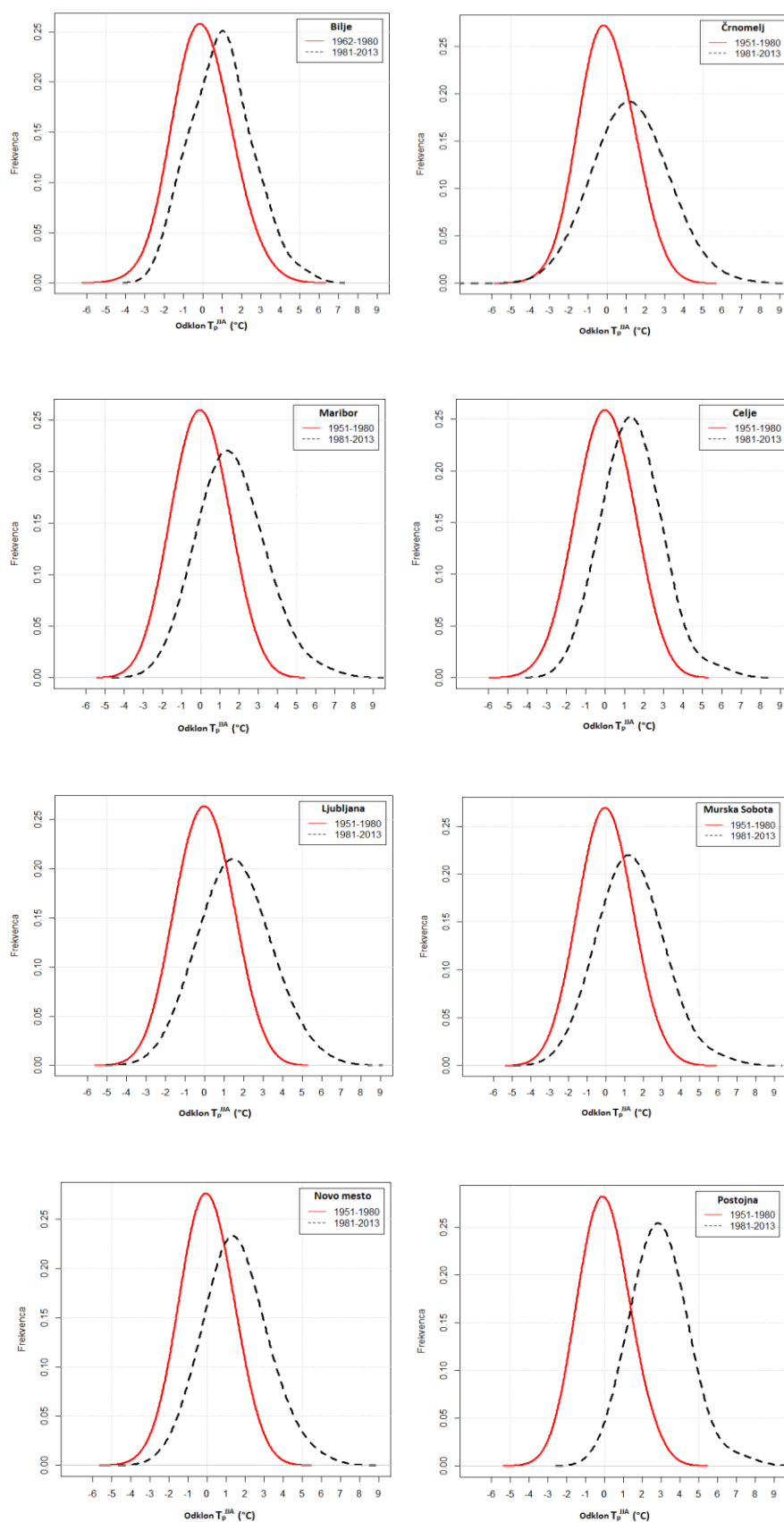
Slika 36: Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur v vegetacijski dobi (april–september) za obravnavana mesta za obdobji 1951–1980 (rdeča) in 1981–2013 (črtkana)

Preglednica 7: Povprečje, standardni odklon ter odstopanje obdobja 1981–2013 od 1951–1980 v povprečnih temperaturah zraka v vegetacijski dobi (april – september) za obravnavana mesta v %

Mesto	Obdobje	$\bar{X}$	σ	Odstopanje drugega niza po temperaturnih intervalih (%)				
				< -4 °C	-4 do -3 °C	-1 do 1 °C	3 do 4 °C	>4 °C
BI	1951-1980	0,0	1,16					
	1981-2013	0,89	1,46	0,0	-0,1	-17,7	5,2	1,6
CR	1951-1980	0,0	1,28					
	1981-2013	0,57	2,12	7,0	4,6	-31,9	7,4	13,7
CE	1951-1980	0,0	1,2					
	1981-2013	1,27	1,32	-0,04	-0,5	-21,7	7,0	1,9
LJ	1951-1980	0,0	1,23					
	1981-2013	1,34	1,48	-0,04	-0,5	-23,1	8,8	3,5
MB	1951-1980	0,0	1,18					
	1981-2013	1,44	1,47	-0,02	-0,4	-27,0	9,9	4,1
MS	1951-1980	0,0	1,21					
	1981-2013	1,23	1,41	-0,04	-0,5	-21,0	7,4	2,4
NM	1951-1980	0,0	1,2					
	1981-2013	1,34	0,42	-0,03	-0,5	-24,1	8,5	3,0
PO	1951-1980	0,0	1,18					
	1981-2013	2,71	1,4	-0,03	-0,5	-49,8	23,5	17,8
PR	1951-1980	0,0	1,13					
	1981-2013	0,87	1,29	0,0	-0,2	-15,4	3,7	0,7
SG	1951-1980	0,0	1,18					
	1981-2013	1,15	1,33	-0,02	-0,4	-20,3	6,1	1,6

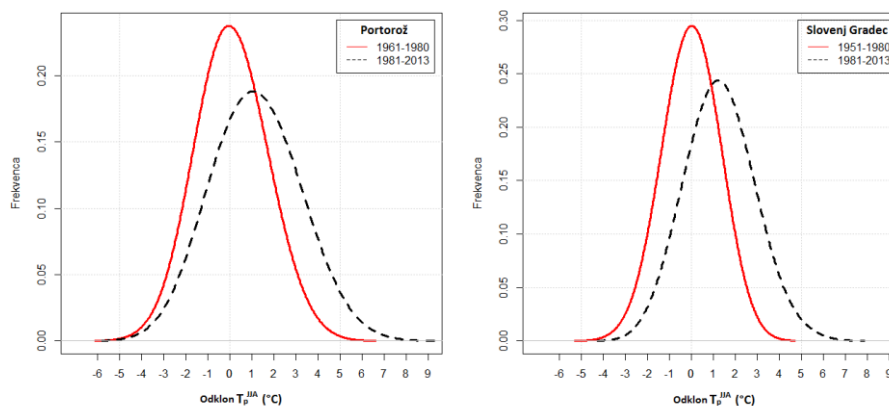
4.6 FREKVENČNA PORAZDELITEV POVPREČNIH TEMPERATUR V METEOROLOŠKEM POLETJU (JUNIJ – AVGUST)

Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur v meteorološkem poletju oziroma v tromesečju junij, julij in avgust, pokaže še večja odstopanja povprečnih mesečnih temperatur zraka kot porazdelitev v vegetacijski dobi. Zmanjšanje možnosti za odstopanja, manjša od ± 1 °C v tem tromesečju, je še za povprečno 10 % manjše kot v vegetacijski dobi. Hkrati pa pokaže še višja odstopanja za višje povprečne mesečne temperature zraka. Na večini obravnavanih mest je bila možnost za 3 – 4 °C višje povprečne temperature za okoli 10 % višja v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem, med drugim v Postojni kar za 27,4 % (Slika 37, Preglednica 8).



Slika 37 se nadaljuje

nadaljevanje slike 37



Slika 37: Frekvenčna porazdelitev povprečnih temperatur v meteorološkem poletju (junij, julij, avgust) za obravnavana mesta za obdobja 1951–1980 (rdeča) in 1981–2013 (črtkana)

Preglednica 8: Povprečje, standardni odklon ter odstopanje obdobja 1981–2013 od 1951–1980 v povprečnih temperaturah zraka v meteorološkem poletju (junij, julij, avgust) za obravnavana mesta v %

Mesto	Obdobje	$\bar{X}$	σ	Odstopanje drugega niza (%)				
				< -4 °C	-4 do -3 °C	-1 do 1 °C	3 do 4 °C	>4 °C
BI	1951-1980	0,0	1,15					
	1981-2013	1,0	1,5	0,02	-0,01	-20,1	6,3	2,2
CR	1951-1980	0,0	1,12					
	1981-2013	0,6	2,81	11,5	5,6	-42,2	7,4	18,4
CE	1951-1980	0,0	1,07					
	1981-2013	1,4	1,32	0,0	-0,2	-30,5	8,7	2,5
LJ	1951-1980	0,0	1,08					
	1981-2013	1,58	1,48	0,0	-0,2	-33,6	11,5	5,1
MB	1951-1980	0,0	1,06					
	1981-2013	1,63	1,5	0,0	-0,1	-35,7	12,1	5,7
MS	1951-1980	0,0	1,07					
	1981-2013	1,38	1,45	0,0	-0,1	-30,2	9,4	3,5
NM	1951-1980	0,0	1,02					
	1981-2013	1,5	1,4	0,0	-0,1	-34,3	10,2	3,6
PO	1951-1980	0,0	2,9					
	1981-2013	1,06	1,29	0,0	-0,2	-58,9	27,4	20,5
PR	1951-1980	0,0	1,13					
	1981-2013	1,19	1,45	0,0	-0,1	-23,9	7,5	2,6
SG	1951-1980	0,0	1,3					
	1981-2013	0,94	1,27	0,0	-0,03	-34,2	7,3	1,7

5 RAZPRAVA

V analiziranem obdobju je temperatura naraščala na vseh obravnavanih mestih s povprečnim trendom $0,45\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$, kar uvršča Slovenijo v kraje z najhitreje naraščajočimi povprečnimi temperaturami. Prav tako se povečujejo tudi povprečne najvišje in najnižje temperature zraka. Najhitreje so se segrevali kraji ob morju in na zahodu države. V obravnavanem obdobju 1981–2013 se je temperatura glede na obdobje pred tem najbolj povečala v Postojni, in sicer za $1,72\text{ }^{\circ}\text{C}$. To kaže na hitrejše ogrevanje v krajih z višjo nadmorsko višino in vplivom Mediterana. Glede na napovedi različnih meteoroloških modelov pričakujemo v prihodnje nadaljnje višanje povprečnih temperatur po Sloveniji, in sicer bodo s trenutnim trendom v obdobju 2011–2040 povprečne temperature v Sloveniji še za $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ višje. V celinskem delu Slovenije se bodo povprečno gibale med 11 in $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, torej bodo dosegale podobne vrednosti kot so sedaj na Primorskem, na kar se bodo morale prilagoditi tudi rastline (Olesen in sod., 2011). Variabilnost povprečnih temperatur je v obdobju 1981–2013 naraščala na vseh obravnavanih mestih, prav tako pa pričakujemo nadaljnje povečevanje variabilnosti razporeditev povprečij temperatur (Preglednica 4).

Glavni temperaturni omejitveni dejavnik kmetijske pridelave so visoke najvišje dnevne temperature zraka, saj temperature nad $28 - 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ omejujejo fotosintezo znatnemu delu flore pri nas. Že pri maksimalnih dnevnih temperaturah nad $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ se zmanjša tudi pridelek pri najpomembnejših kmetijskih rastlinah (Lobel in sod, 2011; Hurkman in sod., 2009). Navidezni maksimum povprečnih temperatur v celinski Sloveniji se je iz povprečja $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ v obdobju 1951–1980 dvignil na $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ v obdobju 1981–2013 (Slika 31). Pri teh temperaturah pa lahko zaznamo že znatno zmanjšanje pridelka glavnih kmetijskih rastlin, še posebej če se visoke temperature dogajajo v povezavi s sušnim stresom. To se je pokazalo v Sloveniji v letih 2003 in 2013 z znatnim zmanjšanjem hektarskega pridelka glavnih kmetijskih rastlin. Glede na trende povprečnih temperatur lahko postane problem tudi pomanjkanje nizkih temperatur pri procesu vernalizacije predvsem pri jablanah (*Malus domestica*) ter poseb zaradi hitrejšega nastopa fenofaze cvetenja (Katerji in sod., 2008).

Povečevanje povprečne temperature v Sloveniji je primerljivo s povečanjem v širšem delu srednje in južne Evrope. Zaradi povišane povprečne temperature se premikajo pasovi optimalnih temperatur, predvsem za ozimna žita, proti severu. Tako se na severu Evrope pridelovalni pogoji izboljšujejo, na jugu Evrope pa zaradi višjih temperatur in sušnih stresov slabšajo. Slovenija se nahaja na meji teh dveh ekstremov, tako da se hektarski donos večine kmetijskih rastlin rahlo povečuje, vendar nastopajo leta, ko je ta znatno zmanjšan. Do leta 2040 pričakujemo ob napovedanem dvigu povprečne temperature z zadostnimi padavinami, kljub eroziji tal zaradi obilnejših padavinskih dogodkov, povečanje kmetijske pridelave $1 - 5\%$, vendar je pri tem sprememba v odzivu rastlinskih bolezni in škodljivcev neznana. Vrednost povišanja kmetijske pridelave pa je v tem primeru odvisna od posamezne prilagoditve kmetovalcev. V prihodnosti pričakujemo tudi, da bodo na našem območju zaradi padavinskih razporeditev leta, ko bo pridelava zmanjšana kot na primer leta 2003 in 2013, pogostejša glede na leta, ko je le-ta povečana kot v letih 2011 in

2014. To predvsem velja za kraje ob morju, jug ter vzhod Slovenije, kjer se nahaja največ kmetijskih površin (Olesen, 2016).

S povečevanjem povprečnih temperatur po Sloveniji se je podaljševala tudi vegetacijska doba pri temperaturnih pragovih 5 °C in 10 °C. Vegetacijska doba se je v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem začela povprečno prej in tudi zaključila kasneje. Največje podaljšanje vegetacijske dobe je bilo zaznано na jugozahodu države, najmanjše pa na skrajnem severu in jugu države (Preglednica 5). V prihodnjih desetletjih pričakujemo nadaljnje podaljševanje vegetacijske dobe, pri tem pa bi se zaradi spremembe pojavljanja fenoloških faz rastna doba rastlin skrajšala. Temperaturne vsote so se skladno s podaljševanjem vegetacijske dobe večale. Najbolj očitno povečanje temperaturnih vsot pri obravnavanih temperaturnih pragovih je bilo v krajih, kjer se je tudi vegetacijska doba najbolj podaljšala. Podobne trende temperaturnih vsot zaznavajo tudi drugje po Evropi. Cvetenje večine enoletnih in trajnih rastlin na območju Evrope se je v zadnjih 40 letih začelo v povprečju 2 dni na dekada prej. Torej se fenofaza cvetenja pomika vedno bolj v obdobje, ko nevarnost slane še ni minila (Kajfež-Bogataj in sod., 2009; Olesen, 2016).

Variabilnost padavinskih vzorcev se je v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem povečala na večini obravnavanih mest, razen na severu države. Obravnava mesečnih padavinskih vzorcev je pokazala, da se variabilnost najbolj povečuje v zahodni polovici države. Tu je bilo v zadnjem obdobju zaznано povečanje števila bolj sušnih in hkrati zelo namočenih mesecev (Slika 33). Oba ekstrema pa sta za kmetijsko pridelavo pogubna. Sušni dogodki so in bodo na področju Slovenije tudi največji omejevalni dejavnik kmetijske pridelave, zato je nujno povečanje površine, pokrite z namakalnimi sistemi in hkrati boljše odvodnjavanje površin.

Obravnava variabilnosti padavinskih vzorcev v šestih zaporednih mesecih je pokazala podobna povečanja variabilnosti padavinskih vzorcev kot mesečna analiza. V zadnjih desetletjih na področju Slovenije tako opazamo povečevanje števila in obsežnosti kmetijskih suš, prav tako pa se vrstijo ekstremni poplavni dogodki (Slika 34). Neposredna statistično značilna povezava med enomesečnim padavinskim indeksom in količino pridelka najpomembnejših kmetijskih rastlin pa kaže na to, da se pogoji za kmetijsko pridelavo iz tega vidika slabšajo (Hlavinka in sod., 2009). Analiza šetmesečnega zaporednega padavinskega obdobja obravnava predvsem presežek ali primanjkljaj vode v daljšem časovnem obdobju in vpliv na vodotoke in nivo podzemne vode, ki je pomemben pri namakanju kmetijskih površin. Površina, ki jo v Sloveniji namakamo, ni velika, vendar se povečuje. S povečevanjem namakalnih površin pa bo nivo podtalne vode in rek vedno bolj pomemben za pridelavo kmetijskih rastlin.

Varianca razporeditve povprečnih temperatur se povečuje, torej zaznavamo večje število višjih in hkrati nižjih temperatur. Največje povečanje variance v zadnjem obdobju ugotavljamo v povprečju na jugu in vzhodu Slovenije. Na merilnem mestu Murska Sobota je bila v obdobju 1981–2013 za kar 6,4 %, v Postojni pa za 10,4 % višja možnost za 3 –

4 °C višje povprečne temperature glede na obdobje pred tem (Slika 35). Povečanje variance povprečnih temperatur negativno vpliva na kmetijsko pridelavo, saj višja možnost za ekstremne visoke in hkrati ponekod tudi nizke temperature povečuje tveganje za nastanek škod v kmetijstvu. S povečevanjem povprečnih temperatur in njihove razporeditve pa se povečuje tudi evapotranspiracija v času vegetacije rastlin, kar dodatno poveča potrebo rastlin po vodi in poviša možnost za nastek kmetijskih suš. Zaradi navedenega v prihodnosti pričakujemo nihanje hektarskega donosa večine glavnih kmetijskih rastlin, kar bo negativno vplivalo na trge s hrano in drugimi surovinami, ki jih zagotavlja kmetijska pridelava (Olesen, 2016).

V prihodnosti bo nujna sprememba kmetijskih praks, kot so sprememba časa setve in žetve, načina obdelave tal, intenzivnosti gnojenja, frekvence košenj, namakanja, reje živali in drugih kmetijskih tehnologij. Pri obdelavi tal bo favorizirana konzervirajoča ali ohranitvena obdelava tal. Intenzivnost gnojenja, število košenj in obširnost namakanja bo povečana. Pri tehnologijah bo pomembna postavitev protitočnih mrež na trajnih nasadih (sadovnjaki in vinogradi), odvodnjavanje viškov meteorne vode na kmetijskih površinah ter namakalnih sistemih. Potrebna količina gnojil se bo najverjetneje povečala, namakanje pa bo smotrno na vrednejših posevkih. Priporočljivejša bo setev na sušo in visoke temperature bolj odpornih kultivarjev. V prihodnosti kaže na povečanje travnih površin, ker so manj občutljive na erozijo, to pa bo verjetno na dolgi rok povzročilo zmanjšanje površin njiv in povečanje površin trajnih travnikov. Najpomembnejše pa bo seveda izobraževanje kmetovalcev v smeri prilagajanja na podnebne spremembe.

6 SKLEPI

- Prva delovna hipoteza je potrjena. Podnebje se je na področju Slovenije v zadnjih desetletjih spremenilo. Spremenila so se tako povprečja temperaturnih in padavinskih spremenljivk kot njihove variance na večini obravnavanih mest.
- Druga delovna hipoteza o povišanju povprečnih mesečnih temperatur je potrjena. Temperature so se dvignile na celotnem območju Slovenije, prav tako so zaznane višje variance povprečij temperatur.
- Vsota efektivnih temperatur pri različnih pragovih se je zvišala, prav tako se je podaljšala vegetacijska doba na celotnem ozemlju Slovenije. Ta hipoteza je potrjena. Dolžina vegetacijske dobe narašča v povprečju med 1 in 8 dnevi v desetletju.
- Hipoteza o spremembi razporeditev padavin je delno potrjena, saj se je zvišala na večjem delu države, razen na severu.
- Hipoteze, da so se klimatski pogoji za kmetijstvo v Sloveniji poslabšali, ne moremo ne potrditi ne ovreči, saj bi bile potrebne še dodatne raziskave vpliva klime na kvantiteto in kvaliteto pridelka. Načeloma so se klimatske razmere v večjem delu izboljšale zaradi daljše vegetacijske dobe in višjih temperatur, vendar so te višje temperature poleti tudi omejevalni dejavnik. Povezava variabilnosti padavinskih vzorcev in razporeditev povprečnih temperatur pa se je za kmetijsko pridelavo poslabšala.

7 POVZETEK

Kmetijstvo je gospodarska panoga, ki v trenutni obliki večinoma poteka na prostem in je zato nepreklicno povezana s podnebjem, v katerem se nahaja. Zaradi antropogenih vplivov na podnebje in posledičnih podnebnih sprememb se je kmetijstvo prisiljeno nanje tudi prilagoditi.

Podnebne spremembe vplivajo na agroekosisteme in so lahko pozitivne ali/ in negativne ter jih lahko razdelimo na: nihanja v podnebnem sistemu, dviganje temperatur, vročinski stres, povečanje atmosferskega CO₂, pojav troposferskega ozona, količina in razporeditev padavin, pojav pozeb ter frekvenca pojavljanja ekstremnih vremenskih dogodkov, kot so suše in poplave. Na svetovnem nivoju bi lahko dodali še dvig morske gladine, predvsem na območjih, kjer so pridelovalne površine v priobalnem pasu na nizkih nadmorskih višinah in prihaja do zasoljevanja tal.

Namen magistrskega dela je bil ovrednotenje sprememb agrometeoroloških spremenljivk v obdobju 1951–2013. Izbrali smo povprečne, najvišje in najnižje dnevne temperature zraka, vegetacijsko dobo in temperaturne vsote pri dveh temperaturnih pragovih, in sicer 5 °C in 10 °C. Primerjali smo variabilnosti padavinskih vzorcev z uporabo SPI indeksa v 1 in 6 zaporednih mesecih ter frekvenčno porazdelitev povprečnih temperatur. Vse spremenljivke smo analizirali za deset meteoroloških postaj, ki so enakomerno porazdeljene na področju Slovenije. Nize meritev pa smo razdelili v dve dolgoletni obdobji, in sicer 1951–1980 in 1981–2013 ter ju med saboj primerjali.

Med obema preučevanima obdobjema smo ugotovili statistično značilne spremembe v večini analiziranih spremenljivk. Povprečna temperatura zraka v Sloveniji se je v obdobju 1981–2013 glede na obdobje pred tem zvišala za 0,995 °C. Najvišjo razliko smo ugotovili v zahodni Sloveniji oz. zahodno od vrhov Dinaridov. Trend ogrevanja je najvišji ob morju (0,51 °C/10 let), v preostalem delu Slovenije pa se giblje med 0,43 in 0,46 °C na desetletje. Podobne spremembe smo opazili tudi pri najvišjih in najnižjih temperaturah.

Zaznali smo podaljšanje vegetacijske dobe in zvišanje temperaturnih vsot pri različnih temperaturnih pragovih. Vegetacijska doba se v Sloveniji podaljšuje s trendom med 1 in 8 dnevi na desetletje. Zaznali smo tudi povečanje variabilnosti padavinskih vzorcev po vsej Sloveniji, razen na severu države. Trend pa je najvišji v zahodni polovici države. Ugotovljeno je bilo tudi povečanje variabilnosti razporeditve povprečnih temperatur, ki je najbolj očitno v vzhodnem delu Slovenije, najmanj pa v krajih ob morju.

8 VIRI

- Archer D., Buffett B. 2005. Time-dependent response of the global ocean clathrate reservoir to climatic and anthropogenic forcing. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* – G3 6, 3 : 1–13
- ARSO. 2015. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ministrstvo za okolje in prostor RS. <http://www.arso.gov.si/> (20. 11. 2015)
- ARSO. Kazalci okolja. 2015. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ministrstvo za okolje in prostor RS. http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=11 (15.3.2016)
- ARSO. Projekt PSS. 2015. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ministrstvo za okolje in prostor RS. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/pss-project/> (15.3.2016)
- ARSO. SPI– Standardizirani padavinski indeks. 2015. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ministrstvo za okolje in prostor RS. http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/indeks_spi/ (15.3.2016)
- Booker F., Muntifering R., McGrath M., Burkey K., Decoteau D., Fiscus E., Manning W., Krupa S., Chappelka A., Grantz D. 2009. The ozone component of global change: Potential Effects on Agricultural and Horticultural Plant Yield, Product Quality and Interactions with Invasive Species. *Journal of Integrative Plant Biology*, 51, 4: 337– 351
- Cassou C. 2008. Intraseasonal interaction between the Madden–Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation. *Nature*, 455: 523–527
- Chen D., Chen H. 2013. Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. *Environmental Development*, 6: 69–79
- Church J. A., White N. J. 2011. Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, 32: 585–602
- Črepinšek Z., Kajfež Bogataj L., Bergant K. 2006. Modeling of weather variability effect on fitophenology. *Ecological Modelling*, 194, 1–3: 256–265
- Dassie E., Lemley G., Linsley B. 2013. Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology, 370: 30–40
- Derksen C., Smith S.L., Sharp M., Brown L., Howell S., Copland L., Mueller D.R. 2012. Variability and change in the Canadian cryosphere. *Climatic Change*, 115: 59–88
- Domingues C. M., Church J. A., White N. J., Gleckler P. J., Wijffels S. E., Barker P. M., Dunn J. R. 2008. Improved estimates of upper-ocean warming and multidecadal sea-level rise. *Nature*, 453: 1090–1093
- Donat M. G., Alexander L. V., Yang H., Durre I., Vose R., Dunn R. J. H., Willett, K. M., Aguilar E., Brunet M., Caesar J., Hewitson B., Jack C., Klein Tank A. M. G., Kruger A. C., Marengo J., Peterson T. C., Renom M., Oria Rojas C., Rusticucci M., Salinger J. 2013. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the

- beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, 118: 2098–2118
- FAO-STAT. 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/377/DesktopDefault.aspx?PageID=377#ancor> (20.6. 2015)
- Gueymard C. 2004. The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models. *Solar Energy*, 76, 4: 423–453
- Hansen J., Sato M., Ruedy R., Schmidt G., Lo K. 2016. Global temperature in 2015. GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). NASA Goddard Institute for Space Studies. <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (30. 1. 2016)
- Hlavinka P., Trnka M., Semerádová D., Dubrovský M., Žalud Z., Možný M. 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 431–442
- Hoppe P. 2000. Challenges for biometeorology on the turn of the century. V: *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium*, Geneva, WMO: 383–386
- Hollinger S.T. 1994. Future direction and needs in agricultural meteorology /climatology and modeling. *Agriculture and Forest Meteorology*, 69: 1–7
- Hurkman W.J., Vensel W.H., Tank C.K., Whitehand L., Altenbach S.B. 2009. Effect of high temperature on albumin and globulin accumulation in the endosperm proteome of the developing wheat grain. *Journal of Cereal Science*, 49: 12–23
- IPCC. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to The third assessment. 2001. Cambridge, Cambridge University Press: 881 str.
- IPCC. Climate change 2007: The scientific basis. Contribution of working group I to The fourth assessment. 2007. Cambridge, Cambridge University Press: 996 str.
- IPCC. Climate change 2013: The scientific basis. Contribution of working group I to The fifth assessment. 2013. Cambridge, Cambridge University Press: 1535 str.
- Kajfež-Bogataj L. 2005. Podnebne spremembe in ranljivost kmetijstva. *Acta agriculturae Slovenica*, 85, 1: 25–40
- Kajfež-Bogataj L. 2008. Kaj nam prinašajo podnebne spremembe. Ljubljana, Pedagoški inštitut: 134 str.
- Kajfež-Bogataj L., Pogačar T., Ceglar A., Črepinšek Z. 2009. Spremembe agro-klimatskih spremenljivk v Sloveniji v zadnjih desetletjih. *Acta agriculturae Slovenica*, 95, 1: 97–109
- Katerji N., Mastrorilli M., Rana G. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28: 493–507
- Klok E. J., A. Tank. 2009. Updated and extended European dataset of daily climate observations. *International Journal of Climatology*, 29: 1182–1191

- Košmelj K. 2007. Uporabna statistika. Ljubljana, Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani: 239 str.
- Kumar Singh V. 2012. Climate change and its impact on agriculture: a review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 5, 3: 297–302
- Levitus S., Antonov J. I., Boyer T. P., Locarnini R. A., Garcia H. E., Mishonov A. V. 2009. Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems. *Geophysical Research Letters*, 36: L07608, doi: 10.1029/2008GL037155: 22 str.
- Lobell D.B., Banziger M., Magorokosho C., Vivek B. 2011. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trails. *Nature Climate Change*, 1: 42–45
- Mohammed A.R., Tarpley L. 2009. High nighttime temperatures affect rice productivity through altered pollen germination and spikelet fertility. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 999–1008
- NDMC. 2015. National Drought Mitigation Center. Lincoln, NE, ZDA.
<http://drought.unl.edu/MonitoringTools> (20. 8. 2015)
- NOAA NCEI. 2016. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Centers for Environmental Information, ZDA.
<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/dbsearch/dbsearch.html> (30. 1. 2016)
- Olesen J.E., Niemeyer S., Ceglar A., Roggero P.P., Lehtonen H., Schonhart M. 2016. Agriculture. Copenhagen. European Environment Agency: 22 str.
- Olesen J.E., Trnka M., Kersebaum K.C., Skjelvag A.O., Seguin B., Peltonen-Sainio P., Rossi F., Kozyra J., Micale F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34, 2: 96–112
- Parkinson C. L., Cavalieri D. J. 2012. Antarctic sea ice variability and trends 1979–2010. *Cryosphere*, 6: 871–880
- Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I., Barnola M., Basile I., Bender M., Chappellaz J. et.al. 2001. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399: 429–436
- Purkey S. G., Johnson G. C. 2010. Warming of global abyssal and deep Southern Ocean waters between the 1990s and 2000s: Contributions to global heat and sea level rise budgets. *Journal of climate*, 23: 6336–6351
- Rakovec J., Vrhovec T. 2007. Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike. Ljubljana, DMFA založništvo: 313 str.
- Rijks D., Baradas M.W. 2000. The clients for the agrometeorological Information. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: 27–42
- Rosenzweig C., Hillel D. 2008. Climate change and the global harvest: impacts of El Nino and other oscillations on agroecosystems. Oxford, Oxford University Press: 259 str.

- Sabine C.L., Feely R., Gruber N., Key R., Lee K., Bullister J., Wanninkhof R., Wong C.S., Wallace D., Tilbrook B., Millero F., Peng T., Kozyr A., Ono T., Rios A. 2004. The oceanic sink for antropogenic CO₂. *Science*, 305: 367–371
- Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Kosmach D., Bel'cheva N. 2010. Geochemical and geophysical evidence of methane release over the East Siberian Arctic Shelf. *Geophysical Research Abstracts*, 115: C08007, doi: 10.1029/2009JC005602: 14 str.
- Stališče slovenskega meteorološkega društva o podnebnih spremembah. 2011. Ljubljana, Slovensko meteorološko društvo: 30 str.
- SURS. 2015. Statistični urad Republike Slovenije.
<http://www.stat.si/StatWeb/prikazi-novico?id=5110&idp=11&headerbar=9> (20. 11. 2015)
- Wadhams P., Davis N. R. 2000. Further evidence of ice thinning in the Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 27: 3973–3975
- Walter K., Zimov S., Chanton J., Verbyla D., Chapin F. 2006. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming. *Nature*, 443 : 71–5
- Wei G., Mc Culloch M.T., Mortimer G., Deng W., Xie L. 2009. Evidence of ocean acidification in Great Barrier Reef of Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73: 2332–2346
- Wild M., Foloni D., Schar C., Loeb N., Dutton E.G., Koning-Langlo G. 2012. The global energy balance from a surface perspective. *Climate Dynamics*, 40: 3107–3134

ZAHVALA

Za vodenje, usmerjanje, strokovno pomoč in vse nasvete pri pripravi magistrskega dela se iskreno zahvaljujem mentorici prof. dr. Lučki KAJFEŽ-BOGATAJ.

Iskrena hvala tudi recenzentki doc. dr. Zaliki ČREPINŠEK za natančen pregled dela. Zahvaljujem se tudi doc. dr. Damijani KASTELEC za koristne nasvete pri analizi podatkov ter doc. dr. Mihi KROFEL za pomoč pri urejanju excelovih tabel.

Posebna zahvala gre moji družini, ki mi je stala ob strani in me podpirala v celotnem času študija. Hvala tudi Niki, ki mi je bila vedno pripravljena pomagati in mi je stala ob strani v času pisanja naloge. Hvala vsem prijateljem, ki so me spremljali v času študija in ga obogatili s številnimi nepozabnimi izkušnjami.