

REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA OKOLJE, PROSTOR IN ENERGIJO  
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

# **RANLJIVOST SLOVENSKEGA KMETIJSTVA IN GOZDARSTVA NA PODNEBNO SPREMENLJIVOST IN OCENA PREDVIDENEGA VPLIVA**



## UVODNE BESEDE

Skorajda ni več dneva, ko ne bi slišali besedne zveze »podnebne spremembe«. V nas vzbuja nelagodje, saj se zavedamo, da s sedanjim načinom življenja vsak od nas k temu prispeva svoj delček. Nelagodje se povečuje, saj nam strokovnjaki zaenkrat ne morejo jasno povedati, kaj podnebne spremembe v resnici pomenijo. Je to ozonska luknja in se nezavarovani ne smemo brez škode izpostavljati soncu? Je to sprememba podnebja v toliki meri, da se bodo spremenili podnebni pasovi na Zemlji? Ali to pomeni, da se v našem podnebnem pasu ne bo dalo živeti tako, kot do sedaj? Ali je to nekaj povsem novega na našem planetu?

Vreme in podnebje sta bila skozi dolgo človeško zgodovino poglavitni razlog za številne selitve ljudi širom po planetu, saj je bilo iskanje ugodnejših pogojev za življenje povsem normalen odziv na neugodno vremensko dogajanje, pa tudi na prenaseljenost na za življenje ugodnih področjih. Že najstarejše znane civilizacije, kot so sumerska, egipčanska ali kitajska, so zapustile nedvomne sledi o svojem zanimanju za vreme in prilagajanju poljedelstva podnebnim razmeram. Tako je, na primer, zanimivo, da v sodobnem Egiptu še vedno lahko najdemo tradicionalne napotke, kako kmetovati, ki izvirajo iz faraonskih časov. Torej so starejši od 5000 let in še danes veljajo.

Z razvojem tehnologije in znanosti, predvsem v zadnjih 200 letih, ko so na mnogih krajih začeli sistematično spremljati vreme in meriti posamezne podatke o stanju ozračja, so začeli tudi sistematično raziskovati spreminjanje podnebja na posameznih področjih. Ugotovili so, da se je podnebje spreminjalo skozi vso znano geološko in človeško zgodovino in da je prav sprememba podnebja pogojevala dramatične spremembe v razvoju življenja na Zemlji. Toda te spremembe so bile relativno počasne. Moderen razvoj civilizacije, predvsem v zadnjih 200 letih, je potreboval vedno več energije, ki so jo, in jo še danes, pretežno pridobivajo z izgorevanjem fosilnih goriv. V zemeljsko ozračje se valijo ogromne količine najrazličnejših plinov in trdnih delcev, ki polagoma spreminjajo sestavo ozračja. Spremenjena sestava ozračja pa spreminja vreme in s tem podnebje hitreje, kot se je to dogajalo v preteklosti.

Kako, kje, kako hitro in kakšne bodo posledice, so vprašanja, na katera danes, kljub ogromnim naporom številnih znanstvenikov po svetu, še nimamo pravega odgovora. Vendar vemo, da se to dogaja, in da se moramo na spremenjene razmere pripraviti in prilagoditi.

Svetovna meteorološka organizacija (SMO), matična mednarodna organizacija, ki koordinira in povezuje sistematično spremljanje ter raziskovanje stanja ozračja po vsem svetu, je že v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja opozarjala na vedno bolj očitne signale, da se z našim ozračjem nekaj dogaja. Tako je leta 1988 SMO skupaj s Programom Združenih narodov za okolje (United Nations Environment Programme) ustanovila Medvladni panel o klimatskih spremembah (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) in poklicala vse članice Združenih narodov in SMO, da v njem sodelujejo. Osnovna vloga IPCC-ja je, da na osnovi izčrpnih, objektivnih, transparentnih, znanstvenih, tehničnih in socio-ekonomskih informacij oceni možne vplive spremembe podnebja in možnosti za adaptacijo ter ublažitev posledic. IPCC je doslej izdal tri poročila o oceni spreminjanja podnebja, zadnjega leta 2001. Naslednje poročilo naj bi bilo pripravljeno leta 2007.

V okviru SMO se z vplivi in posledicami klimatskih sprememb na kmetijsko proizvodnjo ukvarja Komisija za agrometeorologijo, ki je ena od konstitutivnih teles SMO. Tako SMO, kakor IPCC se ukvarjata s spremembami podnebja in mogočimi posledicami na svetovnem, globalnem nivoju. Vsaka država pa je dolžna organizirati bolj temeljite raziskave na svojem področju ter tudi pripraviti konkretne ukrepe za adaptacijo in ublažitev posledic. Oktobra 2002 je bilo redno zasedanje Komisije za agrometeorologijo SMO v Ljubljani. Kakor

je že običaj ob takih priložnostih, je SMO neposredno pred zasedanjem komisije organizirala mednarodno znanstveno delavnico pod naslovom "Zmanjšanje ranljivosti kmetijstva in gozdarstva na podnebne spremembe". Vlada republike Slovenije je za organizacijo obeh dogodkov zadolžila Agencijo RS za okolje (ARSO). Na delavnici je bilo jasno izraženo stališče strokovnjakov, da obstajajo verodostojni dokazi o globalnem segrevanju ozračja, ki je povzročilo dvig temperature na celotnem planetu in o spremenjenem padavinskem režimu. Kot posledico teh sprememb že beležimo spremembe v vegetaciji na mnogih koncih sveta, posebno v tropskih predelih. Deklaracija, sprejeta na delavnici, poziva vlade in mednarodne organizacije, da razen naporov za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v ozračje, nemudoma pričnejo pripravljati programe za zmanjšanje posledic spreminjanja podnebja v kmetijstvu.

Ko je Vlada RS januarja 2003 obravnavala poročilo o zasedanju Komisije SMO za agrometeorologijo in poteku delavnice, je zadolžila Agencijo RS za okolje, da do konca leta 2003 pripravi celovito poročilo o ranljivosti kmetijstva in gozdarstva v Sloveniji. Na osnovi sklepa vlade je ARSO v začetku leta 2003 pričela s projektom »Ranljivost kmetijstva in gozdarstva na klimatske spremembe«. K sodelovanju je poskusila pritegniti vse, ki bi lahko pripomogli k uspehu projekta, posebno še Biotehniško fakulteto Univerze v Ljubljani, ministrstvo, pristojno za kmetijstvo, in kmetijske raziskovalne organizacije. Na žalost moram ugotoviti, da se je odzvala samo Biotehniška fakulteta. Tako je pričujoče poročilo nastalo kot rezultat notranjih virov ARSO in Biotehniške fakultete.

To poročilo je rezultat projekta in je prvi celovit poskus obravnavanja teh problemov v Sloveniji. Zaradi omejenih materialnih in človeških virov smo se pri izvedbi posameznih nalog morali mnogokrat omejiti in izbrati enostavnejše metode. Kljub temu je bilo narejeno veliko delo, ki jasno dokazuje, da moramo podnebno spremenljivost tudi v Sloveniji jemati zelo resno in v najbližji prihodnosti skupaj s kmetijsko stroko pripraviti konkreten načrt ublažitev njenih posledic. Suše v zadnjih letih in letošnja še posebej, so nedvomno zelo resno opozorilo.

Za pravočasno izvedbo projekta gre zahvala vsem sodelujočim za prizadevnost in entuziazem, posebej pa še vodji projekta gdč. Andreji Sušnik (ARSO) ter prof. dr. Lučki Kajfež-Bogataj (Biotehniška fakulteta).

Jožef Roškar  
Vodja Urada za meteorologijo, ARSO  
Stalni predstavnik RS pri Svetovni meteorološki organizaciji

# 1 KAZALO VSEBINE

1	KAZALO VSEBINE .....	3
2	KAZALO AVTORJEV .....	6
3	PREGLEDNICA SIMBOLOV IN OKRAJŠAV .....	7
4	UVOD .....	8
4.1	VIRI .....	12
5	OPAZOVANI ČASOVNI TRENDI VREMENSKIH SPREMENLJIVK .....	13
5.1	UVOD .....	14
5.2	IZBRANA METODOLOGIJA .....	15
5.3	UPORABLJENI PODATKI .....	18
5.4	REZULTATI .....	20
5.4.1	ANALIZA TRENDOV V EVROPI .....	20
5.4.2	TRENDI V SLOVENIJI .....	22
5.4.3	FITOFENOLOŠKI TRENDI V SLOVENIJI IN NJIHOVA POVEZANOST S TEMPERATURAMI ZRAKA .....	25
5.5	NEGOTOVOSTI OCENE .....	29
5.6	NABOR IN PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV .....	30
5.7	VIRI .....	30
6	DEFINICIJA IN IZDELAVA SCENARIJEV PODNEBNIH SPREMEMB ZA SLOVENIJO .....	32
6.1	UVOD .....	32
6.2	IZBRANA METODOLOGIJA .....	33
6.2.1	MODELI SPLOŠNE CIRKULACIJE .....	33
6.2.2	EMPIRIČNO ZMANJŠEVANJE SKALE .....	36
6.3	UPORABLJENI PODATKI .....	37
6.3.1	PRIMERJALNO OBDOBJE .....	38
6.4	REZULTATI .....	39
6.4.1	REZULTATI V GLOBALNI SKALI ZA SLOVENIJO KOT CELOTO .....	39
6.4.2	REGIONALNA VARIABILNOST SCENARIJEV .....	40
6.4.3	NEGOTOVOSTI PRI IZDELAVI SCENARIJEV PODNEBNIH SPREMEMB .....	43
6.5	DISKUSIJA IN SMERNICE ZA NADALJNJE DELO .....	44
6.6	VIRI .....	45
7	MOŽNI VPLIVI SPREMENJENE KLIME NA KMETIJSTVO .....	47
7.1	OZADJE PROBLEMATIKE IN OSNOVNA STALIŠČA .....	48
7.2	VIDIKI VPLIVA PODNEBNIH SPREMEMB NA ŽIVALI IN RASTLINE .....	49
7.2.1	VPLIVI VEČJE VSEBNOSTI CO <sub>2</sub> V OZRAČJU .....	50
7.2.2	VEČJA VSEBNOST CO <sub>2</sub> V OZRAČJU IN SPREMENJENE PODNEBNE RAZMERE .....	52
7.3	ODZIV KMETIJSKO POMEMBNIH RASTLIN NA PODNEBNE SPREMEMBE .....	54
7.3.1	ZRNATE POLJŠČINE .....	54
7.3.2	KORENOVKE IN GOMOLJNICE .....	55
7.3.3	VRTNINE .....	55
7.3.4	TRAJNICE .....	56
7.4	ODZIV ŽIVINOREJE NA PODNEBNE SPREMEMBE .....	57
7.4.1	PAŠNIKI .....	57
7.4.2	ZDRAVJE ŽIVINE .....	58
7.4.3	PREHRANA ŽIVINE .....	59
7.5	ŠKODLJIVCI, BOLEZNI IN PLEVELI TER PODNEBNE SPREMEMBE .....	60
7.6	RANLJIVOSTNA ANALIZA SPREMEMBE TEMPERATURNEGA REŽIMA .....	61
7.6.1	OPIS METODOLOGIJE ZA RANLJIVOSTNO ANALIZO .....	62
7.6.2	VPLIV DVIGA TEMPERATURE ZRAKA NA DOLŽINO VEGETACIJSKE DOBE .....	62
7.6.3	SPREMEMBE TEMPERATURNIH VSOT .....	63

7.6.4	VPLIV DVIGA TEMPERATURE ZRAKA NA DOLŽINO RASTNE DOBE PRI NEKATERIH KMETIJSKIH RASTLINAH.....	64
7.7	NEGOTOVOSTI OCENE.....	66
7.8	NABOR IN PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV.....	67
7.9	VPLIVI KLIMATSKIH SPREMEMB NA GOZDNE EKOSISTEME.....	68
7.9.1	OZADJE PROBLEMATIKE IN OSNOVNA STALIŠČA.....	68
7.9.2	RANLJIVOST GOZDA V SLOVENIJI.....	68
7.9.3	NABOR IN PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV.....	71
7.10	VIRI.....	71
8	RANLJIVOST KMETIJSTVA NA SPREMEMBO VODNE BILANCE KMETIJSKIH TAL V SLOVENIJI.....	73
8.1	OZADJE PROBLEMATIKE IN OSNOVNA STALIŠČA.....	74
8.2	KONCEPT SUŠE.....	77
8.3	SPLOŠNO O RANLJIVOSTI RAZPOLOŽLJIVE VODE NA VREMENSKO VARIABILNOST/SPREMEMBO.....	79
8.4	OPIS METODOLOGIJE ZA RANLJIVOSTNO ANALIZO.....	82
8.4.1	DOLOČITEV REGIJ IN IZBOR PODATKOV.....	82
8.5	OCENA OBČUTLJIVOSTI KMETIJSTVA NA PRETEKLO VREMENSKO VARIABILNOST.....	88
8.6	RANLJIVOST REGIJ NA SPREMEMBO VODNE BILANCE OB UPOŠTEVANJU PODNEBNIH SPREMEMB.....	92
8.7	LETO 2003 – PRIMER NAJHUJŠEGA PRIMANJKLJAJA V OBDOBJU 1961-2003.....	93
8.7.1	SPOMLADANSKA SUŠA 2003.....	93
8.7.2	POLETNA KMETIJSKA SUŠA 2003 V SLOVENIJI.....	99
8.8	NEGOTOVOSTI OCENE.....	103
8.9	NABOR IN PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV.....	103
8.10	VIRI.....	105
9	RANLJIVOST SLOVENSKEGA KMETIJSTVA IN GOZDARSTVA NA VREMENSKE EKSTREME.....	106
9.1	OZADJE PROBLEMATIKE IN OSNOVNA STALIŠČA.....	107
9.2	PODATKI IN METODOLOGIJA.....	108
9.3	POZEBA.....	109
9.3.1	POZEBE V PRETEKLOSTI.....	110
9.3.2	PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV IN UKREPOV ZA UBLAŽITEV POSLEDIC.....	112
9.3.3	OMEJITVE IN NEZANESLIVOSTI.....	113
9.4	EKSTREMNE PADAVINE.....	114
9.4.1	PODATKI IN METODE.....	114
9.4.2	REZULTATI.....	115
9.5	NOVOZAPADLI SNEG.....	119
9.6	NEURJA.....	120
9.6.1	REZULTATI.....	121
9.7	EKSTREMNO VISOKE TEMPERATURE.....	122
9.8	POŽARI V NARAVNEM OKOLJU.....	123
9.9	POPLAVE.....	124
9.10	UKREPI.....	126
9.11	PREDLOGI.....	126
9.12	VIRI.....	127
10	SMERNICE ZA NADALJNJE DELO.....	129
10.1	OZADJE.....	129
10.2	AGROMETEOROLOŠKE INFORMACIJE ZA UPORABNIKE.....	130
10.3	UPORABA VREMENSKIH IN PODNEBNIH ANALIZ IN NAPOVEDI V VELIKI PROSTORSKI SKALI.....	131
10.3.1	OBČUTLJIVOST NA VZORCE SINOPTIČNIH STANJ VREMENA.....	131

10.3.2	SEZONSKE NAPOVEDI VREMENA .....	138
10.3.3	REGIONALNE PONOVDNE ANALIZE PRETEKLEGA VREMENA.....	139
10.4	UPORABA PODATKOV, PRIDOBLENIH Z DALJINSKIM ZAZNAVANJEM .	140
10.4.1	RADARSKE MERITVE .....	140
10.4.2	SATELITSKE MERITVE – SATELITI LANDSAT .....	143
10.4.3	SATELITSKE MERITVE – IMPLEMENTACIJA PRODUKTOV METEOROLOŠKIH SATELITOV NOVE GENERACIJE .....	143
10.5	PRENOVA KLIMATSKIH SCENARIJEV .....	144
10.6	VKLJUČEVANJE MREŽ ZA POSEBNE OBRATOVALNE MONITORINGE V SKUPEN METEOROLOŠKI INFORMACIJSKI SISTEM .....	145
10.6.1	AGROMETEOROLOŠKO MODELIRANJE .....	145
10.6.2	IZOBRAŽEVANJE IN OZAVEŠČANJE.....	146
10.7	VIRI .....	146

## 2 KAZALO AVTORJEV

Vodja projekta: Andreja Sušnik

Tehnični urednik: Boris Zupančič

Uvodne besede : Jožef Roškar

Avtorji po poglavjih:

### 4. POGLAVJE:

prof.dr. Lučka Kajfež-Bogataj  
Andreja Sušnik

### 5. POGLAVJE:

prof.dr. Lučka Kajfež-Bogataj  
dr.Zalika Črepinšek

### 6. POGLAVJE:

dr. Klemen Bergant  
prof.dr. Lučka Kajfež-Bogataj

### 7. POGLAVJE:

prof.dr. Lučka Kajfež-Bogataj  
dr.Zalika Črepinšek

### 8. POGLAVJE:

Andreja Sušnik  
Blaž Kurnik  
Iztok Matajc  
Damjan Rogelj

### 9. POGLAVJE:

mag. Tanja Cegnar  
Ana Žust  
Mojca Dolinar  
Damjan Rogelj  
Andrej Pečenko

### 10. POGLAVJE:

dr. Gregor Gregorič  
Andreja Sušnik

### 3 PREGLEDNICA SIMBOLOV IN OKRAJŠAV

<b>ALADIN/SI</b>	Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational (Numerični model za izračun meteoroloških produktov, ki se uporablja v Sloveniji)
<b>ARSO</b>	Agencija Republike Slovenije za okolje
<b>CAgM</b>	Commission for agricultural meteorology (Komisija za agrometeorologijo)
<b>COST</b>	European organisation in the field of scientific and technical research (Evropska organizacija na področju znanstvenega in tehničnega sodelovanja)
<b>DOWN SCALING</b>	empirično zmanjševanje skale
<b>ECMWF</b>	European centre for medium-range weather forecasts (Evropski center za srednjeročno vremensko napoved)
<b>EEA</b>	European Environmental agency (Evropska okoljska agencija)
<b>EML</b>	ekstremno mokro leto
<b>ESL</b>	ekstremno suho leto
<b>ETo</b>	referenčna evapotranspiracija
<b>EUMETSAT</b>	European organisation for the exploitation of meteorological satellites (Medvladna organizacija za ravnanje z meteorološkimi sateliti)
<b>FAO</b>	Food and agriculture organization (Svetovna organizacija za kmetijstvo in prehrano)
<b>GCM (MSC)</b>	Global circulation models (Modeli splošne cirkulacije)
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change (Medvladni forum za proučevanje klimatskih sprememb)
<b>Kc</b>	koeficient rastle
<b>MOP</b>	Ministrstvo za okolje in prostor
<b>MSG</b>	Meteosat second generation (Meteorološki sateliti druge generacije, prvi lansiran leta 2001)
<b>NCEP</b>	National centers for environmental prediction (Nacionalni centri za okoljske napovedi)
<b>P</b>	absolutni primanjkljaj
$\tilde{P}$	relativni primanjkljaj
<b>Pk</b>	poljska kapaciteta
<b>Pm</b>	povprečni primanjkljaj
<b>povp.</b>	povprečna vrednost
<b>RVP</b>	relativni vodni primanjkljaj
<b>SAF</b>	Satellite application facility (satelitske aplikacije)
<b>SLP</b>	Sea level pressure (pritisk na morski gladini)
<b>SRES</b>	Special report on emission scenarios (posebno poročilo o emisijskih scenarijih)
<b>SVAT</b>	Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer (Pretok energije iz tal skozi rastlinsko odejo v atmosfero)
<b>T<sub>pov</sub></b>	povprečna temperatura zraka
<b>TV</b>	točka venenja
<b>WMO (SMO)</b>	World meteorological organization (Svetovna meteorološka organizacija)
<b>ZML</b>	zmerno mokro leto
<b>ZOPNN</b>	Zakon o odpravi posledic naravnih nesreč
<b>ZSL</b>	zmerno suho leto



## 4 UVOD

Poleg naravnih dejavnikov dobiva človekov vpliv na klimo daljnoročne globalne razsežnosti. Energijska bilanca Zemlje se spreminja tudi kot posledica človeških aktivnosti, ki spreminjajo transmisijske lastnosti atmosfere. Spremenjeno sestavo atmosfere povzročajo kurjenje fosilnih goriv, promet, emisije tovarn, kmetijstvo in podobno. Človek pa ob tem spreminja tudi rabo tal in s tem fizikalne lastnosti površja. Meritve meteoroloških spremenljivk v zadnjih 50 do 100 letih že kažejo na spremembe nekaterih klimatskih značilnosti. Povprečna globalna temperatura na zemeljskem površju se je v 20. stoletju zvišala za  $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ . Tudi v Sloveniji se je povprečna temperatura zraka v zadnjih 50 letih dvignila za  $1 \pm 0.6^\circ\text{C}$ , bistvenih sprememb v skupni letni količini padavin pa še ni izmerjenih.

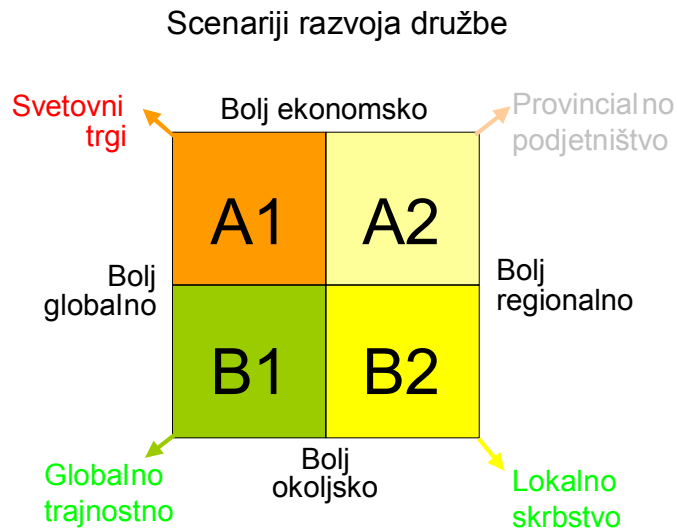
Osnova za ocenjevanje podnebnih razmer v prihodnosti so scenariji emisij plinov tople grede in aerosolov v prihodnosti ter posledične spremembe vsebnosti le-teh v ozračju. Mednarodni forum o podnebnih spremembah (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) je na podlagi socio-ekonomskih scenarijev razvoja prebivalstva in gospodarstva izdelal različne scenarije emisij, ki jih razdelimo v štiri glavne skupine (slika 4.1).

Skupina A1 scenarijev predstavlja hiter gospodarski razvoj, rast prebivalstva do sredine stoletja ter kasnejše upadanje in hitro uvajanje novih, uspešnejših tehnologij. Skupina A2 scenarijev predstavlja zelo raznolike razmere na različnih predelih sveta. Poudarek je na samostojnosti ter ohranjanju lokalnih identitet. Predvideva hitro rast prebivalstva tekom celotnega 21. stoletja. Gospodarski razvoj je usmerjen regionalno, porast dohodka na prebivalstvo ter tehnološki razvoj naj bi bil prostorsko neenoten in počasnejši. Skupina B1 scenarijev, predstavlja enotnejši svet z dosegom viška prebivalstva v sredini 21. stoletja. Za razliko od skupine A1 predpostavlja nagel preobrat v gospodarskih strukturah v smeri oskrbovalnega in informacijskega gospodarstva, manjše porabe surovin ter vpeljave čistejših in učinkovitejših tehnologij. Poudarek je na globalnih rešitvah za gospodarsko, socialno in okoljsko trajnost, vključujoč večjo enakost brez uvajanja dodatnih bremen za podnebje. Pri B2 scenarijih je poudarek na lokalnih rešitvah za gospodarsko, socialno in okoljsko trajnost. Upoštevan je stalen porast prebivalstva v 21. stoletju, a manjši kot v skupini A2, srednja stopnja tehnološkega razvoja glede na ostale skupine ter počasnejše in manj enotne tehnološke spremembe v primerjavi s skupinama A1 in B1. Skupina B2 je orientirana k zaščiti okolja in socialni enakosti, vendar je osredotočena na lokalno raven. Zaradi računske zahtevnosti modeliranja podnebja za celotno zemeljsko oblo je IPCC izmed vseh razpoložljivih scenarijev izbral po enega predstavnika v osnovnih skupinah A1, A2, B1 in B2. Pri uporabi predstavnikov scenarijev se moramo zavedati, da niso nič bolj verjetni od ostalih scenarijev v skupini, saj so bili izbrani le kot najbolj ilustrativni. V Tabeli 4.1 je prikazanih nekaj osnovnih razlik med scenariji IPCC na katerih temeljijo simulacije.

Tabela 4.1: Število prebivalstva, povprečna koncentracija CO<sub>2</sub> ter relativni dvig temperature zraka glede na leto 1990 (IPCC-WGII, 2001)

Leto/ Scenarij	Prebivalstvo	Koncentracija CO <sub>2</sub>	Porast T <sub>zraka</sub>
1990 / --	5.3 milijarde	354 ppm	0.0 °C
2050 / A2	11.3 milijarde	536 ppm	1.4 °C
2050 / B2	9.3 milijarde	478 ppm	1.4 °C
2100 / A2	15.1 milijarde	857 ppm	3.8 °C
2100 / B2	10.4 milijarde	615 ppm	2.7 °C

Slika 4.1: Štiri glavne smeri socio-ekonomskega razvoja prebivalstva in gospodarstva v 21. stoletju (Mednarodni forum o podnebnih spremembah – IPCC)



Spremenjene koncentracije plinov tople grede in aerosolov v ozračju v prihodnosti bodo tako vplivale na energijsko bilanco površja, kar se bo izražalo v spremenjenih podnebnih razmerah. Ker tako scenariji emisij pokrivajo zelo širok spekter možnosti, je temu primeren tudi spekter predvidenih sprememb klime v prihodnosti. Za modeliranje odziva podnebja na spremenjeno sestavo ozračja se običajno uporabljajo kompleksni modeli splošne cirkulacije (MSC). To so tridimenzionalni numerični modeli, v katerih so z diferenčnimi enačbami zajeti glavni fizikalni, kemijski in biološki procesi v ozračju, oceanih, ledu in na zemeljskem površju ter njihova medsebojna odvisnost. Primerjave rezultatov simulacij z MSC ter izmerjenih vrednosti kažejo, da modeli dobro opišejo procese v globalni skali. Zanesljivost njihovih rezultatov je žal manjša v regionalni skali, saj zaradi omejenih računalniških zmogljivosti in narave fizikalnih procesov v manjši skali ti modeli ne vključujejo regionalnih površinskih podrobnosti. Pri simulacijah podnebja v prihodnosti se torej moramo zavedati, da tudi sami MSC vključujejo številne negotovosti. Pretekla bodo najbrž še desetletja, preden bo dosežena zadostna prostorska ločljivost in dovolj dober fizikalen opis MSC, da bodo rezultati simulacij z njimi neposredno uporabni v študijah vpliva klimatskih sprememb na lokalnem nivoju.

Temperatura površja in zraka ob površju naj bi se ob upoštevanju scenarijev emisij v globalni skali v obdobju med leti 1990 in 2100 dvignila za 1.4 do 5.8°C. Ta dvig močno presega dvig v 20. stoletju in zelo verjetno nima primerjave v zadnjih 10.000 letih. Na kopnem bodo višje tako maksimalne kot minimalne temperature zraka, več bo vročih in manj mrzlih dni in dni s slano, pogostejši bodo vročinski udari in zmanjšal se bo dnevni temperaturni razpon. V skladu z dvigom temperature po SRES scenarijih naj bi se predvsem zaradi temperaturnega raztezanja vode v oceanih ter taljenja ledenikov in ledenih plošč dvignila gladina morja za povprečno 48 cm, kar je več kot dvakratna vrednost dviga gladine morja v 20. stoletju. Skupaj z dvigom temperature zraka se bo zmanjševal obseg ledenikov in ledenih plošč, na severni polobli pa delež pokritosti kopnega s snegom ter morja z ledom. Tako predviden dvig temperature do konca 21. stoletja, kot tudi njegova dinamika tekom stoletja, sta odvisna od izbire scenarija emisij. Tako so v primeru scenarijev, ki predvidevajo intenzivnejšo rabo fosilnih goriv (npr. A2), predvidene tudi intenzivnejše emisije SO<sub>2</sub>, ki naj bi prispeval k hladilnemu učinku. Daljnoročno pa bodo emisije CO<sub>2</sub>, ki ima bistveno daljšo življenjsko dobo v ozračju kot SO<sub>2</sub>, prispevale k visokemu dvigu temperature površja.

Globalno povprečje količine vodne pare, količine padavin in izhlapevanja se bo predvidoma povečalo. Regionalno bo zaslediti tako povečanja kot zmanjšanja količine padavin. Tako

poleti kot pozimi naj bi se količina padavin povečala v visokih geografskih širinah. Pozimi naj bi se količina padavin povečala tudi v severnem delu srednjih geografskih širin, tropski Afriki in Antarktiki, poleti pa v južni in vzhodni Aziji. Zmanjšanje količine padavin naj bi v poletnih mesecih zasledili v Avstraliji, osrednji Ameriki ter južni Afriki, kjer naj bi se tako povečala nevarnost suše. V predelih z večjo količino padavin naj bi bila tudi spremenljivost količine padavin večja in obratno. V splošnem naj bi se povečalo število dogodkov z močnimi padavinami. Bolj pogosti in intenzivnejši naj bi bili v tropskih predelih tornadi. Navkljub dvigu temperature bi se zaradi večje količine padavin povečala količina ledu na Antarktiki.

Variabilnost podnebja in njegove pričakovane spremembe in povezani ekstremni dogodki ne bodo enostavno rešljiv problem. Potrebne bodo prilagoditve na nivoju infrastrukture, navad, življenjskega stila in med najbolj pomembnimi bo prilagojeno planiranje gospodarstva. Kljub številnim študijam o vplivu podnebnih sprememb še vedno obstaja določena negotovosti o učinkoviti prilagoditvi, ki bo verjetno zmanjšala posledice negativnih vplivov podnebne spremembe ali uporabila prednosti pozitivnih vplivov.

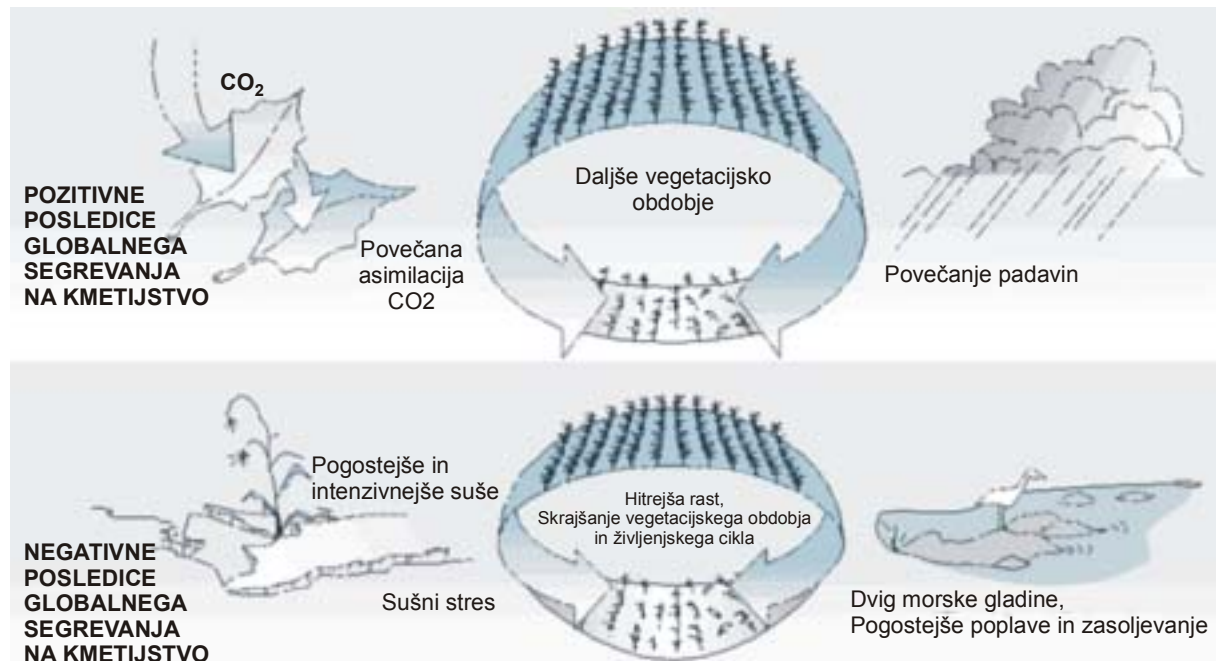
Podnebna sprememba lahko poleg številnih ekonomskih, socialnih in okoljskih dejavnikov predstavlja dodaten pritisk na svetovno pridelavo hrane. Kljub tehnološkemu napredku sta vreme in podnebje še vedno ključna dejavnika, ki vplivata nanjo. Vsaka sprememba klime v globalni skali posledično vpliva na lokalno kmetijstvo in obratno. Poleg tega je potrebno upoštevati, da je kmetijstvo tudi eden od glavnih virov emisij toplogrednih plinov, kar bo zahtevalo tudi prilagoditve na tem področju.

Letna svetovna pridelava hrane je v zadnjih nekaj letih vse bolj pod vplivom spremenljivosti vremenskih razmer med kritičnimi razvojnimi fazami rastlin. Čas pojava podnebnih oziroma vremenskih anomalij in njihov vpliv na cikel razvoja rastlin je glavni dejavnik variabilnosti regionalne rastlinske pridelave. Izguba pridelka je pogosto direktno povezana s sušami, poplavami, vročinskimi vali in pozebami. Obenem pa so posledice vpliva neugodnih vremenskih razmer izražene tudi v slabši kvaliteti pridelka in v močnem gibanju cen kmetijskih pridelkov na trgu.

V Evropi je ranljivost značilno večja v južnih regijah kot drugje. Tudi urbanizirane metropole in industrijska središča so bolj ranljiva na globalno spremembo okolja kot manjša urbana središča. Te regije bodo zaradi segrevanja podvržene večjemu tveganju toplotnih stresov, pomanjkanja vode ali intenzivnih nalivov. Povečanje temperature zraka v srednjih geografskih širinah bo podaljšalo potencialno obdobje vegetacijske sezone, kar bo dopuščalo zgodnejšo setev ali sajenje kmetijskih rastlin spomladi, zgodnejše dozorevanje in zrelost pridelka. Pojavile se bodo spremembe v količini skupnih sezonskih padavin ter njihovi razporeditvi. Povečanje evaporacije iz tal ter povečana transpiracija rastlin bo sprožila pojav vodnega stresa med ključnimi fenološkimi fazami kot so npr. cvetenje, prašenje in polnjenje zrnja pri žitih in koruzi. Neposredno se bo pojavila potreba po razvoju sort kmetijskih rastlin z večjo toleranco na sušo.

Številni raziskovalci v svetu se ukvarjajo z oceno potencialnih vplivov klimatskih sprememb na regionalno ali nacionalno kmetijstvo. Kaj se bo zaradi sprememb zgodilo s kmetijstvom v določeni regiji, deželi ali pokrajini je odvisno od medsebojnih vplivov številnih dinamičnih dejavnikov značilnih za določeno območje. Znanstvene študije, ki slonijo na računalniških simulacijskih modelih, so primerno orodje za preučevanje klimatskih sprememb v določenem agroekosistemu. S spremembami posameznega klimatskega dejavnika (CO<sub>2</sub>, padavine, temperatura) v takih modelih pa lahko le ocenimo njihove reakcije.

Slika 4.2: Pozitivne in negativne posledice podnebnih sprememb na kmetijstvo (Vir: Rosenzweig, Scientific American, 1994)



Razvoj znanosti in tehnologije na področju meteorologije nam omogoča boljše poznavanje obstoječe variabilnosti podnebja in vizijo dogajanja ob predvidenih spremembah na regionalni ravni. Trenutna variabilnost podnebja in možno globalno segrevanje ter pričakovanja v 21. stoletju, bodo predstavljala izziv tudi za prilagoditev kmetijstva in gozdarstva v Sloveniji.

V poročilu so predstavljene analize podnebja z vidika najbolj ranljivih meteoroloških elementov, ki bodo podvrženi podnebni spremembi (temperatura, vodna bilanca, ekstremni vremenski dogodki) z uporabo najnovjših rezultatov MSC za Slovenijo in dolgoletnih nizov meteoroloških podatkov. Predstavljene so možne alternative prilagoditev s strani boljšega poznavanja podnebnega sistema z vidika meteorološke znanosti. Reakcije kmetijskega sistema so vključene le kot vhodne spremenljivke modelskih izračunov. Na osnovi rezultatov bo slonela detaljnija regionalna analiza.

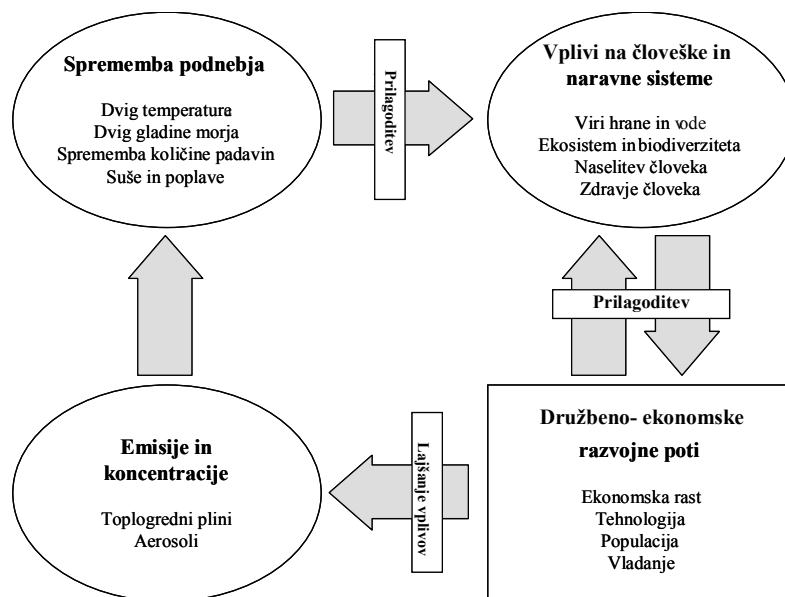
Nekateri utegnejo označevati dogajanja kot samo-adaptacijo kmetijskih sistemov z naravno elastičnostjo na podnebne pritiske, ki se bodo v dolgoročnem obdobju prilagodili na spremembe razmer. Vendar dejstvo je, da bo veliko sistemov potrebovalo intervencije za prilagoditve. Mednje vsekakor sodi tudi Slovenija. Prilagoditve bodo nujne tudi v smislu ohranjanja okolja.

V razvitih deželah pričakujemo večje pridelke, z veliko fluktuacijo in spremembami v sortnih izborih in tehnologiji. V številnih deželah v razvoju so že sedanji pogoji v kmetijstvu in gozdarstvu, brez podnebne spremembe, kritični zaradi degradacije naravnih virov, uporabe nepravilnih tehnologij ter ostalimi pritiski. Sposobnost prilagajanja bo manjša v tropih in subtropih ter v deželah v tranziciji. Varnost pridelave hrane bo še vedno ostala problem v deželah v razvoju. Obstajajo številni primeri tradicionalnih znanj, sonaravnih tehnologij in lokalnih inovacij, ki se lahko uporabljajo kot začetne točke za izboljšanje kmetijskega sistema. Vsi sistemi pa potrebujejo tudi primerno politično podporo. Začeti bo potrebno od spodaj navzgor, od dejanskih težav, s katerimi se soočajo kmetijski pridelovalci upoštevajoč spremembe njihovega obvladovanja tveganja na nivoju kmetije. Obdobje, potrebno za izvedbo prilagoditev je dolgotrajno, zato je treba reagirati takoj. Slovenija s svojo heterogeno klimo sicer sodi med regije z večjo adaptivno sposobnostjo. Zato potrebujemo sinhronizirano

reševanje tehnoloških problemov kmetijske pridelave, ki jih sprožajo nove razmere. Jasno je, da se družba in kmetijski sistem na določene spremembe lahko prilagodita le postopno, z interdisciplinarnim pristopom. Ker bo imelo v bodočih klimatskih razmerah vreme bistveno večji in tudi nepredvidljiv vpliv na kmetijsko pridelavo, je nujna tudi prilagoditev in razširitev agrometeorološke službe in izobraževanje vseh izvajalcev kmetijske prakse in tudi njenih načrtovalcev.

Zaključimo lahko, da bodo povečane koncentracije toplogrednih plinov v prihodnosti povzročile podnebne spremembe, kar je povezano z vplivi na naravne in človeške sisteme. Obstaja možnost za nekaj povratnih zvez med spremembami v teh sistemih in podnebjem, kot so spremembe v albedu zaradi spremembe rabe zemljišč in druge mogoče večje interakcije med sistemi in emisijami v atmosfero.

Slika 4.3: **Sprememba podnebja – integriran okvir (Watson in sod., 2001)**



Te spremembe bodo končno imele vpliv na razvoj družbeno-ekonomskih poti. Razvojne poti imajo tudi neposreden vpliv na naravne sisteme (na sliki 4.3 prikazano kot puščica obrnjena v smeri obratno od urnega kazalca iz razvojnega pravokotnika), kot so spremembe v rabi zemljišč, ki vodijo v opustošenje gozdov. Zavedati se moramo, da različne dimenzije vplivov podnebnih sprememb obstajajo v dinamičnem krogu, katerega lastnost so precejšnje časovne zamude. Oboje, emisije in vplivi, so povezani na kompleksen način s podležimi ekonomskimi in tehnološkimi razvojnimi potmi. Prilaganje vplivom podnebnih sprememb in lajšanje teh vplivov je sestavni del tega dinamičnega kroga. Potencial prilaganja podnebnim spremembam se zato mora usmeriti v primarne sektorje, ki so voda, tla, ekosistemi in kmetijstvo (McCarthy in sod., 2001). To so prav tako sektorji v katerih so prilagoditve najbolj potrebne.

## 4.1 VIRI

- McCarthy J. J., Canziani O. F., Leary N. A., Dokken D. J. in White K. S. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge, Cambridge University Press: 1032 str.  
 URL = [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg2/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm)
- Rosenzweig, C., Hillel, D., 1995. Potential impact of climate change on Agriculture and Food Supply. Consequences, vol 1, no. 2, <http://www.gcric.org/CONSEQUENCES/summer95/fig3-1.html>
- Watson R.T., Core Writing Team. 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press: 389 str.

# 5 OPAZOVANI ČASOVNI TRENDI VREMENSKIH SPREMENLJIVK

## IZVLEČEK

Meteorološke meritve in opazovanja so osnova za vse analize podnebja. Kvaliteta starejših podatkov je iz različnih razlogov slabša, kvaliteta podatkov povojnega obdobja pa je že primerljiva s kvaliteto sedanjih meritev. Pri analizah trendov smo zato uporabili novejšje podatke in sicer smo izbrali 50 letno obdobje od leta 1951 do leta 2000. Izračunali smo le linearne trende in za mero, kako dobra je prilagoditvena linearna funkcija, uporabili brezdimenzijski empirični korelacijski koeficient  $r$ . Čim bolj se ta po absolutni vrednosti približa vrednosti 1, tem večja je regresijska povezanost obeh spremenljivk, kar pomeni, da tem večji del variabilnosti temperature, količine padavin, ipd. lahko pripišemo spreminjanju časa. Zanesljivost korelacijskega koeficienta  $r$  lahko izrazimo tudi s stopnjo signifikance. Za regresijsko analizo 50-letnega obdobja in za 95% zahtevano zanesljivost, mora biti vrednost izračunanega korelacijskega koeficient vsaj 0.297.

V analizo povprečne letne temperature zraka in letne količine padavin smo vključili 12 postaj v Sloveniji, ki so imele popolne nize podatkov v omenjenem obdobju. Povprečna letna temperatura zraka se je v Sloveniji v obdobju 1951-2000 statistično značilno ( $p < 0.05$ ) povečala za  $1.0 \pm 0.6^\circ\text{C}$ , najbolj v urbaniziranih okoljih (Maribor  $1.7 \pm 0.6^\circ\text{C}/50$  let, Ljubljana  $1.4 \pm 0.6^\circ\text{C}/50$  let) in manj v ruralnih območjih (Kočevje in Rateče  $0.8 \pm 0.6^\circ\text{C}/50$  let), Postojna  $0.7 \pm 0.6^\circ\text{C}/50$  let). V Črnomlju in v Portorožu trendi temperature zraka niso statistično značilni. K temu prispeva verjetno velik delež selitev postaj in pa vpliv morja na Primorskem.

Trendi letne količine padavin na večini območja Slovenije niso statistično značilni, z izjemo Kočevja in Rateč, kjer pa je zaznati v zadnjih 50 letih statistično značilno upadanje padavin ( $-16 \pm 10\%$  na 50 let in  $21 \pm 14\%$  na 50 let). Zaenkrat ne opažamo bistvenih sprememb padavinskega režima z izjemo intenzivnosti nalivov, ki rahlo narašča. V slovenskih kotlinah se je zmanjšalo število dni z meglo, istočasno pa je opazen trend naraščanja trajanja sončnega obsevanja.

Poudarimo naj, da izračunani trendi le opisujejo smer razvoja v preteklosti in ne predstavljajo napovedi za prihodnja desetletja. Iz meritev temperature zraka in količine padavin pa lahko zaključimo, da je večina let po letu 1990 v primerjavi z dolgoletnimi povprečji pretoplih, z razmeroma nižjo količino padavin od povprečja. Še posebej je ta pojav izrazit v topli polovici leta. Čeprav so trendi količine padavin nesignifikantni, lahko grobo ocenimo, da je najverjetnejši razvoj klime v Sloveniji v bodoče nagnjen v smer toplih in nekoliko sušnejših poletij in toplih zim s približno nespremenjeno povprečno količino padavin.

Na osnovi dolgoletnih fenoloških in meteoroloških podatkov za obdobje 1955-2000 smo analizirali tudi vpliv naraščajočih temperatur zimskih in pomladnih mesecev na fenološki razvoj rastlin v Sloveniji. Na osmih lokacijah smo analizirali fenofazo olistanja pri bukvi, navadni brezi, navadni lipi in divjem kostanju ter za fenofazo cvetenja pri navadni brezi, regratu, ivi, leski, zvončku, robiniji, črnem bezgu, španskem bezgu in navadni lipi. Fenološke podatke smo združili v letnem indeksu olistanja, indeksu cvetenja v zgodnji pomladi in indeksu cvetenja v pozni pomladi. Linearni trendi (dnevi na dekada) so za fenofazo olistanja  $-1.4$  dni na 10 let, za fenofazo cvetenja v pozni pomladi  $-2.2$  dni na 10 let in za fenofazo cvetenja v zgodnji pomladi kar  $-3.1$  dni na 10 let. V preučevanem obdobju je olistanje v zadnjih desetih letih nastopilo v povprečju 6 dni bolj zgodaj, cvetenje pa 10-14 dni bolj zgodaj glede na obdobje petdesetih let. Ugotovljene spremembe (10-dnevni ranjši nastop pomladi)

v povprečnem začetku rastne sezone v Sloveniji so povezane s spremembami temperature zraka med februarjem in aprilom. Otoplitev za 1°C zgodaj spomladi pospeši začetek rastne sezone za približno 4 dni.

Globalno ogrevanje torej vpliva na bolj zgoden začetek rastne dobe in hitrejši razvoj rastlin in lahko privede do sprememb v populacijski dinamiki – večje možnosti imajo tiste rastline, ki se hitreje prilagodijo na spremenjene razmere. Zaradi toplejših zim je večja nevarnost poznih pomladanskih pozzeb, kar povzroča zmanjšanje ali izpad pridelka, pri drevesnih vrstah se posledice lahko kažejo več let.

## 5.1 UVOD

Meteorološke meritve in opazovanja so osnova za spremljanje, razumevanje in predvidevanje razvoja vremena ter za vse klimatske analize. Obdobje instrumentalnih meritev meteoroloških spremenljivk je v večjem delu Evrope dolgo okrog 150 let. V Sloveniji sega meteorološki arhiv v sredino 19. stoletja. Prva meteorološka opazovalnica je začela z delovanjem v Ljubljani leta 1850, sledile so ji opazovalne postaje v Celju (1852), Novem mestu (1858), Mariboru (1863) in Kočevju (1871). Kvaliteta starih podatkov je zaradi različnih razlogov (menjava inštrumentov, lokacije opazovalnice, opazovalcev ipd.) vprašljiva in je pri uporabi teh podatkov nujno treba poznati in upoštevati takratne merilne metode in inštrumente. Kvaliteta podatkov povojnega obdobja npr. od leta 1951 naprej pa je že primerljiva s kvaliteto sedanjih meritev. Pri analizah trendov zato raje obravnavamo novejšše podatke.

Pri ugotavljanju podnebnih sprememb vse bolj uporabljamo tudi fenološke podatke. Fenologija proučuje periodične biološke faze (npr. olistanje, cvetenje, zorenje plodov, jesensko rumenenje listja...) in vzroke njihovega pojava ob upoštevanju živih in neživih dejavnikov, obenem pa se ukvarja tudi z medsebojnimi odnosi zaporednih razvojnih faz v okviru ene vrste ali znotraj večih vrst. Proučevanje vpliva vremena na rast in razvoj rastlin nam omogoča, da pri kmetijski proizvodnji čimbolj izkoristimo ugodne podnebne danosti in se poskušamo izogniti neugodnim, da bi tako dosegli optimalno kakovost in količino pridelka. Nepogrešljivi so pri pripravi agrometeoroloških napovedi, ugotavljanju primernosti posameznih območij za gojenje določene kmetijske rastline (predvsem z vidika toplotnih zahtev rastlin in količine potrebne vode) in načrtovanju agrotehničnih ukrepov kot so setev, rez, varstvo rastlin, namakanje, spravilo pridelkov. Vse bolj potrebujemo fenološke podatke tudi pri spremljanju alergij, ki jih povzročajo rastline, v veliki meri pa tudi v znanstvenih raziskavah pri modeliranju rasti in razvoja ter proučevanju vpliva podnebnih sprememb.

Analiza trendov meteoroloških in fenoloških spremenljivk spada v analizo časovnih vrst, ki združijo osnovno časovno vrsto na njene sestavne dele in nam lahko pomaga pri obravnavi dogajanj v preteklosti ali pri statistični napovedi dogajanj v prihodnosti. Časovne vrste meteoroloških podatkov odražajo delovanje mnogih dejavnikov, katerih učinek se časovno spreminja. Iz časovne vrste lahko razberemo le skupen učinek dejavnikov, zato žal na osnovi podatkov ne moremo ugotoviti, kateri dejavniki so vzrok za morebitne spremembe v času.

Osnovna smer razvoja časovne vrste je trend in najpreprostejša funkcija, s katero ga lahko opišemo, je linearna funkcija  $y = a + bt$ . Koeficienta  $a$  in  $b$  (imenovan tudi koeficient trenda) določimo z metodo najmanjših kvadratov. Pri analizi pogosto predpostavimo, da je spremenljivka (npr. temperatura) normalno porazdeljena spremenljivka, in, da vzorec dobro predstavlja spremenljivko nasploš - torej tudi za čas pred in po izbranem npr. 50-letnem obdobju.



## 5.2 IZBRANA METODOLOGIJA

Glavni problemi pri izračunavanju trendov v klimatologiji so nehomogenost podatkov, optimalna izbira dolžine obdobja za izračun koeficienta trenda in izbira začetnega oz. končnega člena vrste.

Klimatologija daje prednost sekularnim trendom izračunanim iz daljših obdobj, seveda če so na razpolago dolgoletni homogeni nizi meritev. Če takih podatkov nimamo, analiziramo trende za obdobja, ko so podatki homogeni. Zavedati se moramo, da npr. 50 letni trend ilustrira le "povprečen" oz. izgubljen porast ali upad količine v obravnavanem obdobju in tako izbriše ves "kratkodobni" šum ter pove malo o dogajanju v posameznih 10- ali 20-letnih obdobjih.

Za ilustracijo si pogledajmo analizo trenda za povprečne letne temperature zraka v Ljubljani, ki ima niz meritev od leta 1851 do 2002. Niz žal ni homogen, ker selitev postaje in urbanizacija Ljubljane deloma vplivata na vrednosti temperature. Vendar to ni zelo moteče pri sklepanju na nekatere splošne ugotovitve. Velikost trenda je dokaj konstantna pri daljših obdobjih od 152 do približno 100 let in znaša okrog 1.2°C na 100 let. Čim pa izberemo krajša obdobja, se vrednost koeficienta nelinearno povečuje, na primer v 30 letnem obdobju 1973 do 2003 že na vrednost 6.8°C na 100 let (tabela 5.2.1 in graf 5.2.1). Take vrednosti ne opišejo dobro dogajanj v preteklosti, in ne služijo za kakršnokoli napoved dogajanj v prihodnje. Globalne meritve in tudi globalni klimatski modeli, ki so fizikalno zasnovani, ocenjujejo ogrevanje atmosfere na vrednosti pod 1°C/100 let v zadnjih 100 letih. Idealno bi bilo zato računati trende za okrog 100-letna obdobja.

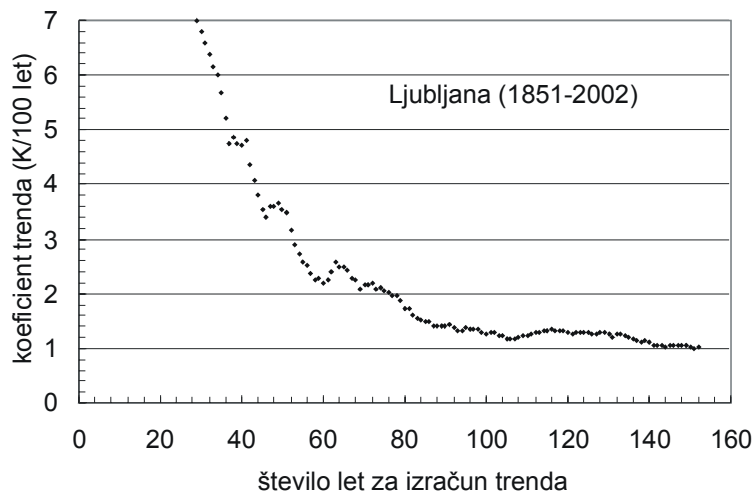
Tabela 5.2.1: **Trendi povprečne letne temperature zraka v Ljubljani, izračunani za različno dolga obdobja**

od leta	do leta	število upoštevanih let	koeficient trenda K/100 let	od leta	do leta	število upoštevanih let	koeficient trenda K/100 let
1851	2002	152	1.01	1913	2002	90	1.41
1853	2002	150	1.03	1923	2002	80	1.73
1863	2002	140	1.10	1933	2002	70	2.16
1873	2002	130	1.27	1943	2002	60	2.21
1883	2002	120	1.30	1953	2002	50	3.54
1893	2002	110	1.24	1963	2002	40	4.72
1903	2002	100	1.26	1973	2002	30	6.80

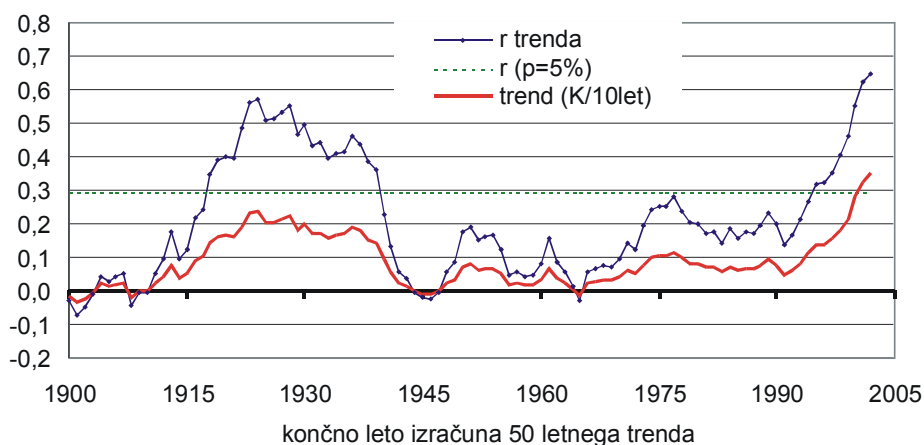
Tudi za dolgoročne nize lahko izračunamo najrazličnejše trende, odvisno od izbire začetnega oz. končnega leta. Ponovno si pomagajmo s primerom analize temperaturnih podatkov za Ljubljano. Oglejmo si trende vseh 50-letnih obdobj, ki jih lahko oblikujemo iz našega niza 1851-2003 (graf 5.2.1). Koeficient trenda »b« in pa signifikantnost trenda sta močno odvisna od izbire obravnavanega obdobja. Predvsem so pomembna sama klimatska nihanja, spremembe mikrolokacije meritev, spreminjanje merilne opreme, vpliv urbanizacije; v zadnjem času pa zlasti tudi ogrevanje kot posledica povečane emisije toplogrednih plinov. Pri izbiri obdobja se moramo torej opreti na kak kriterij, lahko na časovno bližino obdobja (argument »čim novejši podatki«), lahko klimatološka normalna obdobja (argument »clino 1961-1990«) ali pa še kaj drugega (Kajfež-Bogataj, 2001a in 2001b).



Graf 5.2.1: Analiza trenda povprečne letne temperature zraka v Ljubljani. Trendi so izračunani za različno dolga obdobja (x-os). Prvi koeficient trenda je izračunan za 30 letno obdobje (1973-2002), zadnji pa za 152 letno obdobje (1851 do 2002)



Graf 5.2.2: Analiza 50-letnih trendov povprečne letne temperature zraka v Ljubljani. Na y osi so vrednosti korelacijskega koeficienta trenda (r), statistično značilna vrednost r za 50 parov podatkov pri stopnji tveganja 5% ter koeficient trenda, izražen v enoti °C/10 let.



Od 104 možnih 50-letnih trendov jih ima 10 negativni predznak (10%), a ne več po začetnem letu 1916. Trendi 50-letnih obdobj z začetnimi leti od 1869 do 1890 so statistično značilno pozitivni, prav tako pa tudi trendi 50-letnih obdobj z začetnimi leti od 1946 naprej, torej zadnjih 8 obdobj (tabela 5.2.2). Največji trend temperature zraka v Ljubljani je prav v zadnjem 50-letnem obdobju 1953-2002 in znaša kar  $0.35^{\circ}\text{C}$  na 10 let (meje zaupanja  $0.23 < b < 0.48^{\circ}\text{C}$  na 10 let) oz.  $1.8^{\circ}\text{C}$  v 50 letih (meje zaupanja od  $1.2^{\circ}\text{C}$  do  $2.4^{\circ}\text{C}$  v 50 letih).

V našem primeru, ko je neodvisna spremenljivka čas (t), odvisna pa npr. temperatura (T), predstavlja linearna regresijska zveza  $T = a + bt$  empirično oceno o tem, kako se temperatura spreminja v času T(t). Ta zveza seveda ne predstavlja popolnega opisa povezanosti temperature s časom, saj je ta ocena samo linearna in izračunana zgolj na končno dolgem vzorcu podatkov (npr. za 50 let). Pri tem empirični koeficient b predstavlja oceno o morebitnem trendu (naraščanju ali padanju) temperature v času npr. 50 let, z njim pa želimo predstaviti trend nasploh (to je tudi za čas pred in po tem 50-letnem obdobju) ali pa celo napovedati kakšen bo razvoj za vnaprej, za naslednjih 30 ali 50 let.

Pri analizi trendov smo se zato odločili za 50 letno obdobje od leta 1951 do leta 2000, pri čemer izračunani trendi le opisujejo smer razvoja v preteklosti in ne predstavljajo napovedi za prihodnja desetletja. Statistično značilne trende na stopnji tveganja manjši od 5% smo v tabelah označili z zvezdico (\*) ali pa so natisnjeni s krepko pisavo.

Za to, kako dobra je prilagoditvena linearna funkcija, je mera brezdimenzijski empirični korelacijski koeficient  $r$ . Čim bolj se ta po absolutni vrednosti približa vrednosti 1, tem večja je regresijska povezanost obeh spremenljivk. Zanesljivost korelacijskega koeficienta  $r$  lahko izrazimo tudi s stopnjo signifikance. Za regresijsko analizo 50-letnega obdobja in za 95% zahtevano zanesljivost, mora biti vrednost izračunanega korelacijskega koeficient vsaj 0.297. Statistično značilna zanesljivost pa še ne pomeni, da je regresijska povezava močna.

Tabela 5.2.2: **50-letni trendi za Ljubljano (numerične vrednosti, uporabljene pri grafu 5.2.2). Prikazani so le statistično značilni trendi.**

od	do	trend (K/10let)	r trenda
1869	1918	0.14	<b>0.35</b>
1870	1919	0.16	<b>0.39</b>
1871	1920	0.17	<b>0.40</b>
1872	1921	0.16	<b>0.39</b>
1873	1922	0.19	<b>0.48</b>
1874	1923	0.23	<b>0.56</b>
1875	1924	0.24	<b>0.57</b>
1876	1925	0.20	<b>0.51</b>
1877	1926	0.21	<b>0.51</b>
1878	1927	0.21	<b>0.53</b>
1879	1928	0.22	<b>0.55</b>
1880	1929	0.18	<b>0.46</b>
1881	1930	0.20	<b>0.50</b>
1882	1931	0.17	<b>0.43</b>
1883	1932	0.17	<b>0.44</b>
1884	1933	0.16	<b>0.39</b>
1885	1934	0.17	<b>0.41</b>
1886	1935	0.17	<b>0.42</b>
1887	1936	0.19	<b>0.46</b>
1888	1937	0.18	<b>0.44</b>
1889	1938	0.15	<b>0.39</b>
1890	1939	0.14	<b>0.36</b>
1946	1995	0.14	<b>0.32</b>
1947	1996	0.14	<b>0.32</b>
1948	1997	0.15	<b>0.35</b>
1949	1998	0.18	<b>0.40</b>
1950	1999	0.21	<b>0.46</b>
1951	2000	0.28	<b>0.55</b>
1952	2001	0.33	<b>0.62</b>
1953	2002	0.35	<b>0.65</b>

Čim bolj se vrednost izračunanega  $r$  približuje 1, tem bolj je spremenljivka linearno odvisna od časa. Statistično značilnost korelacije lahko ocenimo tudi z izračunom mej zaupanja za vrednost koeficienta premice  $b$ . Če zajame tudi vrednost nič, potem trend ni statistično signifikanten.

V zadnjih desetletjih narašča potreba po raziskavah vpliva spremenjenega podnebja na fenologijo rastlin. Večina raziskav analizira vpliv spremenjenih temperatur zraka na začetek pojava fenofaz ter trajanje rastne sezone (dolžina medfaznega obdobja, npr. med fenofazo olistanja ter fenofazo rumenjenja listja). Poznavanje odvisnosti fenološkega razvoja rastlin od

temperature nam lahko omogoči tudi ocenitev temperaturnih razmer v preteklosti, če imamo na voljo fenološke podatke. Nekatero rastlinske vrste se na spremenjene podnebne razmere še posebej močno odzivajo in so zato bolj primerne za takšne vrste proučevanj. Primer je robinija, katere cvetenje je zelo močno korelirano s povprečno spomladansko temperaturo zraka, zato se je z njeno fenologijo ukvarjalo precej avtorjev (Gorski in Jazurek, 1996; Walkovszky, 1998; Bergant in Kajfež-Bogataj, 1999). Rötzer (2000) je analiziral podatke mednarodnih fenoloških vrtov po Evropi in ugotovil v več kot polovici naravnih regij, ki predstavljajo vso Evropo, trend podaljšanja rastne sezone. Te raziskave se ujemajo z izsledki Menzlove (2000) ter Chmielewskega in Rötzerja (2000), ki sta za Evropo ugotovila za obdobje zadnjih 30-tih let približno 8 dni zgodnejše pojavljanje spomladanskih fenofaz, jesenske fenofaze trenda niso pokazale. Kochova (2000) je ugotovila zgodnejši pojav nekaterih spomladanskih fenofaz za zahodne Alpe v Avstriji. Wielgolaski in Klaveness (1996) sta analizirala začetek cvetenja 41 rastlinskih vrst in ugotovila trend zgodnejšega pojavljanja začetka pomladi oziroma poletja v severni Norveški, medtem ko za južne dele trend ni bil statistično značilen. Vpliv podnebnih sprememb na pojave fenofaz je proučeval v Nemčiji Sachweh (1996) in ugotovil pri malem zvončku ter forzitanji značilno zgodnejše pojavljanje fenofaze začetek cvetenja. Nasprotno pa Defila (1996) ni dokazal trenda zgodnejšega pojavljanja fenofaz v Švici, z izjemo pojavljanja prvih listov pri divjem kostanju v Ženevi, kar pa naj bi bila posledica ogrevanja mesta in ne podnebnih sprememb. Ahas in sod. (2000) navajajo, da so v Estoniji predvsem spomladanske fenofaze značilno zgodnejše, manjše spremembe so v času pojava jesenskih fenofaz, tako da je podaljšanje rastne sezone v zadnjih treh desetletjih predvsem posledica zgodnejšega začetka rastne dobe. Obenem tudi zaključujejo, da bi se naj ob predvidenih scenarijih podnebnih sprememb povečala variabilnost v času nastopa fenofaz. Za Kanado so Beaubienova (1996) ter Beaubien in Freeland (2000) analizirali indekse spomladanskega cvetenja in ugotovili trend 10 dni zgodnejšega cvetenja za zadnjih 60 let. Predmet raziskav v fenologiji so tudi vplivi podnebnih sprememb v bodočnosti na pojave fenofaz. Tako sta Maakova in Storch (1997) na osnovi MSC modela, ki predvideva do leta 2035 podvojeno koncentracijo CO<sub>2</sub>, napovedala za severno Nemčijo dva tedna zgodnejše cvetenje malega zvončka. Ahas in sod. (2000) predvidevajo, da bo fenološki razvoj v Estoniji ob spremembi temperature zraka za 2 stopinji ostal znotraj meja naravne variabilnosti (ekstremno topla, ekstremno hladna leta), še bolj pa bi se naj povečala variabilnost v nastopu fenofaz. Raziskave fenoloških trendov potekajo v zadnjih letih pri nas na katedri za agrometeorologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani (Bergant in sod., 2002; Črepinšek, 2002; Kajfež-Bogataj, 2001).

## 5.3 UPORABLJENI PODATKI

Za izračun linearnih trendov v Sloveniji smo uporabili podatke o povprečni letni temperaturi zraka in letni količini padavin v obdobju 50 let, torej od leta 1951 do leta 2000. Upoštevali smo 12 postaj v Sloveniji (slika 5.3.1), ki so imele popolne nize podatkov v omenjenem obdobju.

Slika 5.3.1: **Meteorološke postaje, ki so bile vključene v analizo trendov**



V Sloveniji potekajo fenološka opazovanja že vse od leta 1950 in fenološki arhiv za katerega skrbi Agencija RS za okolje, predstavlja zelo pomembno bazo podatkov, ki so predmet številnih raziskav. Sedaj potekajo opazovanja na 61 fenoloških postajah, ki so razporejene po regionalnem klimatskem ključu, opazovalci pa beležijo pojav fenofaz na skupno 23-tih gojenih rastlinah (poljski posevki, sadno drevje in vinska trta) ter 40 negojenih rastlinah (gozdno drevje, grmovnice, zelnate rastline, detelje in trave). V našo raziskavo smo vključili 17 rastlin, ki sodijo v naslednje skupine fenoloških objektov:

**Negojene zelnate rastline:**

- Navadna ivanjščica (*Leucanthemum ircutianum* Turcz.)
- Navadni mali zvonček (*Galanthus nivalis* L.)
- Navadni regrat (*Taraxacum officinale* Weber in Wiggers)
- Pomladanski žafran (*Crocus napolitanus* Mordant&Loisel.)

**Gozdno drevje in grmičevje:**

- Navadna breza (*Betula pendula* Roth)
- Navadna bukev (*Fagus sylvatica* L.)
- Črni bezeg (*Sambucus nigra* L.)
- Navadni divji kostanj (*Aesculus hippocastanum* L.)
- Iva (*Salix caprea* L.)
- Navadna leska (*Corylus avellana* L.)
- Lipa (*Tilia platyphyllos* Scop.)
- Navadna robinija (*Robinia pseudacacia* L.)
- Navadna smreka (*Picea abies* (L.) Karsten)
- Španski bezeg (*Syringa vulgaris* L.)

**Trave:**

- Navadna pasja trava (*Dactylis glomerata* L.)

**Sadno drevje:**

- Češplja (*Prunus domestica* L.), sorta 'Domača češplja'
- Jablana (*Malus domestica* Borkh), sorta 'Bobovec'

Obravnavali smo naslednje fenofaze: začetek cvetenja, splošno cvetenje, olistanje in jesensko rumenenje listja. Kriteriji za izbiro gornjih rastlin so bili naslednji: niz podatkov naj bo za izbrano rastlino čim daljši in popolnejši ter kvaliteten, izbrane fenofaze naj bodo takšne, da njihovo opazovanje ni problematično; izbrane rastline naj bodo opazovane na čim več fenoloških postajah in naj pripadajo različnim skupinam fenoloških objektov.

Meteorološke podatke za povprečne dnevne temperature zraka smo dobili iz arhiva meteoroloških podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje za obdobje 1955-2000. Obravnavali smo 8 lokacij: Celje, Ilirska Bistrica, Lesce, Ljubljana, Maribor, Murska Sobota, Novo mesto in Rateče. Kriteriji za izbiro lokacij so bili naslednji: izbrana meteorološka postaja naj bo hkrati tudi fenološka postaja za izbrano obravnavano obdobje; niz potrebnih meteorološki podatkov za obdobje 1955-2000 naj bo čimbolj popoln; izbrane postaje naj zajamejo podnebno različne predele Slovenije.

## 5.4 REZULTATI

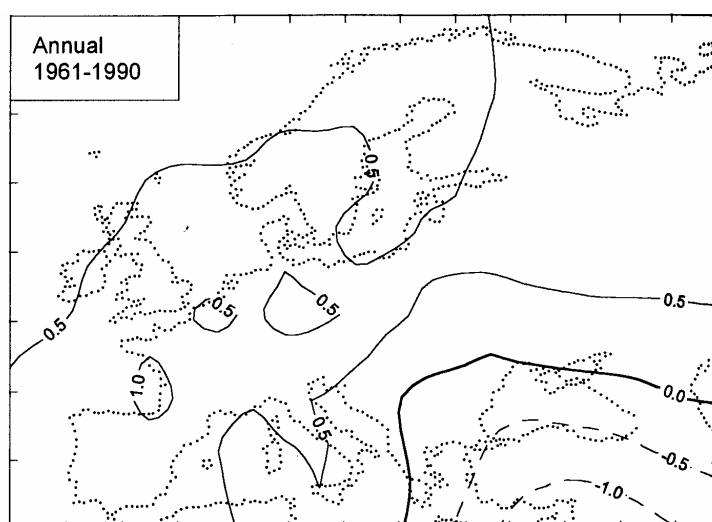
Rezultate podajamo v treh delih. Najprej si oglejmo analize trendov v evropskem prostoru, v drugem delu trende povprečne letne temperature zraka in letne količine padavin v Sloveniji in v tretjem delu fitofenološke trende in njihovo povezanost s temperaturo zraka.

### 5.4.1 ANALIZA TRENDOV V EVROPI

Trende različnih meteoroloških spremenljivk za evropske postaje za klimatološko obdobje od leta 1961 do 1990 najdemo lahko v Atlasu klimatskih trendov v Evropi (Schonwiese in Rapp, 1997) in kažejo na krajevne razlike v evropskem prostoru.

Povprečna letna temperatura zraka se je v 30 letih (od leta 1961 do 1990) povečala za 0.5 do 1°C na večini ozemlja Evrope, razen na skrajnem jugovzhodu, kjer je trend negativen (slika 5.4.1.1). Najbolj so se ogrele zime (od 0.5 do 2°C v 30 letih), najmanj pa poletja (od 0 do 1°C v 30 letih). Ti rezultati se ujemajo tudi z slovenskimi študijami (Kajfež-Bogataj, 1994 in Kajfež-Bogataj in sod., 1999). Statistična zanesljivost izračunanih linearnih trendov za povprečno letno temperaturo zraka je sorazmerno blizu praga signifikantnosti, vendar v fizikalnem smislu ni velika, zato jih lahko interpretiramo le kot smer razvoja, ki se ujema s fizikalnimi napovedmi modelov splošne cirkulacije zraka (Bergant, 2003).

Slika 5.4.1.1: Trend povprečne letne temperature zraka (sprememba v 30 letih v °C) v Evropi za obdobje 1951- 2000 (prirejeno po Schonwiese in Rapp, 1997)

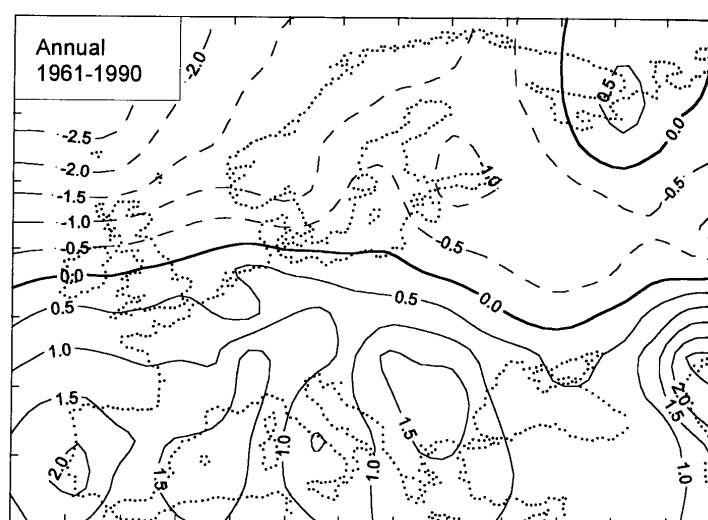


Povprečni letni zračni pritisk na morskem nivoju se je v 30 letih (od leta 1961 do 1990) povečal v srednji in južni Evropi (za 0.5 do 2 mb), znižal pa v severozahodni in severni Evropi (za -0.5 do -2.5 mb) (slika 5.4.1.2). Najizrazitejše spremembe pritiska so v zimskem in jesenskem času, ko velikost trenda naraščanja pritiska v srednji in južni Evropi doseže tudi

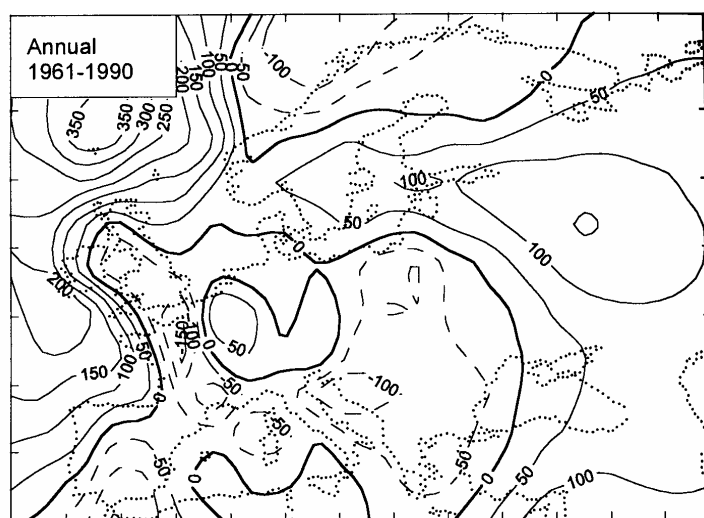
4 mb na 30 let, oz. trend znižanja zračni pritisk na morskem nivoju v SZ in S Evropi doseže celo vrednosti  $-7$  mb na 30 let. Čeprav večina trendov ni signifikantna, ti rezultati nakazujejo spremembe v splošni cirkulaciji atmosfere, ki se odraža v milejših in sončnejših zimah v naših krajih.

Najbolj nejasna situacija je pri oceni sprememb padavin v Evropi v obdobju 1961-90 (slika 5.4.1.3), še posebej na območju srednje Evrope, kjer leži Slovenija. Letna količina padavin se je povečevala na območju Z in SZ Evrope (od 50 do 200 mm v 30 letih) in na skrajnem vzhodu Evrope (od 50 do 100 mm v 30 letih), zmanjšala pa v delu srednje Evrope, torej tudi generalno gledano v okolici Slovenije (od 50 do 100 mm v 30 letih oz. približno  $-10\%$  povprečne količine). Sezonsko gledano ni bistvenih razlik med letnimi časi. Statistična zanesljivost izračunanih linearnih trendov za letno količino padavin ni velika, zato jih gre interpretirati le kot grobo smer razvoja.

Slika 5.4.1.2: Trend povprečne letne vrednosti zračnega tlaka na morskem nivoju (sprememba v 30 letih v mb) v Evropi za obdobje 1961- 1990 (prirejeno po Schonwiese in Rapp, 1997)



Slika 5.4.1.3: Trend povprečne letne vrednosti padavin (sprememba v 30 letih v mm) v Evropi za obdobje 1961- 1990 (prirejeno po Schonwiese in Rapp, 1997)



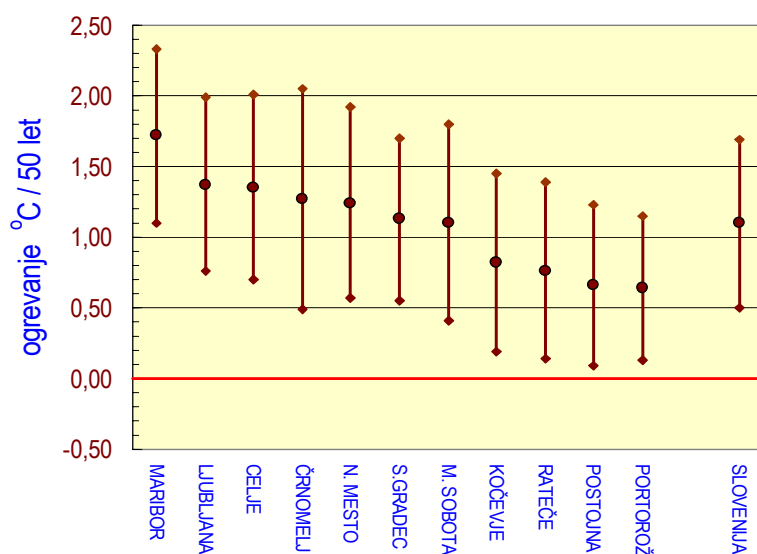
## 5.4.2 TRENDI V SLOVENIJI

Za obravnavane postaje v Sloveniji smo izračunali trende za obdobje 50 let. Povprečna letna temperatura zraka se je v Sloveniji v zadnjih 50 letih (1951-2000) statistično značilno ( $p < 0.05$ ) povečala za  $1.1 \pm 0.6^\circ\text{C}$  (graf 5.5.2.1), najbolj v urbaniziranih okoljih (Maribor  $1.7 \pm 0.6^\circ\text{C}/50$  let), Ljubljana  $1.4 \pm 0.6^\circ\text{C}/50$  let) in manj v ruralnih območjih (Kočevje in Rateče  $0.8 \pm 0.6^\circ\text{C}/50$  let), Postojna  $0.7 \pm 0.6^\circ\text{C}/50$  let). Podatke za postaji Črnomelj in Portorož smo zaradi selitve postaj najprej homogenizirali. Tudi v teh dveh krajih je trend statistično značilen. Zaradi bližine morja je trend otoplitve v Portorožu najmanjši v primerjavi z ostalimi obravnavanimi kraji ( $0.6 \pm 0.5^\circ\text{C}/50$  let).

Tabela 5.4.2.1: Trendi povprečne letne temperature zraka ( $^\circ\text{C}/50$  let) in relativna sprememba količine padavin (v % na 50 let) v Sloveniji za 50-letno obdobje 1951- 2000

	Trend temperature zraka ( $^\circ\text{C}/50$ let)	Relativna sprememba količine padavin (v % na 50 let)
MARIBOR	1.7*	-1.5
LJUBLJANA	1.4*	-2.2
CELJE	1.4*	-7.8
NOVO MESTO	1.2*	0.9
SLOVENJ GRADEC	1.1*	-6.3
MURSKA SOBOTA	1.1*	1.6
KOČEVJE	0.8*	-15.7
RATEČE	0.8*	-21.1
POSTOJNA	0.7*	13.1
ČRNOMELJ	1.3*	-4.9
PORTOROŽ	0.6*	-9.0
<b>POVPREČJE</b>	<b>1.1*</b>	<b>-5.2</b>

Graf 5.4.2.1: Ocena spremembe letne temperature zraka v slovenskih krajih v obdobju 1951-2000



Močno naraščanje temperature zraka opazamo tudi na višje ležečih postajah, kjer je vpliv urbanizacije zanemarljiv. Na primer na Kredarici (2514 m), kjer so se neprekinjena opazovanja pričela leta 1954, je v zadnjih 47 letih povprečna letna temperatura zraka narasla za  $1.2 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ . Zlasti intenziven dvig temperature zraka je bil po letu 1980, leto 2000 pa je bilo v Sloveniji do tedaj najtoplejše leto odkar je organizirana mreža meteoroloških merenj.

Tabela 5.4.2.2: Meje zaupanja za trend povprečne letne temperature zraka ( $^{\circ}\text{C}/50$  let) v Sloveniji za 50-letno obdobje 1951-2000

	Meje zaupanja za trend ( $^{\circ}\text{C}/50$ let)				
MARIBOR	1.1	<	b	<	2.3
LJUBLJANA	0.8	<	b	<	2.0
CELJE	0.7	<	b	<	2.0
NOVO MESTO	0.6	<	b	<	1.9
SLOVENJ GRADEC	0.6	<	b	<	1.7
MURSKA SOBOTA	0.4	<	b	<	1.8
KOČEVJE	0.2	<	b	<	1.4
RATEČE	0.1	<	b	<	1.4
POSTOJNA	0.1	<	b	<	1.2
ČRNOMELJ	0.5	<	b	<	2.1
PORTOROŽ	0.1	<	b	<	1.1
<b>POVPREČJE</b>	<b>0.5</b>	<b>&lt;</b>	<b>b</b>	<b>&lt;</b>	<b>1.7</b>

Tabela 5.4.2.3: Meje zaupanja za % spremembe letne količine padavin v 50 letih v Sloveniji za obdobje 1951-2000

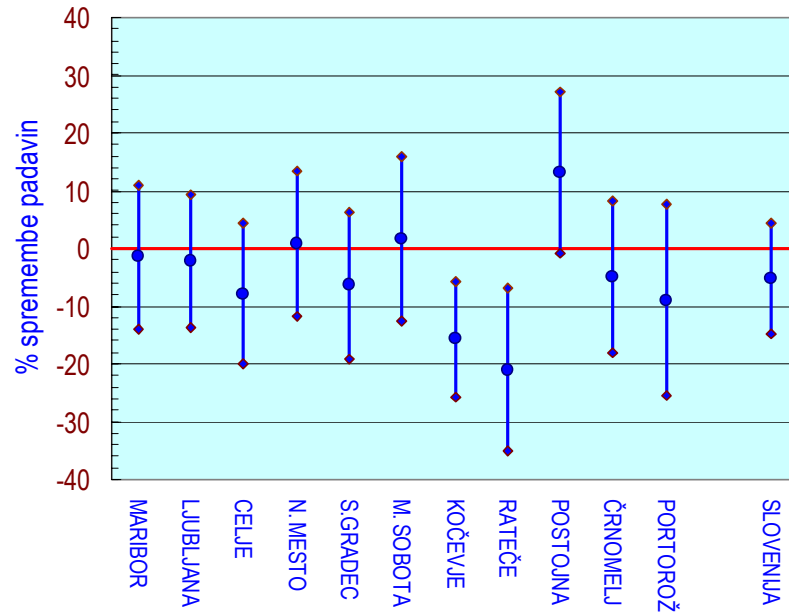
	Meje zaupanja za trend (% spremembe/50 let)				
MARIBOR	-14.0	<	b	<	11.0
LJUBLJANA	-13.6	<	b	<	9.2
CELJE	-20.0	<	b	<	4.3
NOVO MESTO	-11.7	<	b	<	13.4
SLOVENJ GRADEC	-19.0	<	b	<	6.4
MURSKA SOBOTA	-12.6	<	b	<	15.8
KOČEVJE	-25.8	<	b	<	-5.7
RATEČE	-35.2	<	b	<	-7.0
POSTOJNA	-0.8	<	b	<	27.0
ČRNOMELJ	-18.0	<	b	<	8.3
PORTOROŽ	-25.6	<	b	<	7.6
<b>POVPREČJE</b>	<b>-14.7</b>	<b>&lt;</b>	<b>b</b>	<b>&lt;</b>	<b>4.3</b>

Podobno kot na ostali severni polobli, je tudi v Sloveniji ogrevanje najbolj izrazito v zimskem in pomladnem času, kar se posledično odraža tudi v zmanjšanem številu dni s snežno odejo,



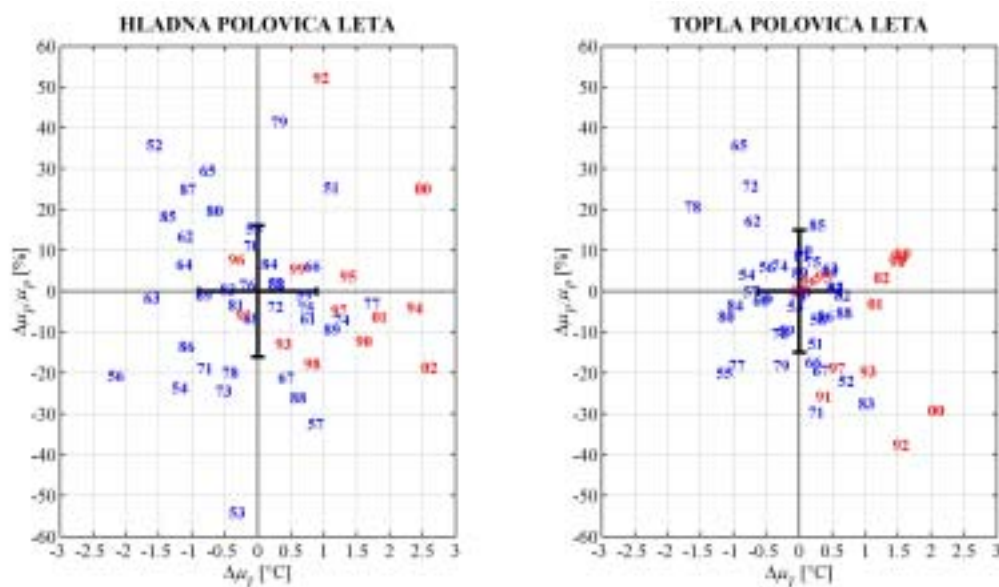
postopnem zmanjševanju triglavskega ledenika, zgodnejšem nastopu fenoloških faz razvoja rastlin (npr. olistanje listavcev) ipd.

Graf 5.5.2.2: **Ocena relativne spremembe letne količine padavin v slovenskih krajih v obdobju 1951-2000**



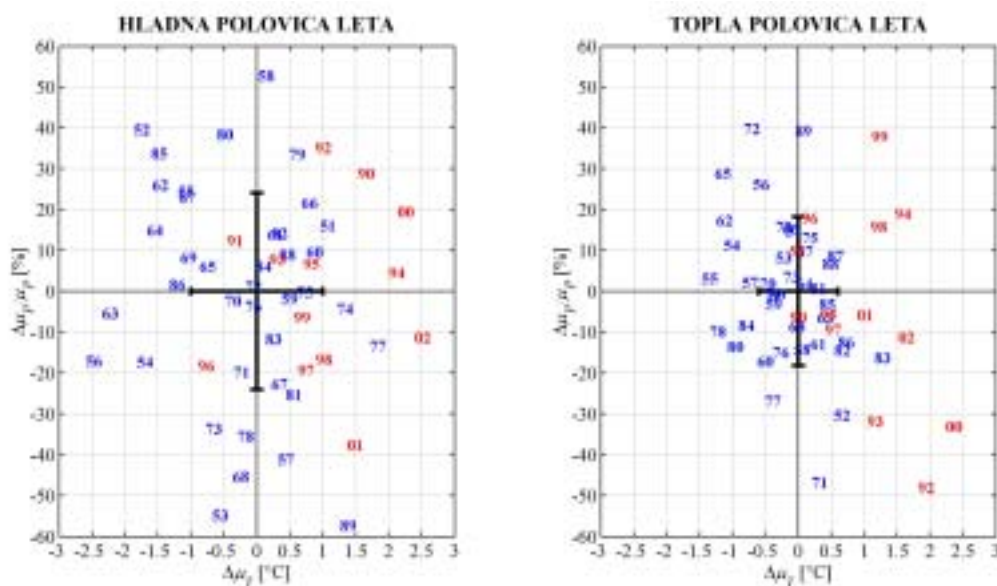
Trendi letne količine padavin na večini območja Slovenije niso statistično značilni (graf 5.4.2.2), z izjemo Kočevja in Rateč, kjer pa je zaznati v zadnjih 50 letih statistično značilno upadanje padavin ( $-16 \pm 10\%$  na 50 let in  $21 \pm 14\%$  na 50 let). Zaenkrat ne opažamo bistvenih sprememb padavinskega režima z izjemo intenzivnosti nalivov, ki rahlo narašča (Kajfež-Bogataj in sod., 1999). V slovenskih kotlinah se je zmanjšalo število dni z meglo, istočasno pa je opazen trend naraščanja trajanja sončnega obsevanja.

Grafa 5.4.2.3: **Odstopanja povprečne temperature zraka (x-os) in količine padavin (y-os) v letih 1951 do 2002 v Ljubljani (zadnjih 12 let je označeno z rdečo barvo)**



Kako torej strniti klimatsko dogajanje v Sloveniji v zadnjih 50 letih? Zaključimo naj z grobo oceno, ki jo lepo ilustrirata grafa 5.4.2.3 in 5.4.2.4, na primeru podatkov Ljubljane in Murske Sobotice. Iz meritev temperature zraka in količine padavin lahko zaključimo, da je večina let po letu 1990 v primerjavi z dolgoletnimi povprečji pretoplih, z razmeroma nižjo količino padavin od povprečja. Še posebej je ta pojav izrazit v topli polovici leta (mesece od aprila do septembra). Čeprav so trendi količine padavin nesignifikantni, lahko grobo ocenimo, da je najverjetnejši razvoj klime v Sloveniji v bodoče nagnjen v smer toplih in nekoliko sušnejših poletij in toplih zim z približno nespremenjeno povprečno količino padavin.

Grafa 5.4.2.4: Odstopanja povprečne temperature zraka (x-os) in količine padavin (y-os) v letih 1951 do 2002 v Murski Soboti (zadnjih 12 let je označenih z rdečo barvo)



### 5.4.3 FITOFENOLOŠKI TRENDI V SLOVENIJI IN NJIHOVA POVEZANOST S TEMPERATURAMI ZRAKA

Najprej smo za izbrane fenofaze ter lokacije za obravnavanih 46 let izračunali časovne trende. Trend smo opisali z linearnim modelom, ki se je najbolje prilegal našim podatkom in ga podajamo za vse fenofaze ovrednotenega kot negativni (-) ali pozitivni trend (+) (tabela 5.4.3.1). Negativni trend pomeni, da se določena fenofaza v obravnavanem nizu v zadnjih letih pojavlja v povprečju zgodneje kot v začetnih letih, pozitiven trend pa kaže na kasnejše pojavljanje določene fenofaze glede na začetno obdobje. Statistično značilne trende pri stopnji tveganja  $p=0.05$  smo označili z znakom \*. V tabeli 5.4.3.1 pomeni prazno polje bodisi, da na lokaciji fenofaze ne opazujejo, oziroma je niz prekratek in fenofaza ni bila vključena v časovno analizo.

Tabela 5.4.3.1: Predznak trenda pojavov fenofaz za obdobje 1955-1999, - negativen trend, + pozitiven trend, \* statistično značilen trend,  $p=0.05$

#### Legenda

CE – Celje	MB – Maribor
IB – Ilirska Bistrica	MS – Murska Sobota
LE – Lesce	NM – Novo mesto
LJ – Ljubljana	RA – Rateče

## A – fenofaza cvetenja

rastlina	CE	IB	LE	LJ	MB	MS	NM	RA
breza	_*	-	_*	-	-	-	-	-
češplja	_*	_*	-		_*	_*	_*	+
lva	_*	-		_*	-	_*	_*	_*
ivanjščica	-	-	-	-	+		-	
jablana	-			-				
lipa	-	_*	-	+	+	-	-	_*
pasja trava	_*			-	_*	-	-	+
regrat	_*	_*	_*	-	-		_*	-
pomlad. žafran	-	-	_*	-			-	-
mali zvonček	-	_*	-	-	-		-	_*
češplja	_*	-	-		_*	_*	_*	-
črni bezeg	_*	-	-	_*	_*	_*	_*	-
divji kostanj	_*	-	+	_*	_*	-	_*	-
jablana	_*			-				
leska	-	-	_*	_*	_*	-	_*	_*
robinija	_*	_*		_*	-		_*	
španski bezeg	_*	-	+	_*	_*	_*	_*	-

## B - fenofaza olistanja

rastlina	CE	IB	LE	LJ	MB	MS	NM	RA
breza	_*	_*	_*	_*	_*	-	_*	+
bukev	_*		_*	_*	-		-	+
divji kostanj	_*	_*	_*	_*	+	_*	_*	++
lipa	-	-	_*	-	+	-	_*	+
smreka	_*	_*	-	+	-		_*	-

## C - fenofaza splošnega rumenjenja listov

rastlina	CE	IB	LE	LJ	MB	MS	NM	RA
breza	-	-	+*	+*	+*	_*	-	+
bukev	-		+*	+*	+*		+*	+*
lipa	+*	-	+	+*	+*	_*	+	+

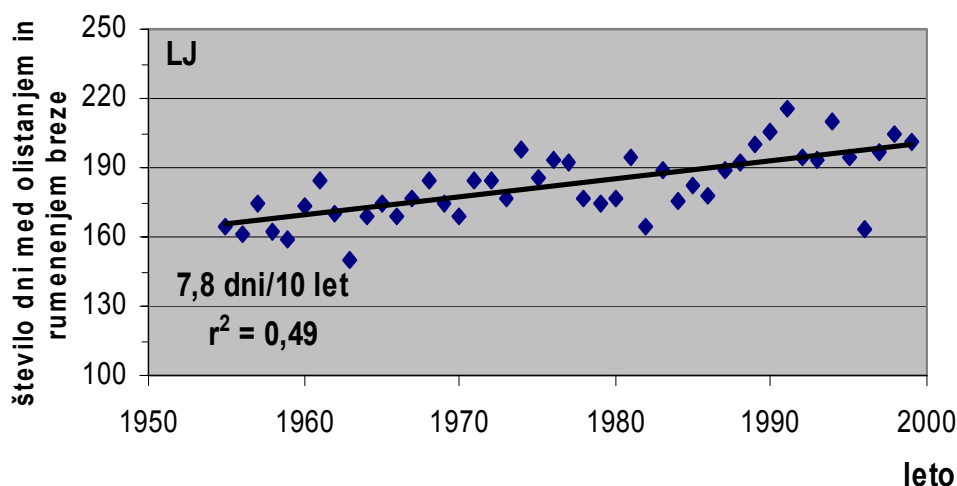
## D – dolžina obdobja med fenofazama olistanja in splošnega rumenjenja listja

rastlina	CE	IB	LE	LJ	MB	MS	NM	RA
breza	+	-	+*	+*	+*	-	+	+
bukev	+		+*	+*	+*		+*	+*
lipa	+*	+	+*	+	+*	_*	+*	+

Za fenofazo cvetenja smo ugotovili, da za 17 fenofaz in 8 lokacij ni niti eden pozitiven trend statistično značilen. Od izračunanih 109 trendov cvetenja jih je 51 statistično značilno negativnih. Pri ostalih fenofazah cvetenja trend ni statistično značilen, negativen predznak trenda (52 primerov) pa tudi tu prevladuje nad pozitivnim (6 primerov). Največji koeficient trenda kažeta fenofazi cvetenja ive in leske. Negojene zelnate rastline na splošno redkeje cvetijo bolj zgodaj kot drevice in grmičevje. Za fenofazo cvetenja pri obravnavanih rastlinah in krajih je značilno, da v 54% trenda ni, v 46% pa obstaja negativen trend, kar pomeni, da se fenofaza cvetenja v zadnjih letih pojavlja bolj zgodaj kot v začetnih letih obravnavanega obdobja. Podobne rezultate kot za cvetenje smo dobili tudi za fenofazo olistanja pri brezi, bukvi, divjem kostanju, lipi in smreki. Fenofaza olistanja nastopi v 54% primerov bolj zgodaj,

v 43% primerov statistično značilnega trenda ni, le v enem primeru (3%) pa fenofaza nastopi v zadnjih letih kasneje kot v začetnih letih obravnavanega obdobja. Na splošno lahko ugotovimo, da približno polovica spomladanskih fenofaz (začetek cvetenja, splošno cvetenje, olistanje) nastopi zadnja leta statistično značilno bolj zgodaj, ostala polovica pa ne kaže značilnega trenda. Drugačno sliko nam kaže jesenska fenofaza splošnega rumenenja listja, za katero prevladuje pozitiven trend, to pomeni, da listje rumeni zadnja leta kasneje. Na osnovi podatkov o nastopu fenofaz olistanja in rumenenja listja pri brezi, bukvi in lipi smo izračunali dolžino obdobja (število dni) med nastopom obeh fenofaz. V več kot polovici primerov je trend dolžine obdobja med obema fenofazama pozitiven (graf 5.4.3.1), kar pomeni, da se pri omenjenih drevesnih vrstah obdobje rasti podaljšuje.

Graf 5.4.3.1.: Trend dolžine obdobja med olistanjem in jesenskim rumenenjem listja pri brezi v Ljubljani za obdobje 1955-2000

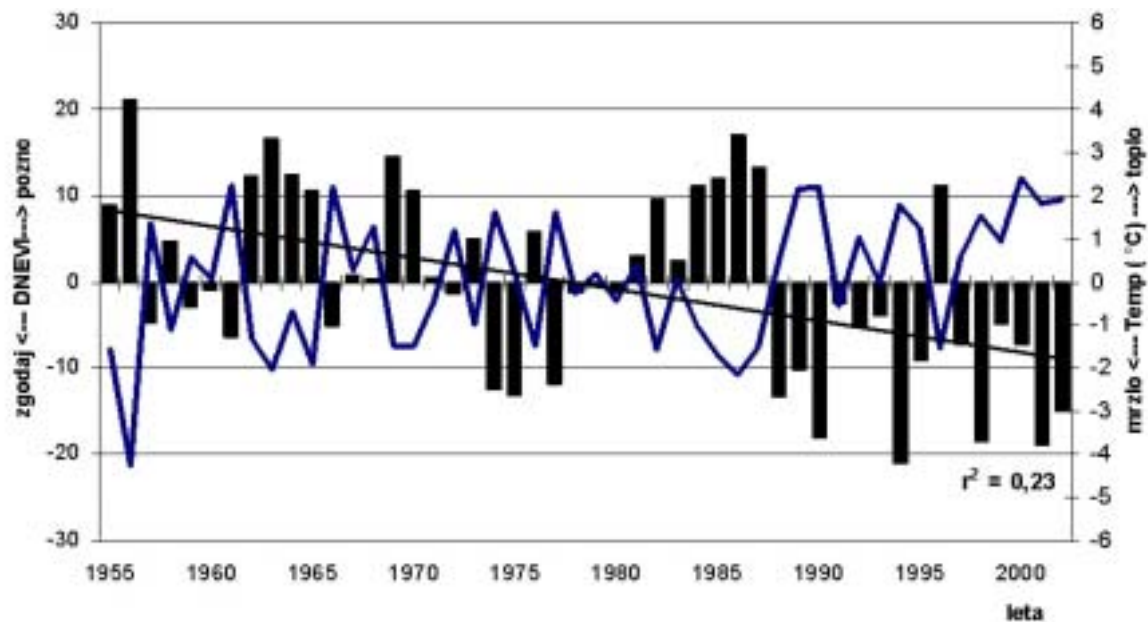


Združevanje fenoloških podatkov v fenološke indekse nam omogoča bolj zgoščen pregled vpliva vremenskih dejavnikov na večjem področju oziroma v nekem daljšem obdobju. Takšna fenološka informacija, ki je kombinacija podatkov večih postaj in večih rastlin (fenofaz), zagotavlja splošnejše, a bolj zanesljive rezultate (Beaubien in Freeland, 2000; Chmielewski in Rötzer, 2001; Schaber, 2002). V naši analizi fenoloških podatkov smo združili fenološke podatke v naslednjih indeksih:

1. **Indeks olistanja** (povprečje datumov olistanja navadne breze, bukve, lipe in divjega kostanja)
2. **Indeks cvetenja v zgodnji pomladi** (povprečje datumov cvetenja navadne breze, regrata, ive, navadne leske in malega zvončka)
3. **Indeks cvetenja v pozni pomladi** (povprečje datumov cvetenja robinije, črnega bezga, španskega bezga in lipe)
4. **Indeks začetka rastne sezone** (povprečje gornjih treh fenoloških indeksov za 11 rastlinskih vrst in 8 lokacij)

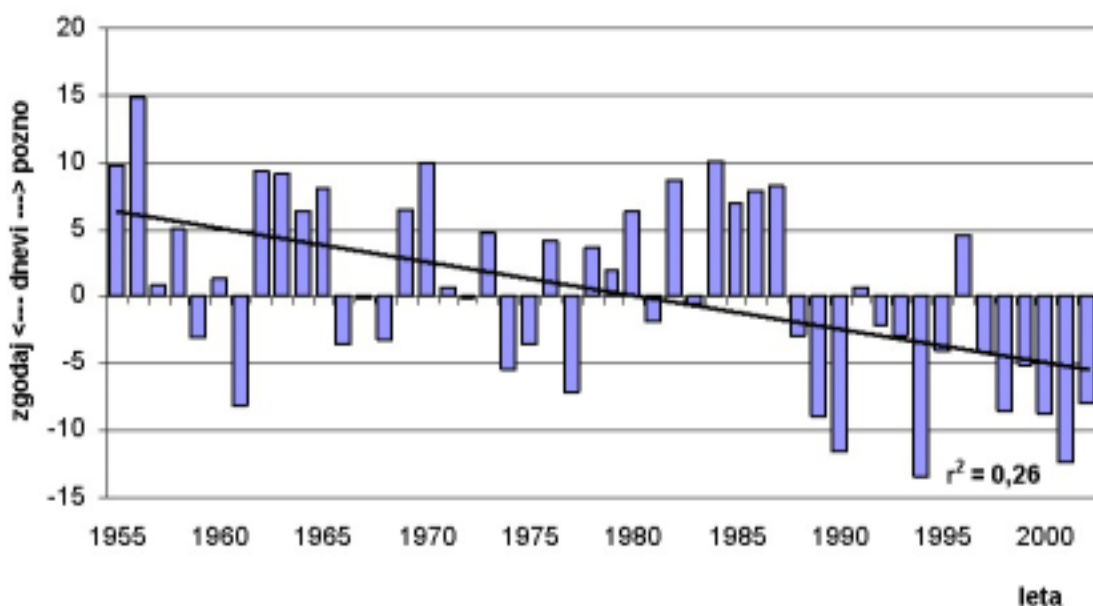
Trendi spomladanskih fenofaz različnih rastlin so se med sabo statistično značilno razlikovali. Srednji linearni trendi (dnevi na 10 let) so se gibali med -1.4 za fenofazo olistanja, -2.2 za fenofazo cvetenja v pozni pomladi in -3.1 za fenofazo cvetenja v zgodnji pomladi (graf 5.5.3.2). V proučevanem obdobju je tako olistanje nastopilo v zadnji dekadi v povprečju 6 dni zgodneje, cvetenje pa 10-14 dni bolj zgodaj glede na začetno dekada (petdeseta leta).

Graf 5.4.3.2: Linearni trend indeksa cvetenja v zgodnji pomladi in temperature zraka, prikazano kot odkloni od dolgoletnega povprečja (1955-2000). Navpični stolpci predstavljajo odklone letnih indeksov cvetenja, krivulja pa odklone temperatur zraka (februar-april)



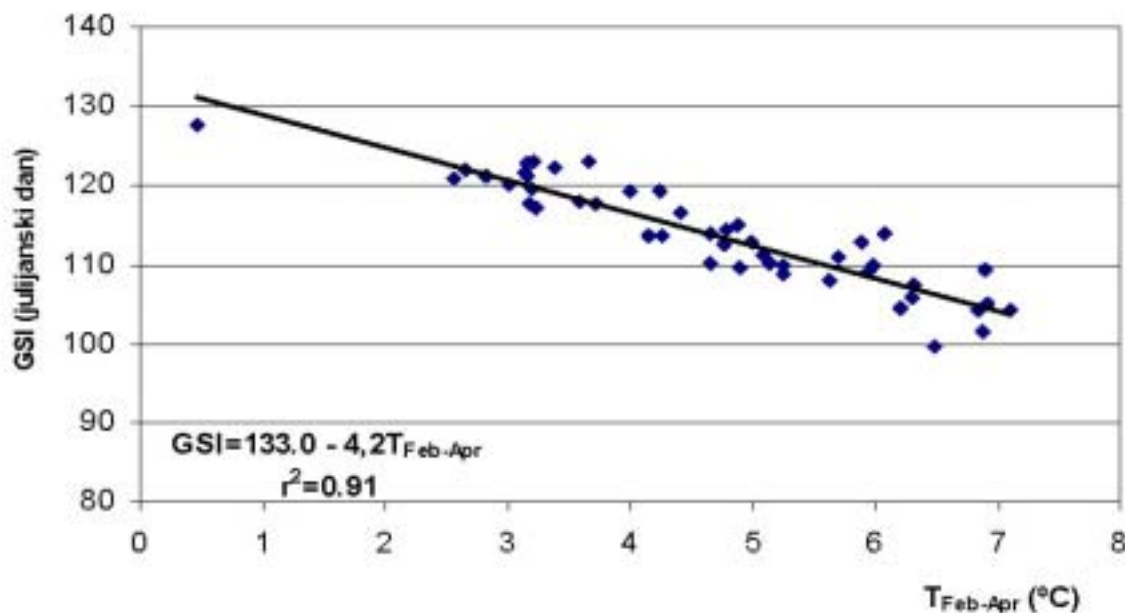
Začetek rastne sezone je pomemben dejavnik tako v kmetijstvu kot tudi v gozdarstvu, na njegovo spremenljivost pa v veliki meri vplivajo dejavniki okolja, še posebej temperatura. Dolgoletni povprečni začetek rastne sezone (definiran kot indeks rastne sezone - GSI) nastopi v Sloveniji 24. aprila. Standardni odklon znaša 6.7 dni in variacijski razmik 30 dni. Med leti 1988 in 2000 je v 11-tih od skupno 13-tih let nastopil začetek pomladi zgodnejše od dolgoletnega povprečja (graf 5.4.3.3.). Pet najzgodnejših fenoloških pomlad smo zabeležili v letih 1994, 1990, 1989, 2000 in 1998. Začetek rastne sezone je bil ekstremno zgoden 1994 (10. april) in ekstremno pozen leta 1956 (10. maja).

Graf 5.4.3.3.: Dolgoletni trend indeksa rastne sezone. Julijanski dnevi so prikazani kot odkloni od dolgoletnega povprečnega indeksa rastne sezone vseh postaj



Vsakoletni nastop fenofaz je v veliki meri odvisen od temperatur zraka in odraža toplotne razmere tekočega leta in lokacije. Med začetkom rastne sezone, izraženim kot GSI, ter povprečno tromesečno temperaturo zraka od februarja do aprila, smo ugotovili močno statistično značilno negativno povezavo ( $r = -0.95^{**}$  oz.  $r^2 = 0.91$ ). Iz regresijske enačbe, prikazane na grafu 5.4.3.4., lahko ugotovimo, da ogrevanje za  $1^{\circ}\text{C}$  (od februarja do aprila) pospeši začetek rastne dobe za približno 4 dni.

Graf 5.4.3.4: Povezava med temperaturo pomladnih mesecev  $T_{\text{Feb-Apr}}$  (februar-april) in Indeksom rastne sezone (GSI). Otoplitev za  $1^{\circ}\text{C}$  glede na  $T_{\text{Feb-Apr}}$  pomeni približno 4 dni zgodnejši začetek rastne sezone v Sloveniji



Globalno ogrevanje torej vpliva na zgodnejši začetek rastne dobe in hitrejši razvoj rastlin. Ker so rastline na nihanja podnebnih dejavnikov različno občutljive, lahko pride do sprememb v populacijski dinamiki – večje možnosti imajo tiste rastline, ki se hitreje prilagodijo na spremenjene razmere. Pojavljajo se možnosti uvajanja novih sort ali vrst rastlin, ki potrebujejo za svoj razvoj več toplote, prostor za kmetijsko pridelavo pa se potencialno lahko premakne tudi na višje ležeče predele. Zaradi daljše rastne dobe je lahko spremenjen kolobar (strniščni posevki, zeleno gnojenje). Sprememba v času pojavljanja fenoloških faz in njihovega trajanja pa posledično vpliva tudi na pojav novih bolezni, plevelov in škodljivcev oziroma na močnejše izbruhe bolezni, ki sedaj (še) ne povzročajo večje škode. Pri določenih škodljivcih se lahko zaradi višjih temperatur pojavi večje število generacij v enem letu. Zaradi toplejših zim in pomladi je večja nevarnost poznih pomladanskih pozeb, kar povzroča zmanjšanje ali izpad pridelka, pri drevesnih vrstah se posledice lahko kažejo več let.

## 5.5 NEGOTOVOSTI OCENE

Pri izračunavanju trendov smo uporabili linearno regresijo, ki je le grob približek opisa časovne vrste. Analizirali smo le del slovenskih postaj, saj imajo mnoge tudi nepopolne nize podatkov. Izračunani trendi so upoštevali le letne vrednosti temperature zraka in količine padavin, zato jih ne moremo posploševati za sezone ali posamezne mesece. Poudarimo naj, da izračunani trendi le opisujejo smer razvoja v preteklosti in ne predstavljajo napovedi za prihodnja desetletja.

## 5.6 NABOR IN PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV

Klimatologija daje prednost sekularnim trendom izračunanim iz daljših obdobij, seveda če so na razpolago dolgoletni homogeni nizi meritve. Če takih podatkov nimamo, žal analiziramo trende za obdobja, ko so podatki homogeni. Za spremljanje podnebnih sprememb nujno potrebujemo dovolj gosto mrežo meteoroloških opazovalnic s primernim obsegom neprekinjenih meritev, ki so usklajene s priporočili Svetovne meteorološke organizacije. Potrebno je zagotoviti tudi kakovostno kalibracijo instrumentov, redno vzdrževanje mreže in kontrolo podatkov.

Tudi fenološki arhiv je dragocen vir podatkov in nam omogoča proučevanje vpliva vremena in podnebja v sedanjih in bodočih klimatskih razmerah, da se na morebitne spremembe lahko pravočasno prilagodimo, zato bi bilo vsakršno krčenje mreže fenoloških postaj nedopustno.

## 5.7 VIRI

- Ahas R. 1999. Long-term phyto-, ornitho- and ichthyophenological research for the 21<sup>st</sup> century. *International Journal of Biometeorology*, 42, 3: 119-123.
- Ahas R., Jaagus J., Aasa A. 2000. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature. *International Journal of Biometeorology*, 44, 4: 159-166.
- Arhiv fenoloških podatkov Agencije republike Slovenije za okolje. Podatki za obdobje 1955-2000. 2000. Ljubljana, Agencija republike Slovenije za okolje (izpis iz baze podatkov).
- Arhiv meteoroloških podatkov Agencije republike Slovenije za okolje. Podatki za obdobje 1955-2000. 2000. Ljubljana, Agencija republike Slovenije za okolje (izpis iz baze podatkov)
- Beaubien, E.G. 1996. Relationships between plant phenology in continental western Canada and Pacific Ocean temperatures. V: *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Congress of Biometeorology*, Ljubljana, 1-8 sep. 1996. Hočevar A., Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L. (ur.). Ljubljana, Mednarodno biometeorološko društvo in Slovensko meteorološko društvo: 150-160.
- Beaubien, E.G., Freeland H.J. 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *International Journal of Biometeorology*, 44, 2: 53-59.
- Bergant, K. 2003. Projekcije simulacij globalne klime na lokalni nivo in njihova uporaba v agrometeorologiji. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo (v pripravi).
- Bergant K., Kajfež-Bogataj L. 1999. Spatial interpolation of phenological data-flowering of locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) in Slovenia. *Razprave-Papers*, posebna številka: 5-10.
- Bergant K., Kajfež-Bogataj L., Črepinšek Z. 2002. Statistical downscaling of GCM simulated average monthly air temperature to the beginning of flowering of dandelion (*Taraxacum officinale*) in Slovenia. *International Journal of Biometeorology*, 46,1: 22-32.
- Chmielewski, F.M., Rötzer T. 2000. Phenological trends in Europe in relation to climatic changes. *Agrarmeteorologische Schriften*. Heft 07. Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, Agrarmeteorologie: 14 str.
- Chmielewski, F.M., Rötzer T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 2: 101-112.
- Črepinšek, Z. 2002. Napovedovanje fenološkega razvoja rastlin na osnovi agrometeoroloških spremenljivk v Sloveniji. Dokt. Disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 135 str.
- Defila, C. 1996. 45 Years Phytphenological observations in Switzerland, 1951-1995. V: *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Congress of Biometeorology*, September 1-8, Ljubljana, 1996. Hočevar A., Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L. (ur.). Ljubljana, Mednarodno biometeorološko društvo in Slovensko meteorološko društvo: 175-183.
- Gorski T., Jazurek M. 1996. Fifty-year records of flowering dates of *Prunus padus* L. and *Robinia pseudacacia* L. in Pulawy, Poland. V: *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Congress of Biometeorology*, September 1-8, Ljubljana, 1996. Hočevar A., Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L. (ur.). Ljubljana, Mednarodno biometeorološko društvo in Slovensko meteorološko društvo: 195-200.
- Kajfež-Bogataj, L. 1994. Ocena vrednosti nekaterih pomembnih meteoroloških parametrov v Sloveniji z vidika energetike. *Sonce*, 1994, 1, št. 1, str. 37-40,
- Kajfež-Bogataj L., Bergant K., Zupančič B., Črepinšek Z., Matajč I., Leskovšek M., Gomboc S., Robič D., Bizjak A., Rogelj D., Uhan J., Skoberne P., Cegnar T in Hočevar A. 1999. Ocena ranljivosti in strategija prilagoditve ekosistemov na spremembo podnebja v Sloveniji, Ljubljana Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za agrometeorologijo: 250 str.



- Kajfež-Bogataj, L. (2001a). Changes in the minimum and maximum temperatures in Slovenia over the last 50 years. *Zb. Bioteh. fak. Univ. Ljubl., Kmet.* 77(2001)2, s. 299-307.
- Kajfež-Bogataj, L. (2001b). Kakšna bo klima 21. stoletja? *Zb. Bioteh. Fak. Univ. Ljublj. Kmet.*, 77(2001)2, s. 308 – 318.
- Kajfež-Bogataj, L. 2001. Response of Tree Phenology to Warming in Early Spring across Slovenia. V: The times they are a-changing': climate change, phenological responses and their consequences for biodiversity, agriculture, forestry, and human health. International conference, Wageningen, the Netherlands, 5-7 dec. 2001. Vliet A., Den Dulk J.A., De Groot R. (ur.). Wageningen, Environmental System Group: str. 28
- Koch, E. 2000. Long term phenological trends in the Austrian Alps; The use of GIS in Phenology. V: New Contributions to phenology, Proceedings of the IV. Workshop on Phenology, Doksany, 12-13 Oct. 1999. Horakova P. (ur.). Praha, Czech Hydrometeorological Institute: 17-23.
- Maak, K., Storch H. 1997. Statistical downscaling of monthly mean air temperature to the beginning of flowering of *Galanthus nivalis* L. in Northern Germany. *International Journal of Biometeorology*, 41, 1: 5-12.
- Menzel, A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology*, 44, 2: 76-81.
- Rötzer, T. 2000. Net-management and research of the international phenological gardens. V: New Contributions to phenology, Proceedings of the IV. Workshop on Phenology, Doksany, 12-13 Oct. 1999. Horakova P. (ur.). Praha, Czech Hydrometeorological Institute: 31-42.
- Sachweh, M. 1996. Climatic change effects on phenological phases in southern Germany. V: Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Congress of Biometeorology, Ljubljana, 1-8 sep. 1996. Hočevar A., Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L. (ur.). Ljubljana, Mednarodno biometeorološko društvo in Slovensko meteorološko društvo: 226-233.
- Schonwiese, C.D. in Rapp, J., 1997. Climate trend atlas of Europe. Kluwer Academic Publishers, 228 s.
- Walkovszky, A. 1998. Changes in phenology of the locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary. *International Journal of Biometeorology*, 41, 4: 155-160.
- Wielgolaski, F.E., Klaveness D. 1996. Norwegian plant phenology - a brief review of historical data, and a comparison of some mean first flowering dates (mFFD) for this and last century. V: Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Congress of Biometeorology, Ljubljana, 1-8 sep. 1996. Hočevar A., Črepinšek Z., Kajfež-Bogataj L. (ur.). Ljubljana, Mednarodno biometeorološko društvo in Slovensko meteorološko društvo: 208-213.



# 6 DEFINICIJA IN IZDELAVA SCENARIJEV PODNEBNIH SPREMOMB ZA SLOVENIJO

## IZVLEČEK

Podnebje je eden glavnih dejavnikov kmetijstva. Poznavanje vpliva vremenskih in podnebnih razmer na kmetijsko pridelavo nam omogoča doseganje najboljše možne kakovosti in velikosti pridelka na izbranem območju. Podnebje se stalno spreminja, na kar v zadnjem času v veliki meri vpliva tudi človek. Da bi se na morebitne podnebne spremembe v prihodnosti lahko pripravili in prilagodili, moramo razpolagati vsaj z okvirnimi scenariji spremenljivosti podnebja za prihodnost. Osnovo proučevanja podnebnih sprememb v prihodnosti predstavljajo simulacije z modeli splošne cirkulacije (MSC). Neposredno nam takšne simulacije nudijo informacijo o predvidenem odzivu podnebja na spremenjene koncentracije toplogrednih plinov in aerosolov za obsežna območja na zemeljski obli. Zaradi slabe prostorske ločljivosti in grobega fizikalnega opisa procesov rezultati simulacij z MSC niso primerni za neposredno uporabo v regionalnih ali lokalnih študijah vpliva podnebnih sprememb. Razkorak med prostorsko ločljivostjo MSC in zahtevami pri proučevanju regionalnih podnebnih sprememb lahko premostimo z zmanjševanjem skale (angl. *downscaling*). Eden izmed načinov zmanjševanja skale, ki je bil uporabljen tudi v našem primeru, je empirično zmanjševanje skale. Pri tem s preprostimi matematičnimi modeli skušamo povezati vrednosti podnebnih spremenljivk v obsežni horizontalni skali s podnebnimi spremenljivkami na posamezni lokaciji. Z izdelanimi empiričnimi modeli nato rezultate simulacij z MSC priredimo za izbrano lokacijo. Tako pridobljeni rezultati predstavljajo osnovo za izdelavo regionalnih in lokalnih scenarijev podnebnih sprememb. Vendar se na poti do izdelave regionalnih scenarijev srečamo s številnimi negotovostmi, ki so povezane s predpostavkami razvoja družbe in gospodarstva, kar vpliva na predvidene emisije toplogrednih plinov in aerosolov. Na predvidene posledične spremembe sestave atmosfere se različni MSC odzivajo različno, kar dodatno vpliva na negotovost ocen predvidenih sprememb podnebja. K negotovosti še dodatno prispeva prirejanje rezultatov simulacij MSC na lokalni nivo, ter njihova interpretacija. Vseh navedenih negotovosti se moramo zavedati pri kakršnikoli razlagi scenarijev podnebnih sprememb. Na osnovi empiričnega zmanjševanja skale rezultatov simulacij s petimi MSC, pri čemer sta bila upoštevana dva različna scenarija emisij, se za prvo polovico 21. stoletja glede na obdobje 1961-1990 zdi najbolj verjeten razpon temperaturnih sprememb med +1 in +4°C ter sprememb količine padavin med +20 in -20%. Uporabe različnih kombinacij sprememb znotraj navedenih intervalov bi lahko bile osnova za ocenjevanje ranljivosti kmetijstva na morebitne podnebne spremembe. Ker bi bila uporaba številnih kombinacij v študijah vpliva podnebnih sprememb računsko in časovno zahtevna, za našo študijo predlagamo kombinacije sprememb temperature zraka +1°C in +3°C ter sprememb količine padavin 0% in -20%. S tem zajamemo dobršen del obsega predvidenih sprememb za prvo polovico 21. stoletja, ne upoštevamo pa morebitnega povečanja količine padavin, ki z vidika kmetijstva ne bi bilo problematično.

## 6.1 UVOD

Kmetijstvo, ki se z redkimi izjemami odvija na prostem, je močno odvisno od vremenskih oziroma podnebnih razmer (Kajfež-Bogataj in drugi, 1999). Kmetijska pridelava je odvisna od meteoroloških spremenljivk kot so temperatura zraka, sončno obsevanje, zračna vlaga in količina padavin ter pogostnost in intenzivnost mejnih dogodkov kot so suše, poplave in viharji. Proučevanje vpliva vremenskih razmer in drugih dejavnikov na kmetijsko pridelavo nam omogoča, da pri načrtovanju čimbolj izkoristimo podnebne razmere in tako dosežemo

najboljšo možno kakovost in velikost pridelka (Rijks in Baradas, 2000). Podnebje se zaradi različnih dejavnikov spreminja tako v času kot v prostoru. V zadnjih desetletjih pa smo pričali izraziti spremenljivosti podnebja, ki ji v veliki meri botruje človek. Različni družbeno-gospodarski kazalci tudi v prihodnje predvidevajo pomembno vlogo človeka pri spremenljivosti podnebja (Houghton in drugi, 2001), zato se zdijo dokaj izrazite spremembe podnebja skoraj neizbežne. Vpliv podnebnih sprememb na kmetijstvo bo v prihodnosti na različnih območjih Zemlje verjetno različen, saj je odvisen od sedanjih podnebnih razmer in tal, trenda sprememb ter razpoložljivosti sredstev in infrastrukture za obvladovanje njihovega vpliva. Žal je odvisnost različnih dejavnosti in procesov v kmetijstvu od vremena in podnebja običajno zelo kompleksna (Adams in drugi, 1998). Navkljub temu se na predvidene podnebne spremembe lahko pripravimo - se nanje prilagodimo ali vsaj ublažimo njihov morebitni negativni učinek. Da podnebnih sprememb ne bomo pričakali nepripravljeni, potrebujemo strategije prilagoditev predvidenim podnebnim spremembam oziroma strategije blažitve njihovega morebitnega negativnega vpliva. Osnova takšnim strategijam so scenariji<sup>1</sup> podnebnih sprememb. Namen naše študije je izdelati okvirne scenarije podnebnih sprememb za območje podnebno raznolike Slovenije, ki bi predstavljali osnovo študij predvidenega vpliva podnebnih sprememb na kmetijstvo.

## 6.2 IZBRANA METODOLOGIJA

### 6.2.1 MODELI SPLOŠNE CIRKULACIJE

Navkljub nekaterim skeptičnim pogledom o njihovi zanesljivosti (Schackley in drugi, 1998) so modeli splošne cirkulacije (MSC) najpogosteje uporabljeno orodje za proučevanje odziva podnebnega sistema na spremembe sestave ozračja (Rummukainen, 1997; Zorita in Storch, 1999; Houghton in drugi, 2001). Njihovi rezultati so osnova za izdelavo scenarijev podnebnih sprememb. Gre za tridimenzionalne numerične modele, v katerih so z diferenčnimi enačbami zajeti glavni fizikalni, kemijski in biološki procesi v ozračju, oceanih, ledu in na zemeljskem površju ter njihova medsebojna odvisnost (McGuffie in Handerson-Sellers, 1997). Primerjave rezultatov simulacij z MSC ter izmerjenih vrednosti kažejo, da MSC dobro opišejo procese v globalni oziroma obsežni prostorski skali (Houghton in drugi, 2001). Zanesljivost njihovih rezultatov je manjša v regionalni skali. Na prvi pogled gre za kontradiktorno trditev. Vendar je globalno podnebje predvsem posledica porazdelitve sončnega obsevanja na Zemlji, vrtenja Zemlje ter vpliva velikih struktur zemeljskega površja (npr. porazdelitve kopnega in morja, topografije), katerih fizikalni opisi so zajeti v MSC. Regionalno podnebje je odziv globalnega podnebja na lastnosti površja (npr. razgibanost, vegetacija) na regionalnem nivoju (Zorita in Storch, 1999). Z vidika proučevanja regionalnih podnebnih sprememb je ena od glavnih pomanjkljivosti MSC slaba horizontalna ločljivost. Trenutno razpoložljivi MSC v svojih izračunih upoštevajo horizontalno ločljivost  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$  ali več (Crane in drugi, 2002). Tako MSC ne vključujejo regionalnih površinskih podrobnosti, temveč le povprečno topografijo in vegetacijo za posamezno mrežno celico. Lokalne podnebne razmere so v veliki meri odvisne od procesov, ki potekajo v manjši skali, kot je prostorska ločljivost MSC, in so v MSC zajeti z različnimi parametrizacijami. Še posebno to velja za opis vpliva vegetacije. Opis podmrežnih procesov s parametrizacijo nam da zadovoljive rezultate v skali večji od računske ločljivosti MSC, za interpretacijo v natančnejši prostorski skali pa so ti rezultati običajno neuporabni (Storch in drugi, 1993; Schubert, 1998).

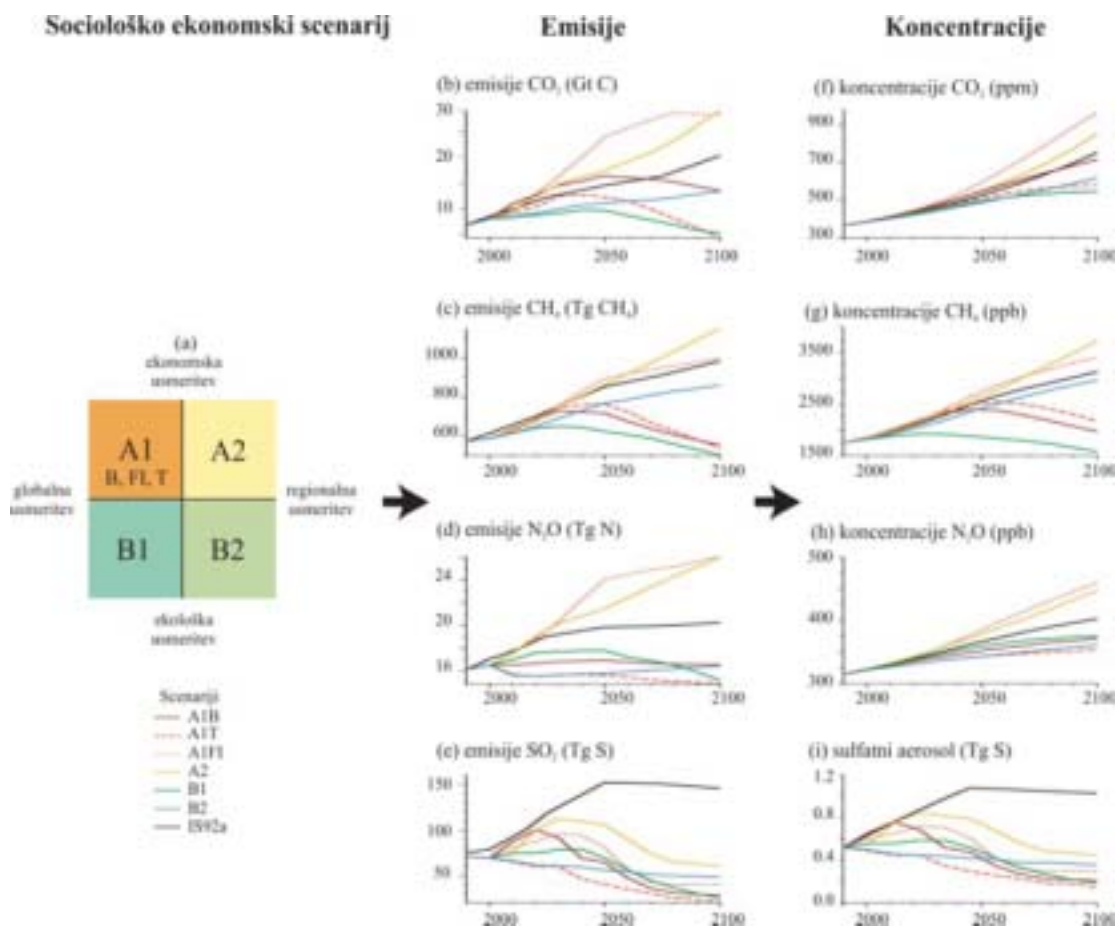
Ključni vhodni podatek za MSC pri proučevanju odziva podnebnega sistema na spremenjeno sestavo ozračja so scenariji emisij za prihodnost in posledična vsebnost toplogrednih plinov

---

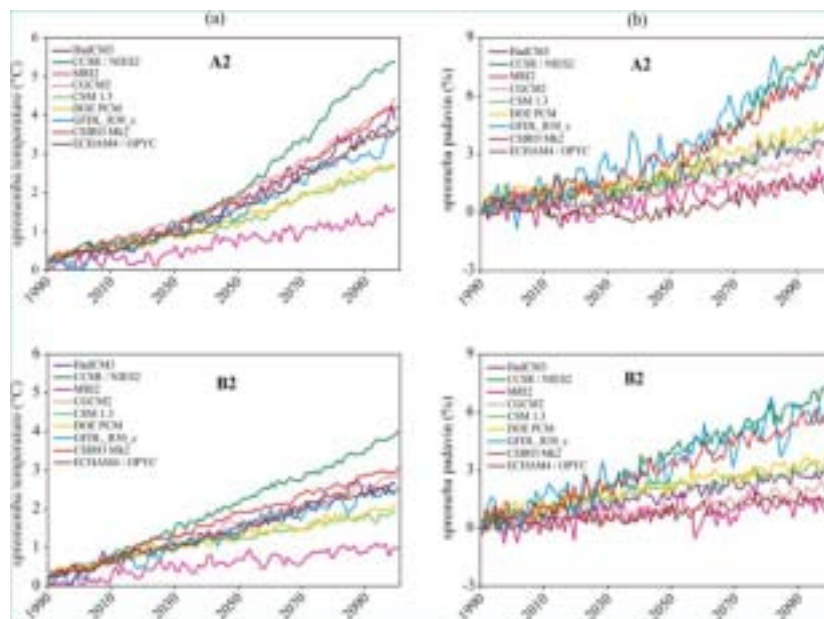
<sup>1</sup> SCENARIJ: Verjeten in pogosto poenostavljen opis morebitnega poteka prihodnosti, ki temelji na razumljivih in smiselnih predpostavkah o ključnih povezavah in dejavnikih. Zavedati se moramo, da ne gre za napoved prihodnosti (Houghton in drugi, 2001).

in aerosolov v ozračju. Medvladni forum o spremembi podnebja (angl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) predlaga uporabo različnih scenarijev emisij združenih pod kratico SRES (Nakićenović in drugi, 2000), katerih uresničitvev v prihodnosti je enako verjetna. Scenariji emisij, ki jih v grobem lahko razdelimo v štiri skupine (A1, A2, B1 in B2) temeljijo na različnih predpostavkah o družbeno-gospodarskem razvoju v prihodnosti (za natančnejši opis glej Nakićenović in drugi, 2000 ter Houghton in drugi, 2001). Emisije, ki jih ti scenariji predvidevajo, so skupaj s posledičnimi vsebnostmi toplogrednih plinov in aerosolov v ozračju prikazane na grafih 6.2.1.1. Zaradi računske zahtevnosti simulacij z MSC se običajno upošteva le nekaj predstavnikov iz množice možnih scenarijev ter ustrezno uteži njihove rezultate glede na ostale scenarije. IPCC je v svojih študijah (Houghton in drugi, 2001), upoštevajoč SRES scenarije emisij, uporabil devet različnih MSC ter predstavnika dveh skupin SRES scenarijev - A2 in B2. Časovni poteki spremembe globalnega povprečja temperature površja ter količine padavin, ki temeljijo na uporabljenih MSC ter scenarijih emisij SRES A2 in B2, so prikazani na grafih 6.2.1.2. Iz njih je razvidno, da se različni MSC na spremembe sestave atmosfere odzovejo različno, kar je eden izmed glavnih pokazateljev negotovosti projekcij podnebnih sprememb za prihodnost na osnovi rezultatov simulacij z MSC (Giorgi in Francisco, 2000). Celoten razpon predvidenih sprememb temperature površja v 21. stoletju, ki temelji na rezultatih prikazanih na grafih 6.2.1.2.a prirejenih tudi za ostale SRES scenarije emisij, je prikazan na grafu 6.2.1.3.

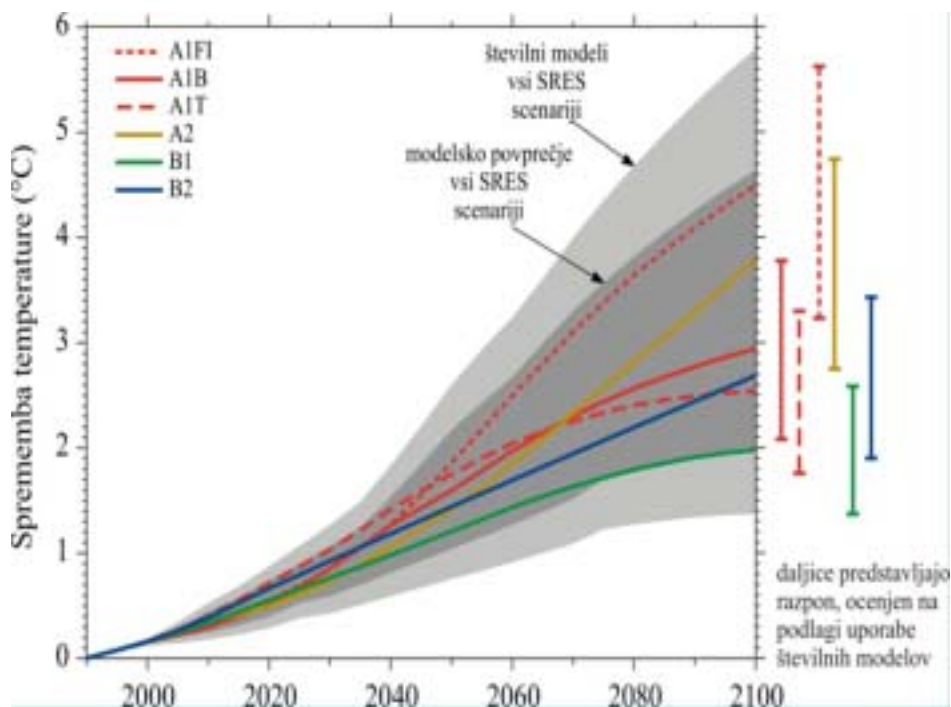
Grafi 6.2.1.1: **Scenariji emisij nekaterih toplogrednih plinov CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ter sulfatnih aerosolov v 21. stoletju (Houghton in drugi, 2001).**



Grafi 6.2.1.2: Časovni poteki spremembe globalnega povprečja temperature površja (a) in količine padavin (b) v primerjavi z obdobjem 1961-1990 na osnovi simulacij z različnimi modeli splošne cirkulacije, upoštevajoč SRES A2 (zgoraj) in SRES B2 (spodaj) scenarija emisij (Houghton in drugi, 2001)



Graf 6.2.1.3: Predviden dvig temperature površja Zemlje v 21. stoletju v skladu s SRES scenariji emisij. Temno sivo območje predstavlja razpon vrednosti ob upoštevanju povprečnih vrednosti rezultatov simulacij s številnimi modeli splošne cirkulacije, pri čemer povprečje simulacij s preprostimi modeli podnebja priredimo vsakemu izmed 35 različnih SRES IPCC scenarijev emisij. Svetlo sivo območje za razliko od temnega ne upošteva le povprečja rezultatov simulacij, temveč tudi njihov razpon (Houghton in drugi., 2001)



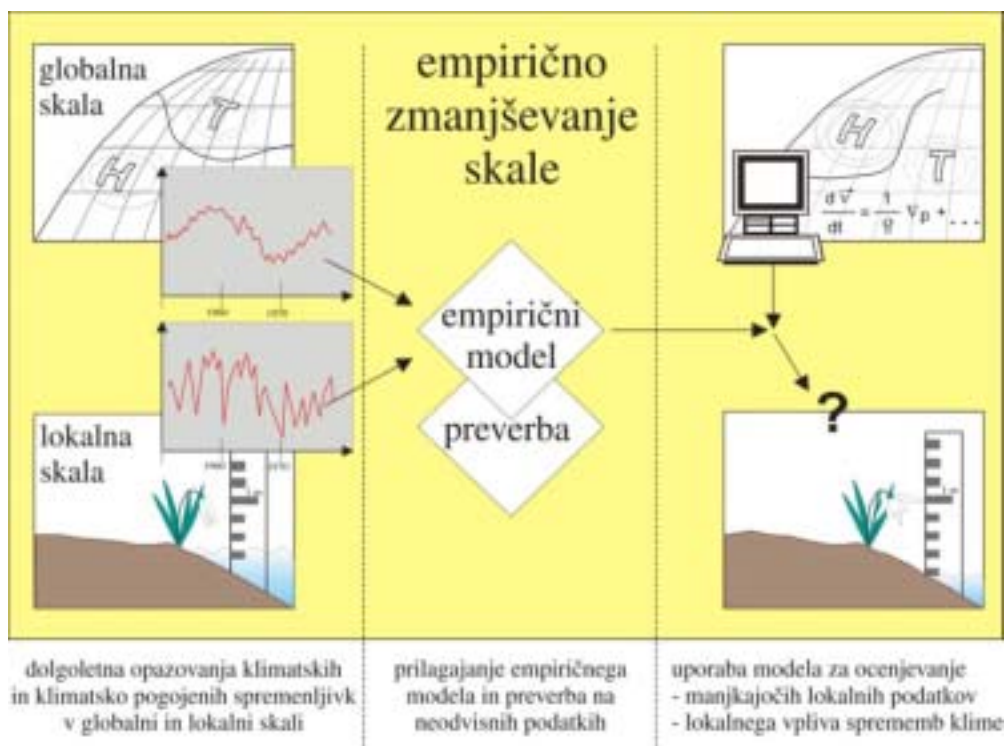
## 6.2.2 EMPIRIČNO ZMANJŠEVANJE SKALE

Neposredno nam simulacije z MSC nudijo dober vir informacije o predvideni spremenljivosti podnebnih razmer v prihodnosti v globalni skali. Zaradi slabe prostorske ločljivosti pa neposredna uporaba rezultatov simulacij z MSC v lokalnih in regionalnih študijah vpliva podnebnih sprememb na podnebno pogojene dejavnosti (npr. kmetijstvo, gozdarstvo, energetika, vodno gospodarstvo, turizem, zdravstvo) običajno ni primerna (Dubrovsky, 1997). Interpretacija rezultatov simulacij z MSC v regionalni oziroma lokalni skali predstavlja tako eno največjih težav, s katerimi se srečujemo pri študijah vpliva podnebnih sprememb (Crane in drugi, 2002).

Eden izmed načinov premostitve razkoraka med obsežno in regionalno skalo je empirično zmanjševanje skale (Rummukainen, 1997; Wilby in Wigley, 1997; Zorita in Storch, 1999), ki smo ga uporabili v naši študiji. Pri tem se za povezavo podnebnih spremenljivk v lokalni skali s podnebnimi spremenljivkami v obsežni skali uporabljajo različni matematični modeli. Empirične modele, ki temeljijo na izmerjenih vrednostih v preteklosti, nato uporabimo za projiciranje rezultatov simulacij z MSC. Predpostavimo, da bo v spremenjenih podnebnih razmerah matematični opis odvisnosti med lokalno podnebno spremenljivko in podnebno spremenljivko v globalni skali še vedno veljaven. Na tej predpostavki temelji celotna metoda empiričnega zmanjševanja skale (Schubert, 1998), čeprav za njeno veljavnost nimamo zagotovila (Zorita in Storch, 1999). Predpostavka velja le, kadar so predvidene spremembe povprečnih podnebnih razmer v okviru variabilnosti podnebnih razmer, na katerih temelji izdelan model. V nasprotnem primeru moramo biti pri razlagi rezultatov previdnejši, saj gre za ekstrapolacijo, ki s statističnega vidika ni upravičena. Shematski prikaz empiričnega zmanjševanja skale je prikazan na sliki 6.2.2.1.

Na razpolago je številna literatura o pregledu in primerjavi različnih pristopov k empiričnemu zmanjševanju skale (glej pregled v Bergant, 2003). V našem primeru smo za izdelavo empiričnih modelov uporabili regresijo na glavnih oseh (angl. Principal Component Regression - PCR) (Schubert, 1998; Benestad in drugi, 2002; Bergant in drugi, 2002) ter regresijo delnih najmanjših kvadratov (angl. Partial Least Square Regression - PLS) (de Jong 1993; Bro, 1998; Helland 2001). Modeli so bili izdelani za vsak mesec posebej, s čimer upoštevamo dejstvo, da v različnih obdobjih leta na podnebne razmere v Sloveniji vplivajo različni temperaturni in cirkulacijski vzorci. Prav tako s tem zajamemo letni hod spremenljivk, ki jih ocenjujemo. Podroben opis metod PCR in PLS presega obseg poročila in je podan v delu Bergant (2003). V omenjenem delu je podrobno podan opis celotnega uporabljenega postopka empiričnega zmanjševanja skale.

Slika 6.2.2.1: Shematski prikaz empiričnega zmanjševanja skale (Heyen, 2002)



## 6.3 UPORABLJENI PODATKI

Empirični modeli temeljijo na izmerjenih oziroma rekonstruiranih vrednostih podnebnih spremenljivk v obsežni skali (prediktorjih) in podnebnih spremenljivk v lokalni skali (predikandih). V vlogi prediktorjev smo uporabili temperaturo zraka ob površju (TMP) ter zračni tlak na nivoju morja (SLP). Pri tem smo podatke za preteklo obdobje 1951–2002 v mesečni časovni skali zajemali iz baze podatkov ponovne analize NCEP/NCAR (Kalnay in drugi, 1996; Kistler in drugi, 2001). Ob uporabi različnih prediktorskih območij se je kot najprimernejše izkazalo območje, ki se razteza med 10° zahodne in 30° vzhodne geografske dolžine ter 35° in 65° severne geografske širine. Polja prediktorjev na tem območju smo z empiričnimi modeli povezali z vrednostmi temperature zraka in količine padavin, ki temeljijo na meritvah z meteoroloških postaj Ljubljana--Bežigrad, Novo mesto, Maribor, Murska Sobota, Rateče, Bilje, Slap pri Vipavi, Portorož in Ilirska Bistrica. Postaje so bile izbrane kot predstavnice različnih podnebnih pasov (Ogrin, 1998), ki se prepletajo na območju Slovenije (tabela 6.3.1). Vir podatkov o meritvah na izbranih lokacijah je bil arhiv Agencije RS za okolje ARSO. Za postaje Ljubljana-Bežigrad, Novo mesto, Maribor, Murska Sobota, in Rateče smo razpolagali s srednjimi mesečnimi vrednostmi temperature zraka in količine padavin za obdobje 1951-2002, za postajo Slap pri Vipavi in Ilirska Bistrica z vrednostmi za obdobje 1961-2002, za postajo Bilje z vrednostmi za obdobje 1962-2002, in za postajo Portorož za obdobje 1974-2002. Navkljub kratkemu časovnemu nizu ter nehomogenosti podatkov zaradi selitve smo postajo Portorož vključili v naše izračune, saj je edini predstavnik obalnega submediteranskega podnebja. Pred uporabo v izračunih smo podatke za to postajo homogenizirali (Bergant, 2003).



Tabela 6.3.1: Izbrane meteorološke postaje skupaj z njihovimi geografskimi podatki ( $\lambda$  – geografska dolžina,  $\phi$  – geografska širina,  $z$  – nadmorska višina) ter tipom podnebja in območjem Slovenije, ki ga predstavljajo

Meteorološke postaje	Geografski podatki			Tip Podnebja	Območje Slovenije
	$\lambda$ [°V]	$\phi$ [°S]	Z [m]		
Ljubljana - Bežigrad	14,52	46,07	299	zmerno celinsko	O in JV SLO
Novo mesto	15,18	45,80	220	zmerno celinsko	O in JV SLO
Maribor	16,65	46,53	275	zmerno celinsko	SV SLO
Murska Sobota	16,18	46,65	188	zmerno celinsko	SV SLO
Rateče	13,72	46,50	864	nižinsko gorsko	S in SZ SLO
Bilje	13,63	45,90	55	zaledno submediteransko	JZ SLO
Slap pri Vipavi	13,93	45,83	130	zaledno submediteransko	JZ SLO
Portorož	13,62	45,48	2	obalno submediteransko	JZ SLO
Ilirska Bistrica	14,25	45,57	424	zaledno submediteransko	JZ SLO

Za ocenjevanje podnebnih sprememb v prihodnosti smo uporabili rezultate simulacij s petimi različnimi MSC (tabela 6.3.2), v katerih sta bila upoštevana SRES A2 in B2 scenarija emisij. Po zgledu Benestada (2002a,2002b) smo obravnavali rezultate posameznih MSC kot del ansambla različnih možnih odzivov podnebnega sistema na spremenjeno sestavo ozračja. Ker se horizontalna ločljivost upoštevanih MSC razlikuje, smo podatke o prediktorjih pred izdelavo empiričnih modelov in pred projiciranjem na lokalni nivo interpolirali v enotno horizontalno mrežo  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  z bilinearno metodo (Press in drugi, 2001).

Tabela 6.3.2: Povzetek lastnosti izbranih podatkovnih nizov prediktorjev: izbran model, država razvoja modela, obdobje za katerega smo uporabili razpoložljive podatke, horizontalna ločljivost podatkov ter število modelskih točk v horizontalni podatkovni mreži

Model	Država razvoja	Obdobje	Hor. loč.	Mreža
NCEP/NCAR	ZDA	1951-2002	$1,9 \times 1,9^{\circ 2}$	$192 \times 96$
CSIRO/Mk2	Avstralija	1961-2100	$5,6 \times 3,2^{\circ}$	$64 \times 56$
CCC/CGM2	Kanada	1951-2100	$3,8 \times 3,8^{\circ}$	$96 \times 48$
UKMO/HadCM3	Velika Britanija	1951-2099	$3,8 \times 2,5^{\circ}$	$96 \times 73$
DOE-NCAR/PCM	ZDA	1961-2099	$2,8 \times 2,8^{\circ}$	$128 \times 84$
ECHAM4-OPYC3 <sup>3</sup>	Nemčija	1951-2100	$2,8 \times 2,8^{\circ}$	$128 \times 84$

### 6.3.1 PRIMERJALNO OBDOBJE

Kadar ocenjujemo velikost sprememb podnebja, je potrebno navesti glede na katero primerjalno obdobje se navedene ocene sprememb nanašajo. V splošnem Svetovna meteorološka organizacija (angl. *World Meteorological Organization* - WMO) za opis podnebnih razmer predlaga tridesetletna obdobja. Za primerjalno obdobje smo v naši študiji upoštevali tridesetletje 1961-1990. Glavni razlog za to je, da večina študij modeliranja odziva globalnega podnebja na spremenjene koncentracije toplogrednih plinov in aerosolov v ozračju temelji na meritvah koncentracij do leta 1990, ter na scenarijih emisij po letu 1990.

<sup>2</sup> V primeru podatkov za SLP je horizontalna ločljivost  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  ter mreža točk  $144 \times 72$ .

<sup>3</sup> Polno ime modela skupaj z oznakami razvojnih centrov je MPI-DMI/ECHAM4-OPYC3.

## 6.4 REZULTATI

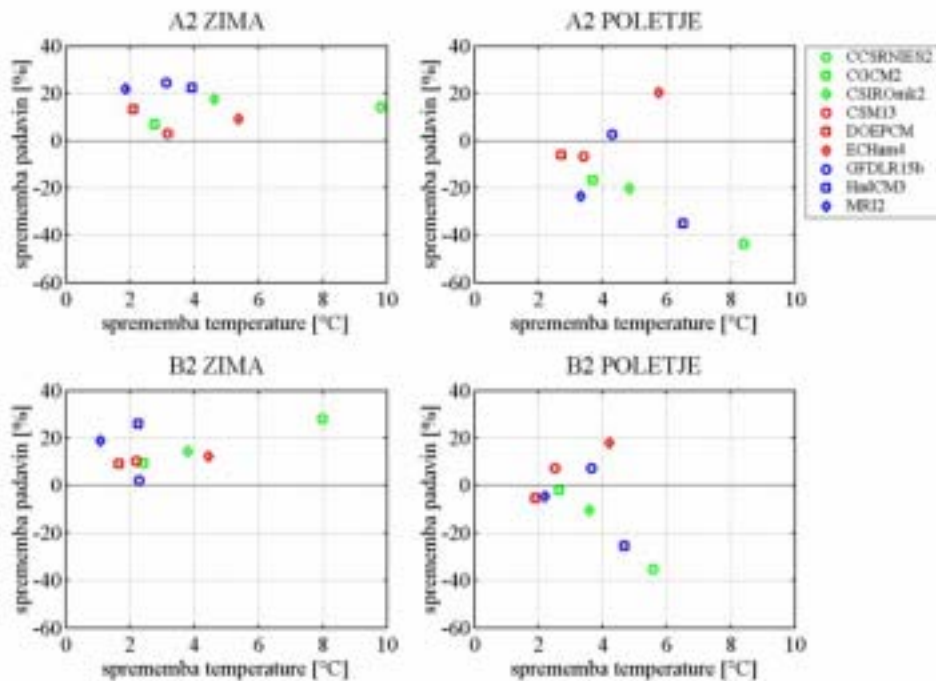
### 6.4.1 REZULTATI V GLOBALNI SKALI ZA SLOVENIJO KOT CELOTO

V literaturi najdemo nekaj poskusov (Mitchell in drugi, 2002) oblikovanja scenarijev za Slovenijo kot celoto, ki temeljijo na rezultatih MSC. S podobnimi raziskavami se v Evropi ukvarja Tydall center za podnebne spremembe. Grafi 6.4.1.1 podajajo predvidene spremembe temperature zraka in količine padavin v Sloveniji v obdobju 2070 do 2099 v primerjavi z obdobjem 1961 do 1990 za zimo (mesece december do februar) in poletje (mesece junij do avgust) za 2 scenarija razvoja družbe in emisij (A2 in B2 IPCC SRES). Obravnavani so bili rezultati 9 MSC (3 iz ZDA, 2 Japonska, in po en MSC iz Kanade, Velike Britanije, Nemčije in Avstralije).

Razpon vrednosti za spremembo temperature je izdaten, še posebej pri poletnih mesecih, saj znaša od 2 do 8°C, pozimi pa pri večini modelov med 2 in 6°C. Sprememba padavin v zimskem času kaže na povečanje količine padavin do 20%, medtem ko se poleti ocene modelov nagibajo k zmanjševanju količine padavin, celo do 40%.

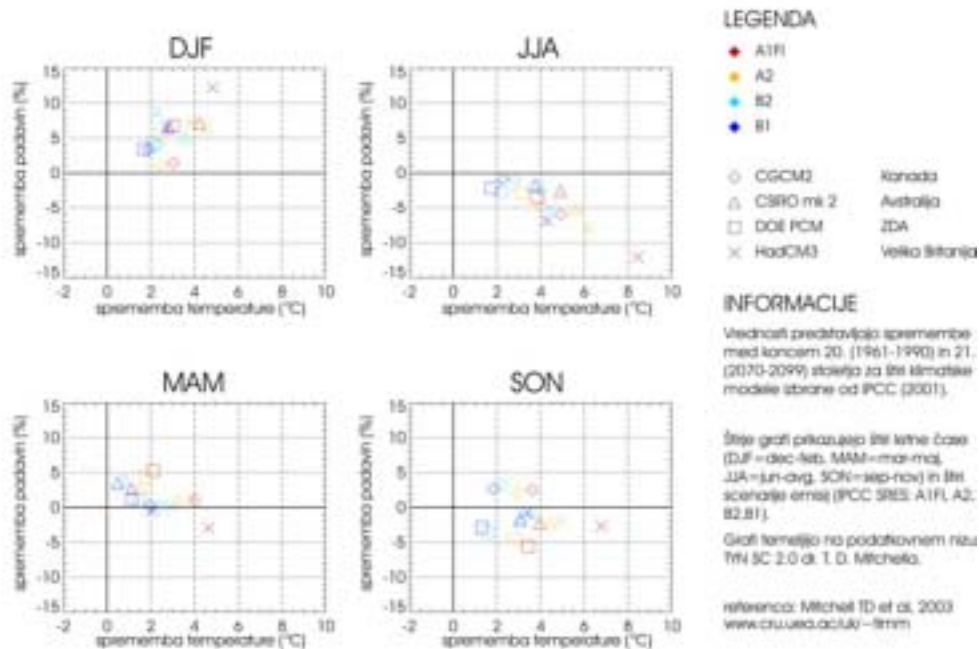
Podobne rezultate daje tudi študija Mitchella in drugih (2003), ki obravnava vse štiri letne čase (grafi 6.4.1.2). V tem delu so podane predvidene spremembe temperature zraka in količine padavin v Sloveniji v obdobju 2070 do 2099 v primerjavi z obdobjem 1961 do 1990 še za pomlad (MAM) in jesen (SON) za 4 scenarije razvoja družbe in emisij (A1f1, A2, B1 in B2 IPCC SRES). Obravnavani so rezultati le 4 MSC (po en model iz ZDA, Kanade, Velike Britanije in Avstralije).

Grafi 6.4.1.1: **Spremembe temperature zraka in količine padavin (v %) v Sloveniji v obdobju 2070 do 2099 v primerjavi z obdobjem 1961 do 1990 za zimo (mesece december do februar) in poletje (mesece junij do avgust) za 2 scenarija razvoja družbe in emisij (A2 in B2 IPCC SRES). Obravnavani so rezultati 9 MSC**





Grafi 6.4.1.2: Predvidene spremembe temperature zraka in količine padavin v Sloveniji v obdobju 2070 do 2099 v primerjavi z obdobjem 1961 do 1990 za poletje (JJA), zimo (DJF), pomlad (MAM) in jesen (SON) za 4 scenarije razvoja družbe in emisij (A1f1, A2, B1 in B2 IPCC SRES). Obravnavani so rezultati 4 MSC



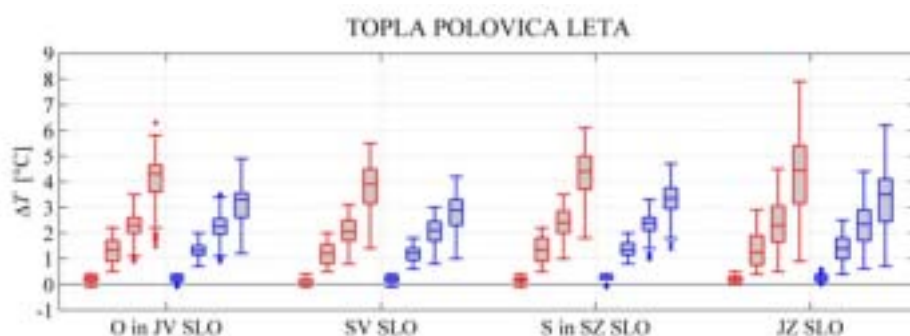
## 6.4.2 REGIONALNA VARIABILNOST SCENARIJEV

Na osnovi izbrane metodologije ter podatkov o variabilnosti podnebja v preteklosti smo izdelali empirične modele, ki povezujejo srednjo mesečno temperaturo zraka ( $T$ ) in količino padavin ( $P$ ) na izbranih lokacijah v Sloveniji s polji  $TMP$  in  $SLP$  nad osrednjo Evropo. V primeru empiričnih modelov za  $T$  je z vidika pojasnjene variabilnosti  $T$  kakovost modelov visoka, saj delež pojasnjene variance ( $R^2$ ) večinoma presegajo 80%. Več težav je z empiričnimi modeli za ocenjevanje  $P$ , saj je kakovost modelov vsaj deloma zadovoljiva pri večini meteoroloških postaj le za mesece hladne polovice leta. Za predstavnice osrednje in jugo-vzhodne Slovenije (O in JV SLO) – Ljubljana in Novo mesto ter predstavnico severne in severo-zahodne Slovenije (S in SZ SLO) - Rateče vrednosti  $R^2$  večinoma presegajo 50%. Učinek Dinarsko-Alpske gorske pregrade je opazen na slabši kakovosti modelov za predstavnici severovzhodne Slovenije (SV SLO) – Maribor in Murska Sobota v primerjavi s postajama Ljubljana in Novo mesto. V njunem primeru so vrednosti  $R^2$  manjše za približno 10%. Kakovost modelov za predstavnice jugozahodne Slovenije (JZ SLO) – Ilirska Bistrica, Bilje, Slap pri Vipavi in Portorož je večino nekoliko manjša od kakovosti za predstavnice O in JV Slovenije in večja od kakovosti za predstavnice SV Slovenije. V vseh primerih je delež pojasnjene variabilnosti izrazito majhen v topli polovici leta, še posebej v poletnih mesecih, ki so z vidika kmetijstva najpomembnejši. Vrednosti  $R^2$  za poletne mesece le z redkimi izjemami presežejo 40%. Slovenija leži na razgibanem prepletu alpskega, sredozemskega in panonskega vpliva, kjer je raznolikost podnebnih razmer na majhnem območju izredna. Lokalni vplivi, še posebej na padavinske spremenljivke, pogosto prevladajo nad situacijo v obsežni skali, kar onemogoča izdelavo kakovostnih empiričnih modelov za ocenjevanje padavinskih spremenljivk še posebej v topli polovici leta. Ob tako majhnem deležu pojasnjene variabilnosti  $P$  tvegamo, da z modelom nismo zajeli pomembnega dela dinamike spremenljivke, ki bi lahko spremenil tako predznak kot velikost predvidenih sprememb. **Zato je potrebna velika previdnost pri interpretaciji projekcij z izdelanimi empiričnimi modeli za količino padavin.**

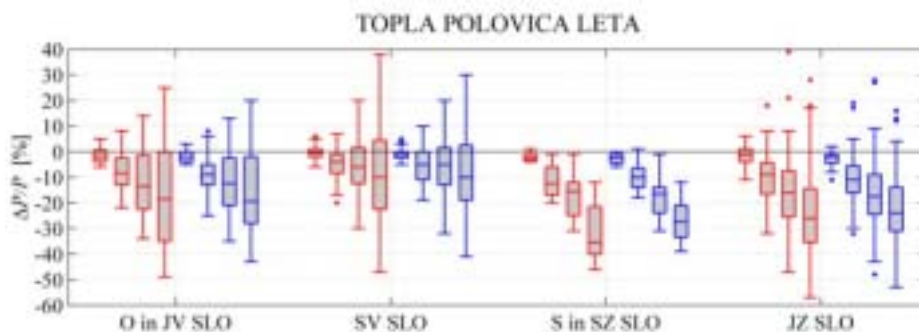
Izdelane empirične modele, ki povezujejo temperaturo zraka ( $T$ ) in količino padavin ( $P$ ) z zračnim tlakom na nivoju morja ( $SLP$ ) in temperaturo zraka ob površju ( $TMP$ ) na izbranem prediktorskem območju, smo uporabili pri empiričnem zmanjševanju skale rezultatov simulacij s petimi MSC za izbranih devet lokacij. Projekcije rezultatov MSC so nam služile za ocenjevanje predvidenih sprememb  $T$  in  $P$  v 21. stoletju, ki smo jih podajali kot odstopanja od vrednosti projekcij za obdobje 1961-1990. Ocene sprememb na osnovi petih različnih MSC ter različnih regresijskih pristopov smo združili za postaje, ki pripadajo isti skupini oziroma območju Slovenije glede na razvrstitev v tabeli 6.3.1. Porazdelitve projekcij sprememb smo za tridesetletja 1971-2000, 2001-2030, 2031-2060 ter 2061-2090 prikazali z okvirji z ročaji<sup>4</sup>.

Grafa 6.4.2.1: Okvirji z ročaji za projekcije spremembe a) temperature zraka ( $\Delta T$ ) in b) količine padavin ( $\Delta P/P$ ) v topli polovici leta na izbranih območjih Slovenije upoštevajoč projekcije rezultatov petih različnih MSC in štirih različnih regresijskih pristopov (za podrobnejši opis glej opombo 4)

a)



b)



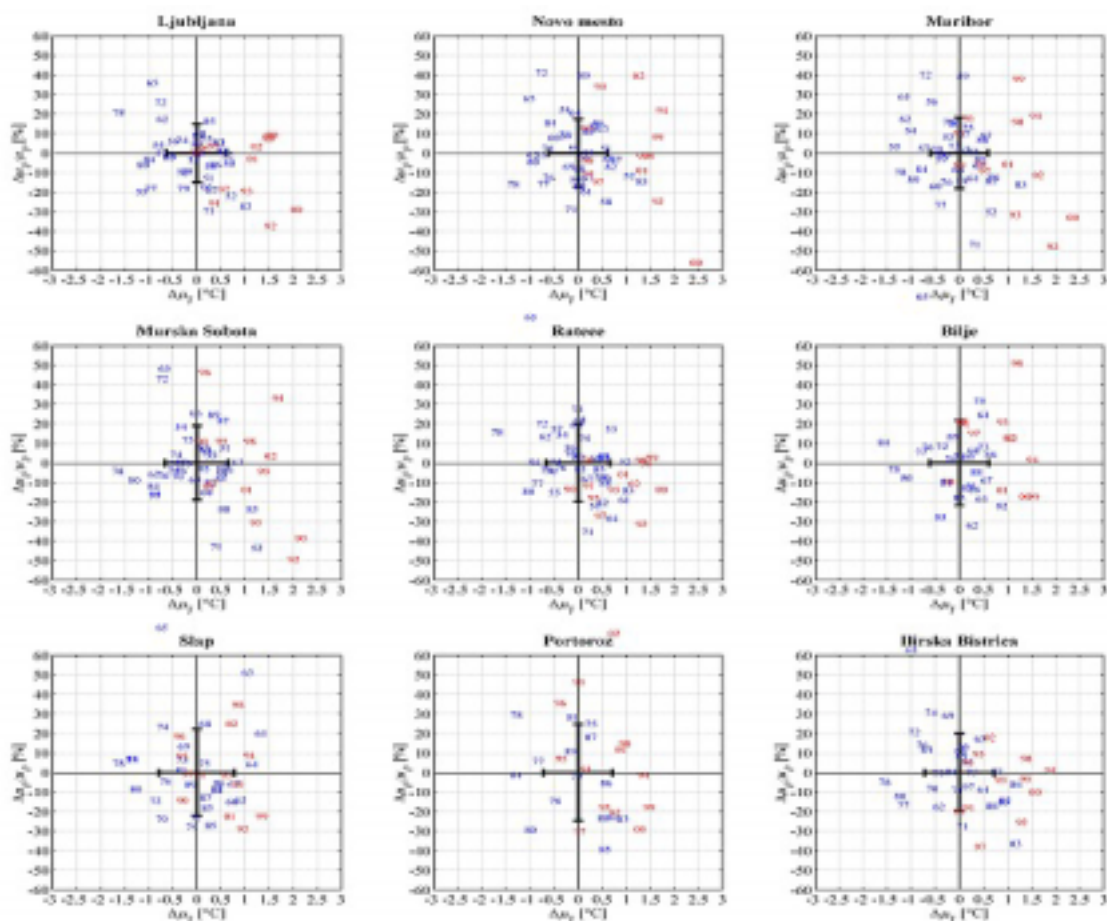
#### <sup>4</sup> KOMENTAR K OKVIRJEM Z ROČAJI

- Okvir obsega vrednosti med prvim in tretjim kvartilom, kar pomeni, da vključuje srednjih 50% vrednosti.
- Ročaja se raztezata od najmanjše vrednosti do prvega kvartila ter od tretjega kvartila do največje vrednosti, kar pomeni, da zajameta vsak na svoji strani zunanjih 25% vrednosti.
- Če je ročaj daljši od 1,5-kratne dolžine okvirja, se razteza le do največje vrednosti znotraj te meje, preostale vrednosti pa so predstavljene s piko kot izstopajoče vrednosti.
- Rdeči okvirji predstavljajo projekcije sprememb, ki temeljijo na SRES A2 scenariju emisij, modri pa tiste, ki temeljijo na SRES B2 scenariju emisij.
- Okvirji, ki si za izbran scenarij emisij pri posameznem območju Slovenije sledijo od leve proti desni, predstavljajo projekcije sprememb za obdobja 1971-2000, 2001-2030, 2031-2060 in 2061-2090 glede na obdobje 1961-1990.

O predznaku sprememb temperature zraka v 21. stoletju glede na rezultate projekcij rezultatov MSC ni dvoma. Ob predvidenem povečanju vsebnosti toplogrednih plinov in sulfatnih aerosolov se bo dvignila temperatura zraka na celotnem območju Slovenije. Pri tem ni opaziti izrazitih razlik med posameznimi območji Slovenije (graf 6.4.2.1 a). Da bo zanesljivost projekcij bolj vprašljiva in enotnost manjša v primeru količine padavin, so nakazali že rezultati kakovosti empiričnih modelov. V projekcijah sprememb prevladuje negativen trend v spremembah (graf 6.4.2.1 b). To še posebej velja za območji S in SZ Slovenije ter JZ Slovenije. Vendar pa projekcije ob drugačnem naboru prediktorjev in podobnem deležu pojasnjene variabilnosti  $P$  vodijo do precej različnih rezultatov (Bergant, 2003). Zato jih zaradi majhne zanesljivosti ne moremo povzeti v utemeljene scenarije podnebnih sprememb.

Kaj pomeni premik k višjim temperaturam zraka ter morebitnim manjšim količinam padavin, nam lahko do neke mere pojasnijo podatki iz preteklosti. Zato smo leta v obdobju 1951-2002 za izbrane postaje razvrstili glede na njihova odstopanja temperature zraka in količine padavin v topli polovici leta od povprečja v obdobju 1961-1990 (grafi 6.4.2.2). Z vidika kmetijstva so posebej pomembni grafi, ki predstavljajo razporeditev let za toplo polovico leta, za meteorološke postaje na kmetijsko pomembnih območjih JZ ter SV Slovenije. Pri tem je najbolj problematičen desni spodnji kvadrant grafov, ki predstavlja primere let, ko so bile temperature višje od dolgoletnega povprečja, količina padavin pa manjša.

Grafi 6.4.2.2: **Razporeditev let v obdobju 1951-2002 glede odstopanj povprečne temperature zraka in količine padavin v topli polovici leta od povprečja v obdobju 1961-1990. Modre oznake prikazujejo leta za obdobje 1951-1989, rdeče oznake leta od 1990-2002, črne, poudarjene daljice pa območje  $\pm$  standardnega odklona za obdobje 1961-1990**



Za večino postaj O in SV Slovenije v omenjenem kvadrantu proč od presečišča osi zasledimo leta 1952, 1971, 1983, 1992, 1993, 2000 in 2001. Prav tako za večino postaj JZ Slovenije na podobnih mestih zasledimo skoraj ista leta 1971, 1983, 1985, 1992, 1999, 2000 in 2001, pri čemer smo razpolagali z meritvami po letu 1962. Vsa navedena leta dejansko predstavljajo leta z izrazito kmetijsko sušo v obdobju junij-avgust, ki je zajela pretežni del Slovenije (Sušnik, 2003). Predviden premik k višjim temperaturam in manjšim količinam padavin bi torej pomenil pogostejše sušne razmere, ki smo jih izkusili v navedenih letih ob občasni še bolj mejnih situacijah. Ker pa predviden dvig temperature do konca 21. stoletja presega variabilnost temperature v obdobju 1951-2002, oziroma nasploh v obdobju odkar imamo meritve meteoroloških spremenljivk v Sloveniji, bodo podnebne razmere verjetno dosegle tudi stanja, ki si jih na osnovi poznavanja preteklosti ne moremo predstavljati. Zaradi tega so smiselne študije vpliva podnebnih sprememb in ranljivosti nanje ob upoštevanju različnih kombinacij dviga temperature zraka in spremembe količine padavin, ki zajamejo širok spekter možnih podnebnih sprememb. Če pri tem upoštevamo le najbolj verjetne spremembe za prvi dve tridesetletji 2001-2030 in 2031-2060, je smiselno upoštevati spremembe temperature zraka od +1°C do +4°C glede na povprečni vrednosti v obdobju 1961-1990 ter spremembe količine padavin od +20% do -20%. Takšen razpon bi zajel verjetne spremembe podnebja v Sloveniji v prvi polovici 21. stoletja, ki jih nakazujejo projekcije rezultatov MSC. Uporabe različnih kombinacij bi vodile do ocene ranljivosti kmetijskih ekosistemov in kmetijskih dejavnosti na morebitne podnebne spremembe. Ker bi bila uporaba vseh kombinacij v študijah vpliva podnebnih sprememb računsko in časovno zahtevna, za našo študijo predlagamo obravnavo kombinacije sprememb temperature zraka +1°C in +3°C ter sprememb količine padavin 0% in -20%. S tem še vedno zajamemo dobršen del obsega predvidenih sprememb za prvo polovico 21. stoletja, ne upoštevamo pa morebitnega povečanja količine padavin, ki z vidika kmetijstva ne bi bilo problematično.

### **6.4.3 NEGOTOVOSTI PRI IZDELAVI SCENARIJEV PODNEBNIH SPREMOMB**

Pri izdelavi scenarijev podnebnih sprememb se moramo zavedati številnih negotovosti. Regionalni scenariji podnebnih sprememb so v osnovi odvisni od scenarijev emisij toplogrednih plinov in aerosolov, ki temeljijo na predpostavkah o družbenem in gospodarskem razvoju človeštva v prihodnosti. Če so predvidevanja strokovnjakov o razvoju človeštva ustrezna, je težko soditi. Vsekakor takšna predvidevanja vključujejo številne negotovosti, ki jih vnesemo na samem začetku v izdelavo scenarijev podnebnih sprememb. Za ocenjevanje podnebnih sprememb v prihodnosti se najpogosteje uporabljajo simulacije z različnimi MSC, v katerih upoštevamo predvidene koncentracije toplogrednih plinov in aerosolov ter njihov vpliv na podnebje. Poleg negotovosti v povezavi s scenariji emisij se nam na tem mestu pridruži še negotovost v povezavi s kakovostjo izbranega MSC. Kakovost modela in izbran scenarij emisij lahko občutno vplivata na končne rezultate simulacije z MSC, kot tudi na nadaljnje izračune, ki temeljijo na njihovih vrednostih. Takšne rezultate in izračune nato uporabimo pri izdelavi scenarijev regionalnih podnebnih sprememb in njihovega vpliva, kjer se še dodatno pojavi negotovost v povezavi s projekcijo rezultatov na regionalni nivo in njihovo interpretacijo. Zato moramo biti pri ocenjevanju sprememb podnebja in njihovega vpliva v prihodnosti previdni. Če je mogoče, moramo uporabiti rezultate simulacij z različnimi MSC upoštevajoč različne scenarije emisij toplogrednih plinov in aerosolov. S tem zajamemo širok spekter možnih razvojev podnebja v prihodnosti. Pridobljenih scenarijev spremembe podnebja ne smemo jemati strogo kot napovedi za prihodnost. Predstavljajo le smernice možnega odziva regionalnega podnebja v primeru uresničitve enega izmed uporabljenih scenarijev emisij v prihodnosti.

Z razvojem računalniške tehnologije lahko pričakujemo MSC z vedno večjo prostorsko ločljivostjo, kar bo sčasoma zmanjšalo vlogo zmanjševanja skale. Negotovosti v povezavi s scenariji emisij in kakovostjo modelov pa bodo še vedno prisotne. Tudi ob bolj verjetnih

scenarijih emisij in kakovostnejših MSC ter primernejših metodah empiričnega zmanjševanja skale so regionalni oziroma lokalni scenariji podnebnih sprememb še vedno pogojeni s kakovostjo meritev meteoroloških spremenljivk v preteklosti. Za slednjo bi poleg standardne kontrole, ki jo izvaja arhiv Agencije RS za okolje, marsikatera meteorološka postaja potrebovala podrobnejši pregled ter primerjavo z okoliškimi postajami, kot tudi pogostejšo kontrolo inštrumentov. Žal smo z vidika kakovosti podatkov oziroma meritev v začaranem krogu. Za proučevanje variabilnosti podnebja namreč potrebujemo dolgoletne nize podatkov. Zato bi se morebitne kakovostnejše meritve v prihodnje z vidika proučevanja podnebnih sprememb obrestovale šele čez vrsto let. Vsekakor pa za kakovostno delo nikoli ni prepozno.

## 6.5 DISKUSIJA IN SMERNICE ZA NADALJNJE DELO

Prikazane projekcije rezultatov izbranih MSC lahko predstavljajo osnovo za izdelavo okvirnih scenarijev podnebnih sprememb za različna podnebna območja slovenije. Pri tem so z vidika kakovosti empiričnih modelov ter enotnosti projekcij za bližnje kraje projekcije sprememb temperature zraka dokaj zanesljive. Žal tega ne moremo trditi za projekcije sprememb količine padavin.

Vrednosti prediktorjev, še posebej temperature zraka, bodo v spremenjenih podnebnih razmerah predvidoma presegle okvire vrednosti, ki so bile uporabljene pri izdelavi modelov. Zato je uporaba empiričnega zmanjševanja skale s statističnega vidika vprašljiva, saj predstavlja ekstrapolacijo. Pogosto se kot primernejši, a računsko zahtevnejši, pristop predlaga dinamično zmanjševanje skale z uporabo gnezdenih regionalnih modelov. Takšen pristop bi bilo za območje Slovenije in širše okolice vredno preizkusiti v sodelovanju s katerim izmed večjih evropskih centrov, ki pokrivajo to področje.

Zavedati se moramo, da prikazane ocene sprememb temperature zraka in količine padavin v osnovi temeljijo na SRES A2 in B2 scenarijih emisij. Njihova umestitev v časovno skalo je zato ustrezna le v primeru uresničitve enega izmed navedenih dveh scenarijev emisij. Če bodo dejanske emisije v prihodnosti odstopale od omenjenih scenarijev bo potrebno izračune temu primerno prirediti, kot je to storil IPCC pri obravnavanju različnih možnih scenarijev emisij (Houghton in drugi, 2001). Da o scenarijih podnebnih sprememb ne moremo govoriti kot o nečem dokončnem, priča dejstvo, da IPCC vsakih pet let dopolnjuje scenarije emisij, kar je razvidno iz njihovih poročil iz let 1991, 1996 in 2001. Zato bodo izdelani scenariji podnebnih sprememb zahtevali ponovno obravnavo s prenovljenimi scenariji emisij, ki pa bodo ob naslednjem IPCC poročilu predvidoma ostali nespremenjeni (Kajfež-Bogataj, 2003)

Če z modelom zajamemo le majhen del variabilnosti podatkov, ki jih ocenjujemo, lahko zanemarimo glavni del dinamike spremenljivke, ki bo verjetno igral pomembno vlogo tudi v spremenjenih podnebnih razmerah. Zato opozarjamo na veliko negotovost scenarijev sprememb količine padavin še posebej za toplo polovico leta. Mogoče bi bila za padavinske spremenljivke primernejša uporaba podatkov v dnevni časovni skali in ne v mesečni, kot je bilo to v našem primeru. Že tako šibka nelinearna povezava (Weichert in Bürger, 1998) se upoštevajoč mesečne vrednosti verjetno zabriše do tolikšne mere, da je ne moremo ločiti od šuma. Prav tako so se v IPCC-jevi študiji (Houghton in drugi, 2001) primernejše kot NCEP/NCAR-jeve pokazale ECMWF-jeve reanalize. Ker ima ARSO po novem dostop do njih, bi bila v prihodnje smiselna njihova uporaba. Metodološko bi lahko uporabili iste tehnike ali pa jim dodali kakšno novo. Vsekakor pa je slabša kakovost padavinskih modelov, še posebej v topli polovici leta, verjetno posledica prevladujočih lokalnih vzrokov proženja konvektivnih neviht ter vpliva topografije na lokalni odziv podnebne variabilnosti v obsežni skali. Zato z izbiro še tako sofisticiranih matematičnih pristopov k empiričnem zmanjševanju skale ne bomo mogli zajeti povezave med prediktorji in predikandi, če ta ne obstaja.



## 6.6 VIRI

- Adams R. M., Hurd B. M., Lenhart S. In Leary N. 1998. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research*, 11:19-30.
- Allen M. R., Stott M. A., Mitchell J. F. B., Schnur R., Delworth T. L. 2000. Quantifying the uncertainty in forecasts of anthropogenic climate change. *Nature*, **407**: 617-620.
- Benestad R. E. 2002a. Empirically downscaled multimodel ensemble temperature and precipitation scenarios for Norway. *Journal of Climate*, **15**:3008-3027.
- Benestad R. E. 2002b. Empirically downscaled temperature scenarios for northern Europe based on multi-model ensemble. *Climate Research*, **21**: 105-125.
- Benestad R. E., Førland E., Hanssen-Bauer I. 2002. Empirically downscaled temperature scenarios for Svalbard. *Atmospheric Science Letters*, **3**(2-4):71-93.
- Bergant K, Kajfež-Bogataj L., Črepinšek Z. 2002. Statistical downscaling of general-circulation-model-simulated average monthly air temperature to the beginning of flowering of dandelion (*Taraxacum officinale*) in Slovenia. *International Journal of Biometeorology*, **46**:22-32.
- Bergant K. 2003. *Projekcije simulacij globalne klime na lokalni nivo in njihova uporaba v agrometeorologiji*. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo (v pripravi).
- Bro R. 1998. *Multy-way analysis in the food industry*. Doktorska disertacija. Amsterdam, University of Amsterdam, The Netherlands (Cum Laude): 300 str. URL = <http://www.mli.kvl.dk/staff/foodtech/btrothesis.pdf>
- Crane R. G., Yarnal B., Barron E. J., Hewitson B. 2002. Scale interactions and regional climate: examples from Susquehanna river basin. *Human and Ecological Risk Assessment*, **8**(1):147-158.
- Dubrovsky M. 1997. Creating daily weather series with the use of weather generator. *Environmetrics*, **8**:409-424.
- Giorgi F., Francisco R. 2000. Evaluating uncertainties in the prediction of regional climate change. *Geophysical research Letters*, **27**:1295-1298.
- Helland I. S. 2001. Some theoretical aspects of partial least squares regression. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **58**:97-107.
- Heyen H. 2002. Statistical downscaling. Slika iz spletne strain (29. okt. 2002). URL = <http://w3g.gkss.de/G/mitarbeiter/heyen/NEXT/stdown.html>
- Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P. J., Dai X., Maskell K., Johnson C. A. 2001. *Climate change 2001: The scientific basis*. Cambridge, Cambridge University Press: 752 str. URL = [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg1/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm)
- Jong de S. 1993. PLS fits closer than PCR. *Journal of Chemometrics*, **12**:77-81.
- Kajfež-Bogataj L., Bergant K., Zupančič B., Črepinšek Z., Matajč I., Leskovšek M., Gomboc S., Robič D., Bizjak A., Rogelj D., Uhan J., Skoberne P., Cegnar T in Hočevar A. 1999. *Ocena ranljivosti in strategija prilagoditve ekosistemov na spremembo podnebja v Sloveniji*, Ljubljana Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za agrometeorologijo: 250 str.
- Kajfež-Bogataj. 2003. Novi IPCC scenariji emisij . Medvladni forum o spremembi podnebja, (osebni vir, september 2003)
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Wollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph DE. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of American Meteorological Society*, **77**(3):437-471.
- Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woolena J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V. Dool van den H., Jenne R., Fiorino M. 2001. The NCEP/NCAR 50-year reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bulletin of American Society*, **2**:247-267.
- Mitchell T.D, Hulme M., New M. 2002. Climate data for political areas. *Area* 34:109-112
- McGuffie K., Henderson—Sellers A. 1997. *A climate modeling primer*. Chichester, John Wiley and Sons: 253 str.
- Nakićenović N., Davidson O, Davis G., Grübler A., Kram T., Rovere E. L. L., Metz B., Morita T., Pepper W., Pitcher H., Sankovski A., Shukla P., Swart R., Watson R., Dadi Z. 2000. *Emissions scenarios – summary for policymakers*. A special report of working group III, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, Cambridge University Press: 21 str.
- Ogrin D. 1998. Podnebje. (ur.) Fridl J., Kladnik D., Adamič M. O., Perko D. V: *Geografski atlas*, Ljubljana, DZS: 110-111 str.
- Press W. H., Teukolosky A. A., Vetterling W. T., Flannery B. F. 2001. *Numerical recipes in Fortran 77: The art of scientific computing*. Cambridge, Cambridge University Press: 99-122 str. URL = <http://www.library.cornell.edu/nr/bookpdf.html>
- Rijks D., Baradas M. W. 2000. The clients for agrometeorological information. *Agricultural and Forest Meteorology*, **103**(1-2):27-42.
- Rummukainen M. 1997. *methods for statistical downscaling of GCM simulations*. Tehnično poročilo 80, Norrköping, Rosby Centrem SMHI: 33 str.
- Schubert S. 1998. Downscaling local extreme temperature changes in south-eastern Australia from CSIRO MARK2 GCM. *International Journal of Climatology*, **18**:1419-1438.
- Shackley S., Young P., Parkinson S., Wynne B. 1998. Uncertainty, complexity and concepts of good science in climate change modeling: are GCMs the best tools? *Climatic Change*, **38**: 159-205.

- Storch von H., Zorita E., Cubasch U. 1993. Downscaling of global climate change estimates to regional scales: an application to Iberian rainfall in wintertime. *Journal of Climate*, **6**: 1161-1171.
- Sušnik A. 2003. Suša v zadnjih petdesetih letih. Agencija RS za okolje (osebni vir, marec 2003).
- Weichert A, Bürger G. 1998. Linear versus nonlinear techniques in downscaling. *Climate Research*, **36**:83-93.
- Wilby R. L. 1997. Non-stationarity in daily precipitation series: implications for GCM downscaling using atmospheric circulation indices. *International Journal of Climatology*, **17**:439-454.
- Wilby R. L., Wigley T. M. L. 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography*, **21**(4):530-548.
- Zorita E., Storch von H. 1999 The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *Journal of Climate*, **12**:2474-2489.

# 7 MOŽNI VPLIVI SPREMENJENE KLIME NA KMETIJSTVO

## IZVLEČEK

Fizikalni vplivi podnebnih sprememb in povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju na rastline in živali bodo številni. Za rastlinsko pridelavo in prirast gozda bo pomembna povečana koncentracija CO<sub>2</sub> s svojimi fiziološkimi vplivi, najvažnejše pa bodo spremenjene vremenske razmere, predvsem neposreden in posreden vpliv povečane temperature zraka. Tudi ekonomski učinki klimatskih sprememb na slovensko kmetijstvo bodo veliki, a so še dokaj nepredvidljivi, saj so povezani s političnimi odločitvami - še zlasti, ko bo šlo za menjanje centrov in težišč kmetijske proizvodnje, večja tveganja pri kmetijski proizvodnji, različna subvencioniranja, uvoz in izvoz hrane ipd. Najverjetneje se bodo povečala razna tveganja, ki spremljajo kmetijstvo, predvsem bo večja verjetnost neposrednih vremenskih ujm kot so vročina, suša, neurja in poplave.

V raziskavi smo analizirali vpliv podnebnih sprememb na kmetijstvo v Sloveniji prek spremembe dolžine obdobja nad izbranimi temperaturnima pragoma 5°C in 10°C ter spremenjene velikosti temperaturnih vsot aktivnih in efektivnih temperatur zraka nad pragom 10°C. Od izdelanih okvirnih podnebnih scenarijev, ki so bili izdelani za Slovenijo, smo uporabili scenarija, ki predvidevata porast temperature zraka za 1°C oziroma 3°C in analizirali lokacije Črnomelj, Celje, Ilirska Bistrica, Kočevje, Ljubljana, Maribor, Murska Sobota, Novo mesto, Postojna, Rateče in Slovenj Gradec. Pri ogrevanju za 1°C bo nastopil začetek obdobja nad temperaturnim pragom 5°C oziroma 10°C spomladi v povprečju za en teden bolj zgodaj ter se jeseni končal 6 dni bolj pozno. Dolžina obdobja nad temperaturnim pragom 5°C se bo podaljšala za okrog 5%, nad temperaturnim pragom 10°C pa za 7%. Pri stopnji ogrevanja za 3°C bo začetek obdobja nad temperaturnim pragom 5°C oziroma 10°C v povprečju za 20 dni bolj zgoden, v jeseni pa se bo to obdobje končalo 18 dni bolj pozno. Za izbrane postaje se dolžina obdobja nad temperaturnim pragom 5°C pri ogrevanju za 3°C podaljša za 16%, nad temperaturnim pragom 10°C pa za 22%.

Ocenili smo tudi vpliv podnebnih sprememb na spremenjene velikosti temperaturnih vsot aktivnih in efektivnih temperatur zraka nad pragom 10°C v Sloveniji. V primeru ogrevanja za 1°C se vsote aktivnih temperatur povečajo povprečno za 14%, pri ogrevanju za 3°C pa za 38%. Relativno povečanje narašča, absolutno povečanje pa pada z naraščajočo nadmorsko višino. Učinek povprečnega ogrevanja za 1°C je, da se vsote efektivnih temperatur nad pragom 10°C povečajo za povprečno 26%, pri ogrevanju za 3°C pa za okrog 77%.

Skrajševanje rastne dobe kot posledico naraščanja temperature zraka smo proučevali na primeru jarih in ozimnih žit, hibridov koruze, hmelja in vinske trte. Skrajševanje rastne dobe za hibride, ki potrebujejo za svoj razvoj 1600°C-1700°C znaša pri ogrevanju za 1°C približno 2 tedna, pri 3°C pa 4-5 tednov. Ob ogrevanju za 1°C bo skrajšanje rastne dobe pri jarih žitih najmanjše (2-3 dni) pri tistih sortah, ki imajo že sedaj najkrajšo rastno dobo (70 dni), skrajšanje pa je odvisno od potrebne količine akumulirane toplote, ki jo posamezna sorta potrebuje za svoj razvoj od vznika do zrelosti. Pri jarinah z najdaljšo rastno dobo (150 dni) je skrajšanje rastne dobe ob segrevanju za 1°C ocenjeno na 10-13 dni, pri dvigu temperature za 3°C pa izračuni kažejo na skrajšanje rastne dobe do 4 tedne pri sortah, ki imajo največje toplotne zahteve. Sprememba dolžine rastne dobe pri hmelju pri stopnji ogrevanja za 1°C za kultivarje, katerih rastna doba se giblje med 150 in 160 dni, in ki potrebujejo vsoto aktivnih temperatur zraka med 2400°C in 2500°C (npr. kultivar 'Savinjski golding'), znaša 9-10 dni, pri stopnji ogrevanja 3°C pa 23-27 dni. Vinska trta ima za svoj razvoj večje toplotne zahteve kot večina ostalih kmetijskih rastlin pri nas, pri ogrevanju za 1°C pa izračuni kažejo na skrajšanje



obdobja od začetka rasti do zrelosti 1-2 tedna pri sortah z rastno dobo med 150 in 200 dnevi ter vsoto potrebnih aktivnih temperatur 2300°C-3000°C.

Gozdovi in ostali naravni ekosistemi prenesajo določena podnebna nihanja, vendar bodo podnebne spremembe pomembno vplivale tako na produkcijo kot na sestavo in lokacijo gozdov. To se nanaša še posebej na vse iglaste sestoje na področjih z visokim tveganjem, kot so npr. Suha področja; tveganje je večje za gozdove, ki so bili poškodovani zaradi onesnaženih tal ali zraka. Ekstremni dogodki, ki bi lahko bili pogostejši kot rezultat podnebnih sprememb, kot npr. Nevihte, suše, gozdni požari, viharji, epidemije škodljivcev lahko še poslabšajo stanje v takih gozdovih.

Za Slovenijo, ki je izjemno gozdnata dežela, je izjemno pomembno kako se bodo gozdni ekosistemi odzvali na spremembe podnebja. Slovenija ima različne gozdno-ekološke strukture, zato bodo prostorske posledice sprememb podnebja različne. V pasu listopadnega in mešanega višinskega gozda je verjetno, da bodo podnebne spremembe znotraj meje tolerance obstoječega gozda. Slabše možnosti za prilagoditev bodo v čistih gozdnih sestojih (npr. smrekov gozd) in v izoliranih gozdovih z revnejšimi pogoji okolja (sušni predeli, slaba tla, nagnjenost terena). Domnevamo, da bodo najprej in najbolj prizadeti iglavci, predvsem jelka in smreka. Prizadeta bodo tudi jelovja in jelova bukovja iz kolinskega in submontanskega pasu ( $\approx 10\%$  površine naših gozdov). Z manjšo intenzivnostjo in s časovnim zamikom, bi se poškodbe širile tudi v montanski, altimontanski in subalpinski pas. Povečana bo tudi požarna ogroženost gozdov. Kvantitativna ocena ekonomskih posledic zaradi številnih negotovosti zaenkrat še ni možna, najverjetneje pa se bo obseg stroškov pri gospodarjenju z gozdovi povečal.

Vplive podnebnih sprememb lahko omilimo, če bomo ohranjali gozdno vegetacijo in preusmerjali umetne obnove gozdov od iglavcev k listavcem. Zaradi povečane požarne ogroženosti gozdov je treba vpostaviti protipožarne pasove. Nujno bi bilo tudi povečevanje lesnih zalog in pa tudi vsi ukrepi za povečevanje dinamike gozda.

## 7.1 OZADJE PROBLEMATIKE IN OSNOVNA STALIŠČA

Fizikalni vplivi podnebnih sprememb in povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju na rastline in živali bodo številni. Za rastlinsko pridelavo in prirast gozda bo pomembna povečana koncentracija CO<sub>2</sub> s svojimi fiziološkimi vplivi, najvažnejše pa bodo spremenjene vremenske razmere, predvsem neposreden in posreden vpliv povečane temperature zraka. Odločilno bo na kmetijsko pridelavo vplivala tudi spremenjena vodna bilanca, ki jo bomo posebej obravnavali v poglavju 8.

Ekonomski učinki klimatskih sprememb na slovensko kmetijstvo so težje predvidljivi, saj so povezani s političnimi odločitvami - še zlasti, ko bo šlo za menjanje centrov in težišč kmetijske proizvodnje, večja tveganja pri kmetijski proizvodnji, različna subvencioniranja, uvoz in izvoz hrane ipd. Globalno ocene predvidevajo, da bo zaradi klimatskih sprememb cena kmetijske proizvodnje povišala vsaj za 10-20%. Študije kažejo, da se bodo močno povečala razna tveganja, ki spremljajo kmetijstvo, predvsem bo večja verjetnost neposrednih vremenskih ujm kot so vročina, suša, neurja in poplave.

Vplive klimatskih sprememb na kmetijstvo pri nas lahko delimo na tri kategorije (Tabela 7.1.1): pozitivni vplivi, pogojno pozitivni vplivi in negativni vplivi. Pogojno pozitivni vplivi so tisti, kjer so posledice lahko nejasne in odvisne od specifičnih dodatnih dejavnikov. Na primer spremenjena sestava grozdja, ki bo vsebovalo več sladkorja, je lahko za vinogradnika pri kaki sorti dobrodošla in torej pozitivna sprememba, pri drugi vrsti trte pa nezaželjena posledica klimatskih sprememb.

Tabela 7.1 Nekateri učinki spremenjenega podnebja na kmetijstvo

<i>Pozitivni vplivi</i>	<i>Negativni vplivi</i>
<p><b>GNOJILNI UČINEK POVEČANE KONCENTRACIJE CO<sub>2</sub></b>  <b>DALJŠA VEGETACIJSKA DOBA</b>  <b>PRIMERNEJŠE TEMPERATURNE RAZMERE ZA GOJENJE</b>  <b>TOPLOTNO ZAHTEVNIH RASTLIN</b></p>	<p><b>SKRAJŠEVANJE RASTNE DOBE</b>            (POSPEŠEN RAZVOJ RASTLIN)</p>
<p><i>Pogojno pozitivni vplivi</i></p> <p><b>PROSTORSKI PREMIKI KMETIJSKE PROIZVODNJE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ POMIK VEGETACIJSKIH PASOV, SPREMEMBA OBSEGA PRIDELOVALNIH POVRŠIN, PREMIK V VIŠJE LEŽE</li> <li>◦ IZBOLJŠANJE/POSLABŠANJE TOPLOTNIH KARAKTERISTIK ZDAJ PREHLADNIH/ŽE ZDAJ PRETOPLIH OBMOČIJ</li> </ul> <p><b>SPREMEMBA KVALITETE PRIDELKOV</b></p> <p><b>SPREMENJEN IZBOR SORT</b></p> <p><b>SPREMINJANJE USTALJENE AGROTEHNIŠKE PRAKSE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ SPREMEMBA DATUMOV SETVE, SADITVE, ŽETVE...</li> <li>◦ DRUGI NAČINI OBDELAVE TAL, SPREMEMBE GNOJENJA</li> </ul>	<p><b>INTENZIVNEJŠA EVAPOTRANSPIRACIJA</b></p> <p><b>POVEČANA POGOSTNOST EKSTREMNIH VREMENSKIH DOGODKOV</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ NEURJA Z VETROM, TOČO, MOČNIMI NALIVI,</li> <li>◦ VEČJE ŠKODE ZARADI POMLADANSKIH POZEB</li> <li>◦ SUŠE, POŽARI,</li> <li>◦ POPLAVE, ZEMELJSKI PLAZOVI</li> </ul> <p><b>SPREMEMBA POGOSTNOSTI IN INTENZITETE NAPADOV ŠKODLJIVCEV IN BOLEZNI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ POSPEŠEN RAZVOJ INSEKTOV IN GLJIV,</li> <li>◦ NOVI ŠKODLJIVCI IN BOLEZNI</li> </ul>

## 7.2 VIDIKI VPLIVA PODNEBNIH SPREMEMB NA ŽIVALI IN RASTLINE

V splošnem lahko vpliv podnebnih sprememb in povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju na rastline in živali razdelimo na (Hughes, 2000):

- **Vpliv na fiziologijo:** Spremembe vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju ter spremembe temperature zraka in količine padavin bodo neposredno vplivale na stopnjo metabolizma in razvoja pri številnih živalih ter na fotosintezo, dihanje, transpiracijo, rast in sestavo tkiv pri rastlinah.
- **Vpliv na prostorsko razširjenost:** Podnebne spremembe bodo preko dviga temperature in spremenjenih prostorskih vzorcev padavin vplivale na prostorsko razširjenost različnih rastlinskih in živalskih vrst. V zmernih geografskih širinah namreč sprememba temperature zraka za 3°C v povprečni letni temperaturi zraka pomeni premik izoterm za približno 300-400 km v geografski širini, oziroma premik za 500 m v nadmorski širini. Zaradi tega se bodo rastlinske in živalske vrste premaknile k višjim nadmorskim višinam in proti polom, v skladu s premiki klimatskih območij. Ustrezno se bodo tako premaknila tudi območja, kjer bo mogoče gojiti določene kmetijske rastline oziroma pasti živino.
- **Vpliv na fenologijo:** Časovni potek faz razvoja organizmov, ki je pogojen s podnebnimi razmerami, se bo spremenil. Višje temperature vodijo v skrajšanje obdobja med posameznimi fenofazami, ter k zgodnejšemu nastopu prvih fenofaz pri kmetijskih rastlinah. Tudi razvojni krog škodljivcev bo krajši, razmere pa ugodne za razvoj večjega števila generacij v istem letu. Zaradi časovnih premikov fenofaz, lahko

pride do razklopa fenološke odvisnosti med različnimi živalskimi in rastlinskimi vrstami - npr. škodljivci in gostiteljskimi rastlinami.

- **Vpliv na prilagoditveno sposobnost:** Vrste s kratko življenjsko dobo in hitro rastjo populacije, kamor sodi tudi večina rastlinskih škodljivcev, se bodo na podnebne spremembe lahko prilagodile evolucijsko, brez selitve na območja ugodnejših razmer. Seveda pa bodo lahko naselila tudi ta območja.

Povečana vsebnost CO<sub>2</sub> ter ostalih plinov tople grede v ozračju bo tako učinkovala na rastlinske in živalske vrste neposredno z vplivom na fiziološke procese in posredno preko podnebnih sprememb. Posamezne vrste se bodo na to predvidoma odzvale preko sprememb v fiziologiji, v fenologiji, v prostorski razporeditvi in preko mikroevolucijskih prilagoditev. Posledično bodo spremenjeni odnosi med različnimi vrstami, kar bo dodatno vplivalo na prostorsko razporeditev vrst. Nekatere vrste bodo verjetno izumrle zaradi fiziološkega stresa ali zaradi neugodnih sprememb v odnosih z ostalimi vrstami. Vse to pa se bo odražalo v spremenjeni strukturi in sestavi združb tudi na kmetijskih območjih (slika 7.2.1).

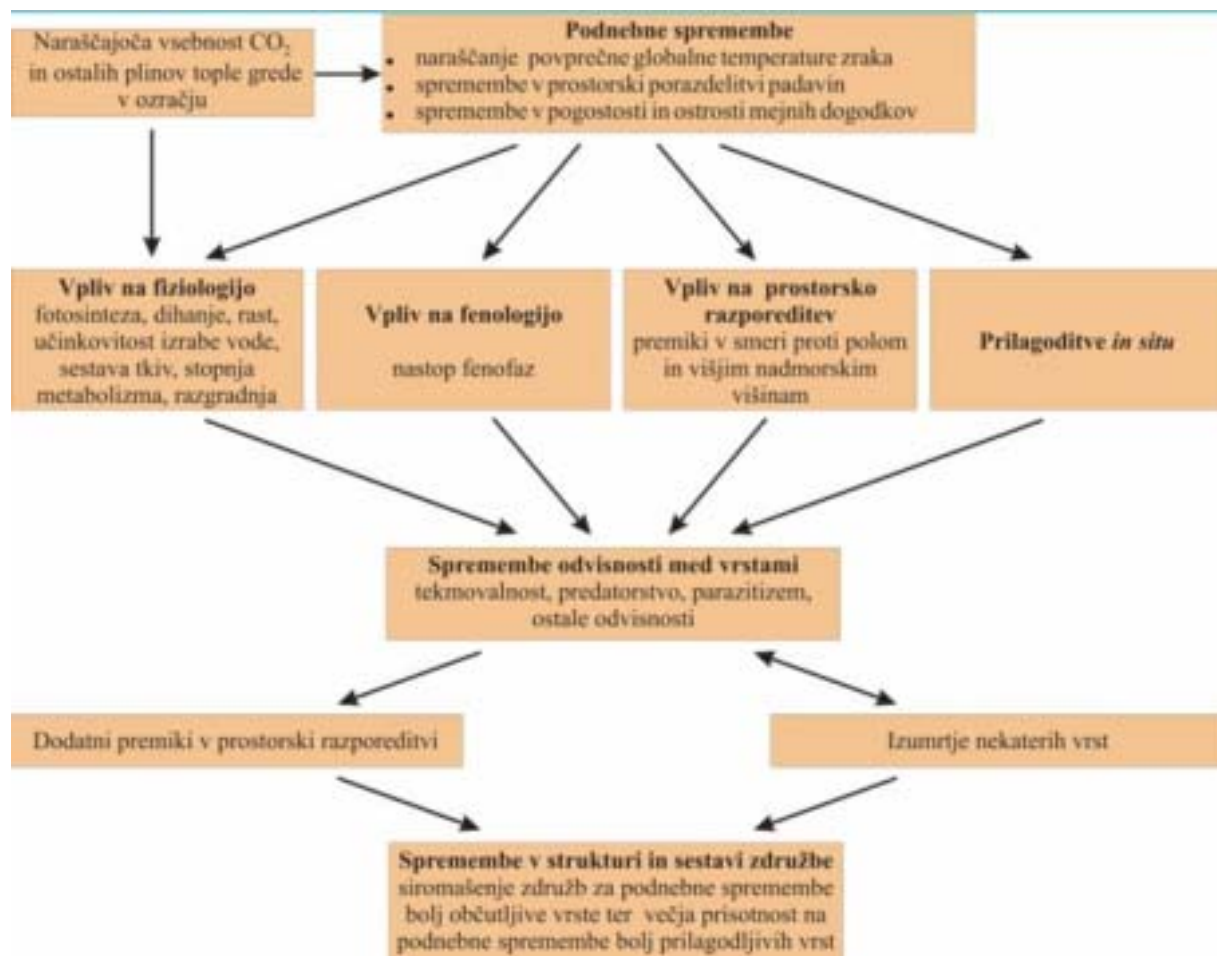
Povečana vsebnost plinov tople grede bo v povezavi s kmetijstvom igrala dvojno vlogo - neposredno preko spremenjene vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju, ki vpliva na fotosintezo, dihanje in transpiracijo rastlin, ter posredno preko izrazitejšega učinka tople grede, ki vpliva na podnebne razmere. Ker med vsebnostjo CO<sub>2</sub> in spremenjenimi podnebnimi dejavniki prihaja do vzajemnega delovanja, jih ne moremo obravnavati ločeno (McCarthy in sod., 2001).

## 7.2.1 VPLIVI VEČJE VSEBNOSTI CO<sub>2</sub> V OZRAČJU

### Fotosinteza in dihanje

Fotosinteza je proces, pri katerem se CO<sub>2</sub>, ki vstopa v zelene rastline skozi listne reže, skupaj z vodo, ob pomoči svetlobe, pretvarja v ogljikove hidrate. Ob povečani vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju, se poveča gradient CO<sub>2</sub> med rastlino in okolico, kar ima za posledico vstop večje količine CO<sub>2</sub> v rastlino. Še bolj pomembno je, da povečanje koncentracije CO<sub>2</sub> zavira fotorespiracijo, proces pri katerem rastlina iz ozračja črpa O<sub>2</sub> in oddaja CO<sub>2</sub> (Kaiser in Drennen, 1993). Povečanje fotosinteze in zmanjšanje fotorespiracije običajno privede do večjih in močnejših rastlin ter večjega pridelka suhe snovi (Parry, 2000).

Slika 7.2.1: Vplivi podnebnih sprememb in povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju na rastline in živali



Odziv na spremenjeno vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju, je med različnimi rastlinskimi vrstami različen. Pomembna je razlika v fotosintetski učinkovitosti izrabe CO<sub>2</sub> med C3 ali C4 rastlinami. Rastline tipa C4 (koruza, sladkorni trs, sirek, proso) slabše izkoristijo večjo vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju, kot rastline tipa C3 (večina žit - pšenica, ječmen, riž ter stročnice, korenaste rastline, drevje, saj že v sedanjih razmerah uspešnejše izrabljajo vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju. Ob dvakrat večji vsebnosti CO<sub>2</sub> v zraku od današnje, bi C3 rastline imele približno 25 % in C4 5 % večje pridelke.

### Poraba vode

Drug pomemben neposreden vpliv povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju na rastline je delno zaprtje listnih rež, kar zmanjša transpiracijo, ne zmanjšuje pa fotosintetske učinkovitosti. Ob dvakrat večji vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju naj bi se transpiracija zmanjšala za 25 do 50% (Kaiser in Drennen, 1993). Tudi v primeru transpiracije je učinek večji pri C3 rastlinah, saj imajo C4 rastline razvito učinkovitejšo izrabo vode že pri sedanjih vsebnostih CO<sub>2</sub> v ozračju. Zmanjšana transpiracija zaradi višje vsebnosti CO<sub>2</sub> bi lahko ublažila vpliv višjih temperatur, zaradi katerih naj bi se transpiracija povečala. Skupaj s povečano fotosintetsko učinkovitost bi imele predvsem C3 rastline boljše izrabo vode, ki je merilo za količino asimiliranega CO<sub>2</sub> glede na količino porabljene vode. Omogočena bi jim bila rast v toplejših in sušnejših razmerah, kjer sedaj prevladujejo C4 rastline. Vendar se večja učinkovitost izrabe vode na enoto listne površine žal ne izrazi vedno v manjši zahtevi po vodi. Povzroči lahko rast večjih rastlin z večjo skupno listno površino. Poleg tega je posredni učinek bolj zaprtih rež višja temperatura lista, saj izhlapi manj vode na površino lista. Zaradi tega se poveča delni tlak

vodne pare znotraj lista, kar poveča transpiracijo. Manjše izhlapevanje vode na površini lista tudi poveča gradient vodne pare med listom in zrakom okoli njega, ki je tako bolj suh. Navkljub delnemu zaprtju listnih rež se zaradi večjega gradienta vodne pare lahko poveča transpiracija.

Večina študij je bila narejenih na vpliv povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> na rast rastlin in količino pridelka, ki praviloma potrjujejo pozitiven vpliv. Prav tako študije potrjujejo pozitiven vpliv povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju na učinkovitost izrabe vode. Več negotovosti pa je v primeru ocenjevanja vpliva na kvaliteto pridelka.

### **Povratni učinki in prilagoditve**

Ob ocenjevanju, kako bo povečana vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju vplivala na rastline, je precej negotovosti. Stopnja učinkovitosti fotosinteze se namreč le redko obdrži na višji ravni, če so rastline izpostavljene večji vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju dalj časa. Verjetno bo zmožnost učinkovitosti fotosinteze v povezavi z večjo vsebnostjo CO<sub>2</sub> v ozračju pri posameznih vrstah rastlin odvisna od razmerja med oskrbo in zahtevo po ogljikovih hidratih. Rastline, ki stalno tvorijo nove plodove in liste, se bodo bolje odzvale na povečano vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju (Kaiser in Drennen, 1993).

Način, kako rastlina razporeja biomaso med liste, korenine, stebela, semena in plodove, ima velik vpliv na rast in pridelek, kar lahko v veliki meri zasenči vpliv fotosintetske učinkovitosti. Povečanje listne površine zaradi večje vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju bi lahko pozitivno vplivalo na pridobivanje ogljikovih hidratov in energije ter izničilo prej omenjene možnosti zmanjševanja stopnje učinkovitosti fotosinteze. Vendar so velike rastline z večjo listno površino bolj občutljive na pomanjkanje vode in hranil, kar bi bila pomanjkljivost na območjih z omejenimi zalogami vode. Ob večji vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju lahko pride do povečanja razmerja med koreninami in nadzemnim delom, kar izboljša zmožnost črpanja vode in hranil iz tal. Če bo takšno povečanje razmerja v škodo zmanjšanja mase dela rastline, ki ga smatramo za pridelek, bo ekonomski učinek manjši.

V splošnem lahko pričakujemo pozitiven vpliv povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju na kmetijstvo predvsem preko povečane fotosintetske učinkovitosti ter preko povečanja učinkovitosti porabe vode pri večini ekonomsko pomembnih rastlin (Parry, 2000). Neposredne vplive vsebnosti CO<sub>2</sub> lahko še dodatno povečajo ali zmanjšajo spremembe podnebnih razmer in ostalih okoljskih dejavnikov zaradi njihovega vzajemnega delovanja na fiziološke procese rastlin in živali. Zato vpliva sprememb podnebnih razmer na kmetijstvo ne smemo obravnavati ločeno od vpliva povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju.

## **7.2.2 VEČJA VSEBNOST CO<sub>2</sub> V OZRAČJU IN SPREMENJENE PODNEBNE RAZMERE**

Poleg vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju na rast rastlin vplivajo še številni drugi dejavniki, med katerimi so pomembne tudi podnebne razmere, saj pričakujemo, da bodo rastline v prihodnosti izpostavljene tako povečani vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju kot tudi spremenjenemu vremenu.

### **Temperatura zraka**

Med temperaturo zraka in odzivom fotosinteze na vsebnost CO<sub>2</sub> obstaja močna povezava (Kaiser in Drennen, 1993). Učinkovitost fotosinteze je močno odvisna od temperature zraka. Z naraščajočo temperaturo fotosinteza narašča, vendar le do določene vrednosti, nato pa ob naraščajoči temperaturi učinkovitost upada. Pri nizkih temperaturah rastlina ob povečani vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju le malo pridobi v primerjavi s pridobitvijo ob optimalni temperaturi. Razlaga je v zaviralnem vplivu ogljikovega dioksida na fotorespiracijo, ki narašča z rastočo

temperaturo. Povečana vsebnost CO<sub>2</sub> premakne optimalno temperaturo za fotosintezo k višjim vrednostim, kar lahko ublaži vpliv povečane temperature lista zaradi zmanjšane transpiracije (Kaiser in Drennen, 1993). Dvig temperature lista bo koristil rastlinam, ki rastejo na območjih s temperaturo zraka pod optimalno vrednostjo. Nasprotno bo učinek negativen, če so temperature zraka že sedaj visoke in bo njihov dodatni dvig premaknil učinkovitost fotosinteze na območje izrazitega upadanja.

### **Zaloge vode**

Čeprav v globalni skali pričakujemo povečanje količine padavin, lahko zaradi spremenjene cirkulacije ozračja določeni predeli prejmejo celo manj padavin kot v sedanjih podnebni razmerah. Če bo do zmanjšanja količine prišlo v poletnem času, lahko to močno vpliva na pridelek. Primanjkuje vode v času cvetenja, opravevanja ter polnjenja zrn je škodljiv za večino poljščin, še posebej za koruzo, sojo in pšenico (Parry, 2000). Povečana evapotranspiracija skupaj z zmanjšanjem količine padavin lahko privede do pogostejših in intenzivnejših suš, povečanih potreb po namakanju in do težav z pomanjkanjem vode za namakanje. Pozitiven vpliv na vodno bilanco bo v sušnih razmerah imelo boljše izkoriščanje vode zaradi delne zaprtosti listnih rež. Vendar, če bo boljše izkoriščanje vode vodilo v razvoj večjih listov oz. večjo rastlino, bo poraba vode lahko še večja, zaloge vode v tleh pa bodo hitreje porabljene. To lahko privede do kmetijske suše hitreje, kot v primeru nespremenjene sposobnosti rastline za izkoriščanje vode. Ob suši je pozitiven učinek povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> majhen.

### **Rodnost in obdelovalnost tal ter erozija**

Na procese v tleh predvsem preko vpliva mikroorganizmov in organske snovi neposredno vplivajo temperatura zraka, padavine in vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju. Organska snov v tleh, kamor spadajo od nerazgrajenih ostankov rastlin in živali, kratkotrajnih produktov razgradnje do bolj ali manj nestrukturiranega organskega materiala, igra pomembno vlogo pri rodnosti tal, saj vpliva na fizikalne, kemijske in biološke lastnosti tal. Predviden dvig temperature zraka in temperature tal naj bi neposredno kot tudi posredno preko aktivnosti mikroorganizmov pospešil mineralizacijo organske snovi v tleh, kar dolgoročno negativno vpliva na strukturno stabilnost tal, vodno kapaciteto ter razpoložljivost hranil v tleh (McCarthy in sod., 2001). Lahko se poveča izpiranje hranil pod koreninski nivo, še posebej ker gre pričakovati tudi krajše obdobje zmrzali ter ponekod tudi več padavin. Razgradnja organske snovi je od temperature bolj odvisna kot fotosinteza, še posebej pri nizkih temperaturah. Ogrevanje bo zato bolj pospešilo razgradnjo organske snovi v tleh (izgubo ogljika) kot fotosintezo (pridobivanje ogljika), kar pomeni negativno bilanco ogljika za tla. Posledica tega bo občuten izpust CO<sub>2</sub> v ozračje kot posledica razgradnje organske snovi (Muriel in sod., 2000). Stopnja mineralizacije je odvisna tudi od vsebnosti vode v tleh. V primeru, da bi bila tla nekje bolj suha, bi to lahko izravnalo vpliv višjih temperatur na mineralizacijo dušika in ogljika. Po drugi strani, rastline ob večji vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju povečajo razporeditev fotosintetskih produktov v smeri proti koreninam. To poveča kapaciteto in delovanje ponorov ogljika v tleh, saj vzpodbudi delovanje nekaterih koreninskih sistemov, odlaganje odmrlih korenin ter razvoj mikorize. Kroženje ogljika (C), dušika (N), fosforja (P), kalija (K) in žvepla (S) v sistemu tla-rastlina-ozračje bo v toplejših razmerah predvidoma intenzivnejše, kar lahko še dodatno poveča emisije CO<sub>2</sub> in N<sub>2</sub>O v kmetijstvu. Pri tem so zaradi zaloge organskih snovi še posebej pomembna kmetijsko obdelana šotna tla.

Verjetno bo za ohranjanje rodnosti ter izkoriščanje boljše rasti gojenih rastlin ob povečani vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju, potrebno dodajanje gnojil določenim tipom tal. Največji vpliv na pridelek ima namreč dejavnik, ki je glede na ostale v minimumu. Zato ima povečanje vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju manjši pozitiven vpliv na pridelek, če se hkrati ne poveča gnojenje z drugimi hranili. Pomembno je, da so ostala hranila v optimumu, saj tudi prevelike količine lahko delujejo zaviralno. Dušik je na razpolago v rastlinam dostopni obliki, zaradi delovanja mikroorganizmov v tleh. Pri tem gre predvsem za mikrobno razgradnjo organske snovi v tleh,

kot tudi za simbiotsko vezavo dušika preko bakterij. Proces vezave dušika, ki je povezan z razvojem večjih korenin, bo v toplejših in s CO<sub>2</sub> bogatejših razmerah predvidoma intenzivnejši, saj se poveča delovanje bakterij, ki dušik vežejo. Pri tem mora biti na razpolago zadostna količina vode v tleh (Parry, 2000). Podnebne spremembe bodo do neke mere vplivale tudi na pretvorbo in izgubo hranil v živinskem gnoju, tako v hlevih, kompostih kot na polju. Primer tega je hlapnost amonijaka, ki je večja ob višjih temperaturah zraka.

Preko obdelave tal in drugih postopkov (npr. škropljenje s pesticidi, gnojenje) vreme še dodatno vpliva na gojenje rastlin in živali. Zato je obdelovalnost in prevoznost tal ena ključnih lastnosti pri prostorski razporeditvi gojenih rastlin. Obdelava je za tla škodljiva, če poteka v preveč mokrih razmerah, saj so takšna tla preveč zbita. Prav tako pa negativno na pridelek preko prašenja vpliva obdelava presuhen tal, kjer pa je seveda glavna težava primanjkljaj vode, ki jo rastline potrebujejo za rast. Sedaj premokra območja za obdelavo in pašništvo, bi tako v primeru sušnejših razmer v prihodnosti pridobila, kot bi pridobila tudi sedaj presuha območja v primeru vlažnejših razmer. Seveda pa velja tudi obratno. Suha tla pa bodo poleg zaviranja rasti korenin in razgradnje organske snovi ter manjše obdelovalnosti povečala ranjivost za erozijo vetra, še posebej, če se bo v prihodnosti veter okreplil. Predviden dvig količine padavin zaradi izrazitejših gradientov temperature zraka in zračnega tlaka ter večje količine vodne pare v zraku lahko privede do pogostejših pojavov intenzivnih padavin, kar bi povečalo vodno erozijo tal.

## **7.3 ODZIV KMETIJSKO POMEMBNIH RASTLIN NA PODNEBNE SPREMEMBE**

### **7.3.1 ZRNATE POLJŠČINE**

Zrnate poljščine, med katere sodijo žita, stročnice in oljnice, so večinoma rastline omejene rasti. Čas doseganja zrelosti je pri njih odvisen predvsem od temperature ter večinoma tudi od dolžine dneva (Olesen in Bindi, 2002). Navkljub zgodnejšemu začetku rastne dobe in tako daljši vegetacijski dobi zaradi dviga temperature zraka (sneg bo hitreje skopnel, manj zmrzali), se bo dejanska rastna doba zaradi omejene rasti skrajšala. Zaradi višjih temperatur bo celotni razvojni krog zrnatih poljščin hitreje zaključen. Učinek višjih temperatur je pri zrnatih poljščinah ravno nasproten učinku povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju. Preprost način prilagoditve na višje temperature je spremenjen čas setve ter uporaba z vidika pridelka donosnejših kultivarjev z daljšo rastno dobo (Olesen in Bindi, 2002).

Na osnovi poskusov so ugotovili, da v primeru žit v začetku rastne dobe večja vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju poveča rast rastlin, višje temperature pa povečajo produkcijo biomase. Glavni skupni učinek je tako večje število poganjkov, ki pa jih v primeru višjih temperatur kasneje tudi več odmre. V toplejših razmerah se zato razvoje manj klasov, tako v primeru sedanje kot povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju. V primeru višjih temperatur je tudi hitrejša rast zrn, vendar pa se skrajša čas polnjenja in zorenja zrn, kar lahko vodi v slabši pridelek, če se način pridelave ne bo spremenil. Večja vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju in višje temperature bodo povečale tudi rast slamnatih delov žit, kar bo zmanjšalo žetveni indeks.

Na možnost pridelave žit vplivata tako temperatura zraka kot padavine. Dvig temperature bo omogočil pridelavo žit na območjih, ki so za pridelavo danes prehladna, npr. v severnejših geografskih širinah oziroma na višjih nadmorskih višinah. Glede na majhne dimenzije Slovenije in njeno zdajšnjo klimatsko raznolikost, ki je ne pogojuje geografska širina, temveč relief in oddaljenost od morja, premiki območij ustreznih za gojenje zrnatih in tudi ostalih poljščin po geografski širini (smer jug-sever) ne bodo pomembni, čeprav je ocena zanje premik do 200 km proti severu pri dvigu povprečne temperature zraka za 1°C. Bolj izraziti utegnejo biti prostorski pomiki po nadmorski višini, saj bodo območja z višjimi nadmorskimi

višinami postala temperaturno primerna za rastlinsko pridelavo, seveda, če bodo izpolnjevala tudi druge kriterije. Pri tem so pomembne predvsem lastnosti tal in konfiguracija terena. Prav tako so sedanji kultivarji prilagojeni predvsem na dolžino dneva v nizkih in srednjih geografskih širinah in ni nujno, da se bodo pozitivno odzvali na daljše poletne dneve v visokih geografskih širinah. V toplejših in sušnejših predelih, kjer je že danes pridelava žit omejena na vrste s kratko rastno dobo v izogib previsokim temperaturam in pomanjkanju vode poleti, lahko dvig temperature še dodatno skrajša optimalno rastno dobo za žita. Poleg tega lahko previsoke temperature škodijo rastlinam predvsem v času oprašitve, saj pri velikem številu kmetijskih rastlin, tudi pri pšenici, zavirajo oprašitev. Žitom lahko škodijo tudi prekomerne padavine, predvsem v začetnem obdobju razvoja in v času žetve (Parry, 2000). Poleg podnebnih sprememb bo na pridelek v prihodnosti močno vplival način pridelave ter uvajanje novih tehnologij.

Povečana vsebnost CO<sub>2</sub> bo pri stročnicah poleg učinkovitejše fotosinteze ter izrabe vode vodila tudi do intenzivnejše simbiotske vezave dušika, ki naj bi bila spodbujena z večjo razpoložljivostjo energije ter asimilatov, ki predstavljajo medij za razpoložljiv dušik. Podobno kot stročnice naj bi se odzvale na spremembe podnebja tudi oljnice, saj za tvorbo olj potrebujejo zadostno količino energije.

### **7.3.2 KORENOVKE IN GOMOLJNICE**

Korenovke in gomoljnice vključujejo številne vrste in predstavljajo pomemben vir ogljikovih hidratov. Med gomoljnicami je najpomembnejši krompir ter med korenovkami sladkorna pesa. Predvidoma se bodo na povečano vsebnost CO<sub>2</sub> in višje temperature odzvale pozitivno, saj so to rastline z neomejno rastjo. Ob večjih vsebnostih CO<sub>2</sub> in višjih temperaturah zraka se bo verjetno število listov in njihova rast povečala, kar pomeni večje prestrezanje sončne svetlobe in s tem večjo razpoložljivost energije za fotosintezo v začetku rastne dobe. Zaradi hitrejše zrelosti in staranja, pa se ob višjih temperaturah proti koncu rastne dobe listna površina in s tem prestrezanje svetlobe verjetno zmanjšala. V splošnem se bo zaradi višjih temperatur večini korenovk in gomoljnic podaljšala rastna doba ter s tem povečalo skladiščenje suhe mase. V primeru krompirja gre pričakovati večje število gomoljev na eno rastlino in ne večjih gomoljev.

### **7.3.3 VRTNINE**

Med vrtnine štejemo tako zelenjavo, kot okrasne rastline (Olesen in Bindi, 2002), ki jih gojimo na prostem ali v rastlinjakih. Na rastline, ki jih gojimo v rastlinjakih, bodo podnebne spremembe vplivale predvsem preko zahtev po hlajenju ali ogrevanju rastlinjakov. V rastlinjakih, kjer je umetno povečana vsebnost CO<sub>2</sub> v zraku, bo potrebno ob višjih vsebnostih v ozračju manjše dodajanje dodatnega CO<sub>2</sub> (Muriel in sod., 2000). Ker je večina zelenjave, ki jo gojimo na prostem, gospodarsko pomembna, jo večinoma gojimo ob zadostnih količinah vode in hranil. Zato se večinoma odzivajo na spremembe temperature zraka in vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju. Odziv je pri različnih vrstah zelenjave različen, predvsem v povezavi z vrsto pridelka izbrane zelenjave ter njenega fenološkega odziva. V primeru rastlin z omejeno rastjo (npr. čebula) bo v toplejših pogojih rastna doba krajša, pridelek pa manjši. Hitrejša zrelost lahko tudi poveča lesnatost vrtnin omejene rasti. Nasprotno se bo pri rastlinah z neomejeno rastjo (npr. korenje) povečala rast in pridelek. Zelena solata naj bi v začetku rastne dobe kalila bolje ob višjih temperaturah, vendar pa so te sredi poletja problematične zaradi dormance. Zelena solata ima sicer veliko tolerančno območje za temperature zraka, zato so podnebne spremembe zanjo bolj zanimive z vidika povečane vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju, ki seveda poveča pridelek. Za večino zelenjave bo dvig temperature vplival na pridelek pozitivno. Rastna doba bo daljša, kar bo omogočilo bolj stalno oskrbo trga z zelenjavo. Za ozimne rastline (npr. cvetača) lahko dvig temperature v topli polovici leta povzroči slabšo kakovost pridelka (Parry, 2000).



### 7.3.4 TRAJNICE

Bolj kot za enoletnice bodo podnebne spremembe pomembne za trajnice, saj ima izbira le-teh in ukrepi v povezavi s podnebnimi spremembami daljnosežnejše posledice. Kmetijsko pomembne trajnice pri nas glede na zahteve po toploti razvrstimo od oljke, vinske trte, breskve, oreha, marelice, češnje, hruške in slive, do jablane. Glede temperaturnih razmer igrajo pomembno vlogo mejne vrednosti temperatur, kot tudi stalnost temperature v določenih obdobjih razvoja trajnic. Konec rastne dobe nižje temperature skupaj s krajšim dnevom povzročijo dormanco in odpadanje listov. Čas nastopa dormance pa je pomemben zaradi vpliva na cvetne brste (učinkovitost nastavitve in obstanka plodu) in začetek cvetenja. Preden brst počne, mora biti določen čas izpostavljen dovolj nizkim temperaturam nekje med 0 in 10°C. Pomembno je tudi, da po začetku razvoja cvetni brsti niso izpostavljeni prenizkim temperaturam, ki povzročijo škodo. Predviden dvig temperature zraka, bo ob zadostni izpostavitvi nizkim temperaturam, omogočil zgodnejše cvetenje, kar pa bo tudi povečalo občutljivost cvetov za zmrzal, v splošnem pa bo vodil v skrajšanje časa potrebnega za rast in razvoj trajnic.

Poleg temperaturnih razmer pri gojenju trajnic igra pomembno vlogo še sončno obsevanje in padavine. Primanjkljaj slednjih lahko do neke mere nadomestimo z namakanjem. Žal ne moremo vplivati na razpoložljivo sončno sevanje. Že majhno zmanjšanje sevanja zaradi morebitnega povečanja oblačnosti lahko pri nekaterih trajnicah (npr. pri češnjah) opazno vplivajo na kakovost pridelka.

Dvig temperature zraka bo vodil v skrajšanje časa potrebnega za rast in razvoj trajnic ter vplival na začetek razvoja reproduktivnih organov. Navkljub krajši rastni dobi se bo rastlinam z večjimi toplotnimi zahtevami (oljka, vinska trta, oreh, breskve, češnje) pridelok predvidoma povečal. Preko ogrevanja in spremenjenega padavinskega režima lahko podnebne spremembe tako kot na ostale kmetijske rastline vplivajo tudi na prostorsko razširjenost gojenja trajnic. Višje temperature zraka bi ob ugodnih padavinskih razmerah, lastnostih tal in legah omogočile gojenje toplotno zahtevnejših trajnic v severnejših predelih ter na višjih nadmorskih višinah. Uspešnost gojenja trajnic pa je odvisna tudi od temperatur v obdobju mirovanja, ki vplivajo na diferenciacijo cvetnih brstov. Za prekinitev dormance namreč potrebujejo zadostno obdobje z dovolj nizkimi temperaturami, sicer je njihovo dormanco potrebno prekiniti s kemičnimi sredstvi.

Oljka, kot tipični mediteranski sadež, je še posebej občutljiva na nizke temperature in majhne zaloge vode. Vendar pa oljka pozimi potrebuje določeno število dni s temperaturami pod 7°C, da je mogoča zasnova cvetov. Najbolje rodi, ko pozimi podnevi temperatura 70-80 dni niha med 2-15°C ali pa, ko se izmenjujejo topli dnevi s hladnejšimi. Drug primer toplotno občutljive trajnice je vinska trta. Rast vinske trte je pogojena z zadostnim sončnim sevanjem, dovolj visokimi spomladanskimi temperaturami ter ne preveliko količino padavin v poletju. Vse naštetje je pomembno za kopičenje sladkorja v grozdih ter za nevarnost zmrzali, rastlinskih bolezni in škodljivcev. Predvidena večja spremenljivost podnebnih razmer pa bo verjetno vodila do večjih nihanj v količini in kakovosti pridelka. Ob pogostejših slabih letinah bi lahko povpraševanje po vinu celo preseglo razpoložljive zaloge. Ker obe omenjeni trajnici raste na območjih z omejeno količino vode, bo varčnejša izraba le-te zaradi večjih vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju dobrodošla, še posebej ker bodo višje temperature zraka težile k večji evapotranspiraciji.

Med trajnice sodi tudi jagodičje (jagode, maline, črni, rdeči in beli ribez, kosmulje, robidnice). Ker so jagodičja dokaj prilagodljiva glede podnebnih razmer, verjetno podnebne spremembe le-teh ne bodo imele drastičnih vplivov na pridelok. V primeru gojenja jagodičja je namreč tudi razširjena uporaba namakanja, predvsem kapljičnega. Vsekakor bodo spremembe temperature in padavin, predvsem poletni, vplivale na dolžino rastne dobe, prostorske vzorce pridelka ter na nevarnost bolezni in škodljivcev. Zaradi višjih temperatur se bo rastna doba

podaljšala, kar bo omogočilo večjo razpoložljivost jagodičja na trgu iz domačih virov. Dvig temperature bo pospešil dozorevanje posameznih rastlin, zato bo potrebna uporaba širšega spektra vrst, da bi lahko izkoristili pogoje za rast tekom celotne rastne dobe. Če bodo višje temperature povezane z zmanjšanjem padavin v poletnem času, se bo verjetno pojavila tudi potreba po učinkovitejšem ravnanju z vodo pri namakanju.

## **7.4 ODZIV ŽIVINOREJE NA PODNEBNE SPREMEMBE**

### **7.4.1 PAŠNIKI**

Pašniki se na spremenjene podnebne razmere s fiziološkega vidika odzivajo podobno kot ostalo rastlinje, seveda pa je odziv rastlin, ki prevladujejo na pašnikih, vrstno odvisen. Imamo tako intenzivno obdelane monokulturne pašnike kot tudi vrstno bogate, neobdelane pašnike, kjer je raznovrstnost pogojena predvsem z lastnostmi tal in ureditvijo vode ter seveda podnebnimi razmerami .

Intenzivno obdelani pašniki so občutljivi na zaloge vode in hranil, predvsem dušika. Težave v povezavi z dušikom lahko rešimo z dognojevanjem, v primeru zalog vode pa smo vezani na padavinski režim, saj namakanje pašnikov ni gospodarno. Višje temperature zraka in povečana vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju pomenijo za intenzivno obdelane ter s hranili in vodo bogate pašnike pridobitev. Rast trave je namreč omejena z nizkimi zimskimi in pomladnimi temperaturami ter primanjkljajem vode poleti. Višje temperature bi vodile v hitrejši začetek rasti spomladi ter kasnejšo upočasnitev jeseni. Na samo rast trave vpliva tudi pogostost in čas paše oziroma košnje. Če so zaloge vode omejene, lahko višje temperature zaradi izrazitejše evapotranspiracije privedejo do pogostejših poletnih suš, kar bo neugodno vplivalo na pašnike. Že majhen primanjkljaj vode ima izrazit učinek na razvoj listov in s tem na samo rast rastline. Do neke mere lahko večjo evapotranspiracijo zaradi višjih temperatur uravnata boljša izraba ter večja sposobnost črpanja vode iz tal, ki sta predvideni posledici večje vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju.

Pri neobdelanih, višinskih pašnikih zasledimo veliko raznovrstnost rastlin. Ker se različne rastlinske vrste odzivajo različno na spremenjene podnebne razmere, bo to vplivalo na tekmovalnost med njimi in s tem na rastlinsko sestavo pašnikov. Pri tem pomembno vlogo igra razpoložljivost hranil v tleh, saj ima na rast in razvoj največji vpliv dejavnik, ki je v minimumu (Kaiser in Drennen, 1993). Večje, hitro rastoče trajnice na rodovitnih tleh se bodo tako izraziteje odzvale na povečano vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju kot enoletne zeli ter počasi rastoče trajnice na slabo rodovitnih tleh, ki se na povečano vsebnost CO<sub>2</sub> skoraj ne odzovejo. Podnebne spremembe bodo vplivale tudi na fenologijo višinskih pašnikov. Na otoplitev se bodo močno odzvale zgodaj cvetoče vrste, saj bodo cvetele tudi do nekaj tednov zgodneje. Pozno cvetoče vrste pa so temperaturno manj občutljive, saj začetek cvetenja pogojuje predvsem dolžina dneva.

Z višjimi temperaturami se bo podaljšalo pašno obdobje, morebitne poletne suše pa bodo zaradi omejene rasti rastlinja pašnikov povečale potrebo po dodatnem hranjenju živine. Spremembe prostorske razporeditve padavin, lahko skupaj z višjimi temperaturami in razpoložljivostjo hranil privedejo do prostorskih premikov območij ustreznih za pašo. Ugodnejše podnebne razmere, predvsem višje temperature, bi za višinske pašnike lahko upravičile uporabo gnojil ter privedle do širitve intenzivnega kmetijstva v višje lege.

Ekperimentalno proučevanje vpliva podnebnih sprememb na pašnike je zelo težavno. Večina študij zato temelji na rezultatih simulacij oziroma na laboratorijskih poskusih s posameznimi, za pašnike značilnimi rastlinskimi vrstami. Zaradi omejene uporabnosti tako pridobljenih informacij se je povečal interes po uporabi poskusnih ruš, kjer bi dodatno upoštevali režim košnje, tekmovalnost med različnimi vrstami,

Poleg genetske zasnove, na rast, razmnoževanje in vedenje živine ter njeno zdravje vpliva tudi okolje v katerem živi. Spremenljivost podnebja ima neposreden vpliv na apetit in zdravje živine. Številni učinki podnebja na zdravje živine pa so posredni, saj vreme in podnebje vplivata na živalske bolezni in škodljivce. Preko vpliva na pašo in krmo pa podnebje še dodatno vpliva na živino, oz. na njeno prehrano. Tu gre tako za produktivnost krmnih rastlin in s tem razpoložljivost in ceno krme kot tudi produktivnost pašnikov ter zaloge krme na njih.

## 7.4.2 ZDRAVJE ŽIVINE

Pri izbiri pomembnosti območij za živinorejo je izmed vseh podnebnih dejavnikov najpomembnejša temperatura zraka. Toplokrvne živali vzdržujejo optimalno telesno temperaturo, ki znaša okrog 37°C. Pri višjih temperaturah lahko pride do poškodb mišic, pri nižjih temperaturah pa so življenske funkcije upočasnjene. V obeh primerih so živali izpostavljene temperaturnemu stresu - vročinskemu stresu ali stresu mraza.

Vročinskemu stresu, ki je lahko pogojen tudi z dolgotrajno izpostavljenostjo močnemu vpadnemu sevanju, bodo ob predvidenem dvigu temperature zraka živali v topli polovici leta izpostavljene pogosteje. Pogostejša in dolgotrajnejša izpostavljenost vročinskemu stresu povečuje bolehnost in smrtnost živali zaradi možganske in srčne kapi, ki je pogostejša pri starejših živalih. Visoke temperature tudi zmanjšujejo sposobnost razmnoževanja. Prav tako izpostavljenost visokim temperaturam v zgodnji nosečnosti povečuje smrtnost zarodkov. Toplejše razmere pa bodo v hladni polovici leta učinkovale na živinorejo pozitivno. Izpostavljenost stresu mraza bo redkejša in kratkotrajnejša, delež preživelih živali bo večji in zmanjšani bodo stroški ogrevanja prostorov za živino. Različne mejne vremenske situacije neposredno vplivajo na živali, ki jih gojimo na prostem. Pri tem so še posebej občutljive mlade živali. Ob pogostejših ujmah (poplave, nevihte, orkanski veter) se lahko poveča smrtnost živali. Dodatno lahko ujme poškodujejo zavetišča oziroma prostore za živali in povzročijo dodatno materialno škodo.

Dejstvo, da je živinorejska proizvodnja razširjena v zelo različnih podnebnih razmerah - od hladnih, subpolarnih do vročih, tropskih območij, kaže na veliko prilagodljivost živali na različne podnebne razmere. Živali se na spremenljive okoljske razmere prilagajajo fiziološko in vedenjsko, pri tem pa jim do neke mere lahko pomagamo. Kratkoročno, se pašne živali pred mejnimi vremenskimi dogodki zatečejo v zavetje, če je seveda na razpolago. Pogostejša in dolgotrajnejša obdobja mejnih temperatur, močnega vpadnega sevanja in vetra, do česar lahko pride v primeru podnebnih sprememb, zahtevajo načrtovane in vzdrževane sisteme zavetišč za živino. Zavetišča morajo biti ustrezno velika in opremljena, predvsem pa dostopna s pašnikov. Lahko gre za v ta namen zgrajene objekte, kjer je omogočeno dodatno hranjenje živine, ali pa za gozdna območja, kjer živali lahko najdejo zavetje. Slednja so problematična zaradi velike porabe vode poleti, vlažnejše razmere v njih pa omogočajo ugodnejše razmere za širjenje škodljivcev in bolezni. Do neke mere bi se lahko vročinskemu stresu v toplejših razmerah izognili kot v mediteranu. Živina je čez dan v belih zavetiščih, skrita pred sončnimi žarki in vročino ter hranjena s sveže pokošeno krmo, ponoči, ko je hladneje, pa se jo spusti na pašo. Če uporaba zavetišč ni mogoča, pride do dodatnih vedenjskih in fizioloških prilagoditev. Z vročino pa se živali na prostem spopadajo z omejenim gibanjem, kot tudi s potenjem in z dihalnim hlajenjem - sopihanje in izločanje slin skozi nosne odprtine in z jezika. Živali, ki jih gojimo v zaprtih prostorih se z vročino spopadajo na enak način, le da so omejene z gostoto živine primernostjo prostorov. Pri vročinskem stresu lahko živalim pomagamo tudi s škropljenjem, kar pa lahko privede v zaprtih prostorih do nevarnosti v povezavi s povečano vlažnostjo zraka.

Zaradi velikih prilagoditvenih sposobnosti živali na različne okoljske razmere, neposreden vpliv podnebnih sprememb verjetno ne bo izrazil. To še posebej velja za živali, ki jih gojimo v zaprtih prostorih. V njih lahko uravnavamo mikroklimo z različnimi prezračevalnimi

napravami, sistemi ogrevanja, ohlajanja in vlaženja zraka ter dodatnim osvetljevanjem (Muriel in sod., 2000). Neposreden vpliv podnebnih sprememb na intenzivno živinorejsko proizvodnjo (prašičje in perutninske farme, farme piganega in mlekarkega goveda) bo zato majhen. Sistemi, ki niso primarno odvisni od paše živine na prostem, so tudi manj odvisni od lokalnih virov hrane. Morebitne spremembe v kakovosti in količini hrane pa lahko uravnavamo z zalogami krmil. Umetno uravnavanje razmer v zaprtih prostorih pa je povezano z dodatno porabo energije. Ob višjih temperaturah zraka bo v poletnem času potrebno več energije za prezračevanje in hlajenje prostorov, kar bo povečalo stroške živinorejske proizvodnje. Višji stroški bodo povezani tudi s prevozom živine, saj bo živina izpostavljena vročinskemu stresu in bo potrebno dodatno prezračevanje prevoznih sredstev.

Obstajajo številni posredni učinki spremenljivosti podnebja na zdravje živine. Spremembe temperature in vlažnosti zraka ter moči vetra, še posebno pa suše, lahko povzročijo pri živalih stres, ki zmanjša odpornost živali na živalske patogene. Posledično zmanjša tudi učinkovitost cepiv. Tako je neposreden učinek vročinskega stresa lahko še dodatno podkrepjen z večjo pogostostjo mejnih dogodkov, kot so suše in nevihte. Razvoj in rast večine parazitov in bakterij je temperaturno odvisen. Prav tako je temperaturno odvisno tudi razmnoževanje virusov, če so njihovi prenašalci hladnokrvni. Dvig temperature bo tako verjetno povečal infekcijski pritisk škodljivcev ter patogenih gliv, bakterij in virusov. Več patogenov bo preživel obdobje zime, dolgotrajnejše toplo obdobje pa bo omogočilo njihov hitrejši razvoj in razmnoževanje. Toplejši pogoji bodo omogočili hitrejši razvoj in s tem več zaključenih življenjskih krogov škodljivcev in tudi prenašalcev patogenov. Omogočena bo širitev novih, na našem območju do sedaj še neznanih bolezni in škodljivcev, ki so v zdajšnjih podnebnih razmerah problem v toplejših krajih. Vlažnejši pogoji lahko povečajo pogostost izbruha epidemij, katerih povzročitelji potrebujejo za razvoj vlago. Močni vetrovi pa so lahko pomemben dejavnik prenašalcev patogenov (npr. letelih insektov) na daljavo. Živali, ki jih gojimo v zaprtih prostorih, imajo običajno tesno odmerjen življenjski prostor. Omejena gibljivost in velika gostota živali omogoča intenzivnejše napade zajedalcev, ki živijo na telesih živali in se hitro razmnožujejo. Stopnja okužbe z različnimi patogeni (predvsem bakterijami) vpliva na kakovost mesnih izdelkov. Obstaja neposredna povezava med okuženostjo živine, temperaturo zraka ter zastrupitvami ljudi s hrano. Več pozornosti bo v toplejših razmerah zato potrebno posvetiti postopku klanja, ravnanju z mesom in shranjevanju mesa, saj je verjetnost bakterijskih okužb v takšnem primeru večja.

### 7.4.3 PREHRANA ŽIVINE

Prehrana živine je lahko zelo raznolika - od preproste krme, ki je na razpolago na pašnikih, do krmnih rastlin in tehnološko pridelane hrane, ki naj bi omogočila optimalno prehrano živine. Neposreden vpliv podnebnih sprememb na pašnike smo obravnavali v prejšnjem poglavju. Podnebne spremembe bodo omogočile daljše pašno obdobje. Daljše obdobje primerno za pašo, ki je pomemben element v prehrani živine, pa lahko preko mehanskih poškodb in prekomernega izkoriščanja neugodno vpliva na produktivnost pašnikov. V obsežnih, neobdelanih pašnih sistemih se lahko temu izognemo s spreminjanjem lokacije paše. Od pomladi proti poletju lahko živino selimo proti višjim nadmorskim višinam, in jo ob približevanju jeseni zopet pomikamo v nižje ležeče predele. Morebitno povečanje produktivnosti pašnikov, še posebej višinskih, bi omogočilo lažje uravnavanje spremenljivih zalog krme, saj bo gojenje krmnih rastlin občutljivejše na podnebne spremembe, predvsem z vidika mejnih dogodkov. Krmne rastline vključujejo silažna žita, nekatere korenovke (npr. sladkorna pesa) in nekatere križnice (npr. oljna repica), ki smo jih splošno obravnavali že v poglavju o zrnatih poljščinah in korenovkah. Če jih gojimo kot krmne rastline, moramo velikost in kakovost pridelkov obravnavati z vidika povečanja biomase in prebavljivosti. Če prevladuje učinek povečane vsebnosti CO<sub>2</sub>, se pridelok poveča, vendar se zmanjša prebavljivost krme. Ravno obratno je v primeru prevladujočega učinka višjih temperatur. Dodatno lahko na učinka sprememb temperature zraka in vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju vpliva tudi razpoložljiva voda. Različne rastline se bodo na podnebne spremembe odzvale različno.

Večji pridelek gre pričakovati pri rastlinah z neomejeno rastjo (npr. sladkorna pesa in silažna kornjača), kot pri rastlinah z omejeno rastjo (npr. silažna žita). Predvidoma bo to vodilo k uporabi podnebju primernejših krmnih rastlin na posameznih območjih. Ob predpostavki, da je hrane na razpolago dovolj, je njena poraba ter s tem produktivnost živine odvisna predvsem od njenega apetita. Apetit je odvisen od okoljskih dejavnikov, kot sta temperatura in vlaga, ter od okusnosti hrane. Spremembe apetita v povezavi s podnebnimi spremembami so težko napovedljive. Ker paša običajno poteka ob jutranjih in večernih urah, je apetit očitno večji v hladnejših in vlažnejših razmerah.

Dvig temperature tako verjetno ne bo imel ugodnega vpliva na apetit v nasprotju s povečanjem zračne vlage. Okusnost hrane bo odvisna od prebavljivosti, ki je pogojena s temperaturnimi spremembami in spremembami vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju. Uravnavati pa bi jo bilo mogoče tudi s predelavo hrane in oblikovanjem prehrane. Vpliv podnebnih sprememb na živali, ki jih gojimo v zaprtih prostorih, kjer razpoložljivost hrane običajno ne predstavlja problema, je odvisen predvsem od vzpostavitve ustreznega okolja za vzdrževanje apetita.

Največji omejujoči dejavnik za pašno živinorejo predstavlja zadostna količina in kakovost pitne vode za živali. Količina razpoložljive pitne vode je odvisna predvsem od prostorske razporeditve padavin, kot tudi od strukture reliefa, geološke sestave tal in onesnaženosti vodnih virov. Kakovost vode se tekom leta spreminja zaradi časovne razporeditve in spremenljive intenzivnosti padavin ter zaradi rasti alg, ki je odvisna od temperaturnih razmer.

## **7.5 ŠKODLJIVCI, BOLEZNI IN PLEVELI TER PODNEBNE SPREMEMBE**

Pri povezavi med podnebnimi spremembami in škodljivci ter boleznimi, moramo upoštevati številne medsebojne zveze. Hitrost spreminjanja številčnosti populacije škodljivcev in patogenov je pogojena z njihovim preživetjem, razmnoževanjem in razpršenostjo, ki so odvisni predvsem od temperature zraka, zračne vlage, količine padavin in vetra. Od podnebnih oziroma okoljskih razmer ter vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju pa niso odvisni le škodljivci in bolezni, temveč tudi njihovi tekmeci, naravni sovražniki in gostiteljske rastline. Podnebne spremembe in večja vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju lahko vodijo v razvoj večjih rastlin in s tem gostejše rastlinske odeje, kjer bi bile razmere za razvoj bolezni lahko ugodnejše. Po drugi strani podnebne spremembe lahko vplivajo na časovni potek razvoja škodljivcev, bolezni in gostiteljskih rastlin, posledica česar je lahko razklopitev časovne usklajenosti med njimi. Podobno se lahko zgodi tudi s časovno usklajenostjo živine in bolezni pri njej. Vse te medsebojne odvisnosti je težko upoštevati, zato moramo biti pri napovedovanju vpliva podnebnih sprememb na škodljivce in bolezni v prihodnosti zelo previdni.

Toplejše zime bodo povečale možnost preživetja številnim škodljivcem in povzročiteljem bolezni ter omogočile življenje na območjih, ki zaradi mraza podnebno do sedaj niso bila ustrezna. S tem se bo povečala tako številčnost, kot prostorska razširjenost škodljivcev in bolezni. Ob toplejših pogojih bodo škodljivci, katerih razvoj je pogojen predvsem s temperaturnimi razmerami, zaključili več življenjskih ciklov v enem letu. V manjši meri to velja za škodljivce, katerih razvoj je odvisen tudi od dolžino dneva. Nekateri škodljivci so tudi prenašalci virusnih bolezni. Z ugodnejšimi razmerami zanje, se bo povečala tudi možnost širitve virusnih bolezni. Vlažnejši in toplejši pogoji so ugodnejši za razvoj patogenih gliv in bakterij, spremenjene vetrovne razmere pa vplivajo na širjenje škodljivcev in patogenov, ki so povzročitelji bolezni pri kmetijskih rastlinah in živini. Ker je večina težav s škodljivci in boleznimi vezanih na gostiteljsko rastlino, bo do prostorskih premikov škodljivcev in bolezni prihajalo skupaj z njimi. Zato se način zatiranja škodljivcev in bolezni najbrž bistveno ne bo spremenil. Lahko pa intenzivnejše razmnoževanje škodljivcev in patogenov ter poslednično

povečana uporaba pesticidov ter fungicidov privede do zahteve po razvoju in uporabi ekološko primernejših tehnik zatiranja škodljivcev in bolezni.

Vsebnost CO<sub>2</sub> v ozračju tudi neposredno, ne le prek podnebnih sprememb, vpliva na škodljivce, saj v veliki meri pogojuje količino in kvaliteto biomase gostiteljskih rastlin. Poveča se razmerje C:N v listih in ostalih zelenih delih rastlin, zmanjša se vsebnost beljakovin v rastlinah, posledica česar je manjša hranilna vrednost tako za ljudi, kot tudi za insekte, ki se hranijo z listi. To lahko poveča smrtnost insektov. Preživeli bodo predvsem takšni, ki lahko v krajšem času za prehrano porabijo večje količine rastlinske hrane, kar pa venomer ne nadomesti manjše količine dušika v listih. Večja poraba rastlinske hrane s strani insektov lahko celo izniči pozitiven vpliv povečane vsebnosti CO<sub>2</sub>.

Pleveli so izraziteje podvrženi neposrednemu vplivu sprememb vsebnosti CO<sub>2</sub> v ozračju. Večja vsebnost bo povečala fotosintetsko učinkovitost predvsem C3 plevelov, manj pa C4 plevelom. Tako C3 kot C4 plevelom se bo povečala učinkovitost izrabe vode. Ni nujno, da bo ob veliki tekmovalni sposobnosti plevelov prednost C3 rastlin pri izkoriščanju večjih koncentracij CO<sub>2</sub> zadostna. Poleg tega lahko pomembne C4 rastline, utrpijo veliko škodo zaradi povečane tekmovalnosti C3 plevelov (Kaiser in Drennen, 1993). Različen vpliv CO<sub>2</sub> na plevela in gojene rastline bo tako vplival na tekmovalnost med njimi, ponekod v prid rastlinam drugje spet v prid plevelom (Parry, 2000). Dodatno bodo spremembe podnebja vplivale na rast, fenologijo in prostorsko razširjenost različnih vrst plevelov.

Spremembe bodo vplivale tudi na zatiranje plevela. Spremembe površinskih lastnosti listov zaradi učinka CO<sub>2</sub> lahko ovirajo zatiranje s herbicidi kot tudi vsrkavanje fungicidov. Učinkovitost herbicidov je odvisna tudi od okoljskih dejavnikov, ko so temperatura zraka, padavine, veter in zračna vlaga. Dvig temperature zraka lahko v določenih primerih poveča učinkovitost herbicidov. Zatiranje trajnih plevelov lahko postane oteženo, saj bo ob povečani fotosintezi vspodbujena tudi rast koreninskih in ostalih skladiščnih organov. Številni pleveli so se prilagodili na herbicide, kar nakazuje njihovo sposobnost prilagajanja spremembam v okolju. Daljša in toplejša bo rastna doba, več generacij plevela se bo lahko razvilo v eni rastni dobi. Ker so učinki podnebnih sprememb na plevela zelo zapleteni in težko napovedljivi, podobno kot pri boleznih in škodljivcih, je enolično ovrednotenje vpliva podnebnih sprememb na njihov razvoj oziroma zatiranje še nerešen problem.

## **7.6 RANLJIVOSTNA ANALIZA SPREMEMBE TEMPERATURNEGA REŽIMA**

V primeru globalnega ogrevanja bo prišlo do podaljšanja potencialne vegetacijske dobe za različne kmetijske rastline. Spomladi se bo obdobje rasti pričelo bolj zgodaj in se jeseni kasneje končalo, ne glede na nadmorsko višino ali toplotne zahteve rastlin. Globalno ogrevanje bo vplivalo tudi na količino toplote, ki jo bodo lahko rastline akumulirale tekom svoje rasti. Omenjen učinek bodo kmetovalci lahko izkoristili za zgodnejšo setev v prilagojenem kolobarju, za morebitno večkratno setev (saditev) iste poljščine v enem letu ali pa za strniščne posevke, ki bodo lahko izkoristili podaljšano vegetacijsko dobo v jeseni. Daljša vegetacijska doba in več akumulirane toplote lahko v bodočnosti na danes prehladnih območjih pripomoreta k izboljšanju toplotnih karakteristik in s tem do povečanja pridelovalnih površin.

## 7.6.1 OPIS METODOLOGIJE ZA RANLJIVOSTNO ANALIZO

Za razvoj vsake rastlinske vrste oziroma nastop določene fenofaze obstaja tako imenovan biološki temperaturni minimum ali temperatura praga, kot jo imenujemo v agrometeorologiji. Pomladanski datum prestopa temperature praga je podan z dnevom, v katerem se povprečna dnevna temperatura, ki je pred tem ves čas nižja od temperature praga, ki jo obravnavamo, dvigne nad temperaturo praga. Jesenski datum prestopa temperature zraka pa je podan z dnevom, v katerem se povprečna dnevna temperatura, ki je bila ves čas višja od temperature praga, spusti podnjo. Dejanske temperaturne prage določimo z analizo povprečnih dnevni temperatur v določenem letu, povprečne temperaturne prage pa na osnovi klimatskih temperaturnih podatkov z linearno interpolacijo. Z znanimi mejnimi temperaturnimi vrednostmi za določeno rastlino oz. fenofazo lahko izračunamo tudi dolžino obdobja, ko je temperatura nad določeno vrednostjo. Poznavanje teh obdobja je pomembno, ko načrtujemo kmetijsko proizvodnjo, saj s pomočjo teh podatkov lahko ugotovimo, ali so toplotne karakteristike določenega območja primerne za pridelavo zelene kmetijske kulture.

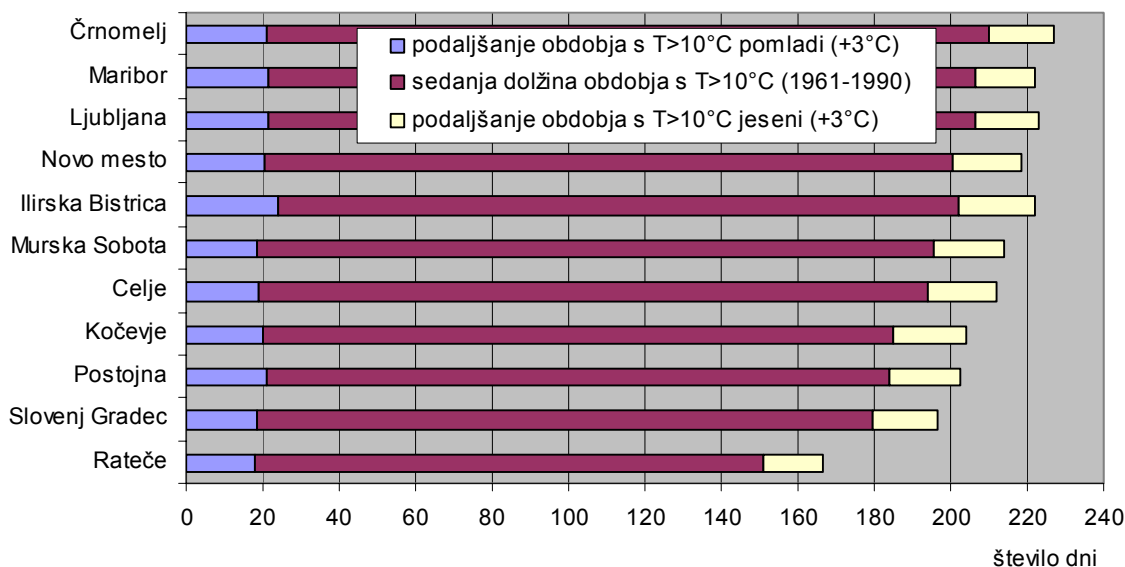
### Določitev regij in izbor podatkov

V raziskavi smo analizirali vpliv podnebnih sprememb na kmetijstvo v Sloveniji prek spremembe dolžine obdobja nad izbranimi temperaturnima pragoma 5°C in 10°C ter spremenjene velikosti temperaturnih vsot aktivnih in efektivnih temperatur zraka nad pragom 10°C. Pri analizi smo uporabili scenarije bodočega podnebja, ki so bili oblikovani na osnovi rezultatov numeričnih modelov splošne cirkulacije zraka in analize trendov podnebnih spremenljivk v Sloveniji. Od izdelanih okvirnih podnebnih scenarijev za Slovenijo smo uporabili oba srednja scenarija, ki predvidevata porast temperature zraka za +1°C oziroma +3°C. Osnova za analizo so bile povprečne mesečne temperature zraka in metoda linearne interpolacije, vse spremembe so bile računane v primerjavi s obdobjem 1961-1990 (Mekinda-Majaron, 1995). Izračune smo naredili za naslednje meteorološke postaje: Črnomelj, Celje, Ilirska Bistrica, Kočevje, Ljubljana, Maribor, Murska Sobota, Novo mesto, Postojna, Rateče in Slovenj Gradec.

## 7.6.2 VPLIV DVIGA TEMPERATURE ZRAKA NA DOLŽINO VEGETACIJSKE DOBE

V primeru ogrevanja za 1°C nastopi začetek obdobja nad temperaturnim pragom 5°C oz. 10°C spomladi v povprečju za en teden prej ter se jeseni konča 6 dni kasneje. Dolžina obdobja nad temperaturnim pragom 5°C se podaljša za dobrih 5%, nad temperaturnim pragom 10°C pa za 7%. Absolutno podaljšanje vegetacijskega obdobja nad omenjenima pragoma je večje pri nižjih, relativno podaljšanje pa pri višjih geografskih legah. Rezultati pri stopnji ogrevanja 3°C kažejo, da bo začetek obdobja nad temperaturnim pragom 5°C oz. 10°C v povprečju za 20 dni zgodnejši, ter se bo v jeseni to obdobje končalo 18 dni kasneje (graf 7.6.2.1). Za izbrane postaje se dolžina obdobja nad temperaturnim pragom 5°C pri ogrevanju za 3°C podaljša za 16%, nad temperaturnim pragom 10°C pa za 22%.

Graf 7.6.2.1: Podaljšanje obdobja s temperaturami nad 10°C ob dvigu temperature za 3°C na izbranih meteoroloških postajah v primerjavi z obdobjem 1961-1990



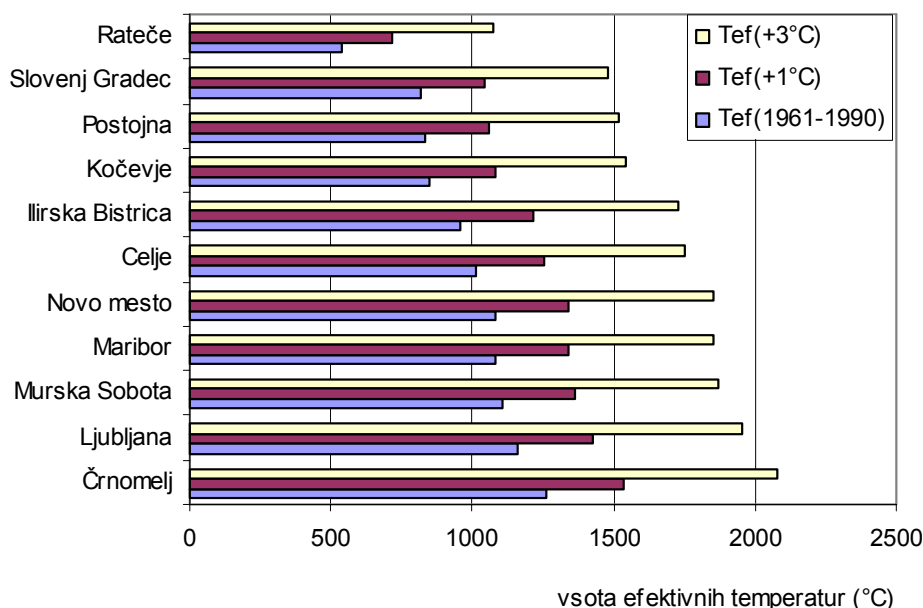
### 7.6.3 SPREMEMBE TEMPERATURNIH VSOT

Poleg same dolžine obdobja s primernimi temperaturami za rast izbrane kmetijske kulture na razvoj močno vpliva tudi količina akumulirane toplote v rastni dobi. Optimalne temperature za netofotosintezo C<sub>4</sub> vrste rastlin ležijo v temperaturnem intervalu 30-35°C, saj so praviloma k nam prinesene iz subtropskih krajev. Povprečne maksimalne temperature v vegetacijski dobi v Sloveniji zdaj le redko dosegajo te vrednosti. V primeru globalnega ogrevanja pričakujemo, da se bodo zvišale tudi maksimalne dnevne temperature zraka, kar bi pozitivno vplivalo na asimilacijo koruze, sirka ipd. V agrometeorologiji lahko podamo temperaturne razmere na neki lokaciji s temperaturnimi vsotami. Te so eden od pomembnih kazalcev rasti in razvoja rastlin. Akumulirana toplota pri kulturnih rastlinah bistveno vpliva na njihov fenološki razvoj, od časa, v katerem je dosežena potrebna vsota toplote, pa močno zavisi tudi kvaliteta pridelka. Temperaturne vsote lahko dobimo z enostavnim seštevanjem pozitivnih povprečnih dnevniških temperatur zraka, torej od datuma, ko je presežena temperatura praga 0°C; to so t.i. vsote aktivnih temperatur. Če pa vsote računamo od prestopa kakšne višje temperature praga, od povprečne dnevne temperature zraka odštevamo temperaturo praga, ki v tem primeru predstavlja biološki temperaturni minimum, so to t.i. vsote efektivnih temperatur.

Analizirali smo vpliv klimatskih sprememb na spremenjene velikosti temperaturnih vsot aktivnih in efektivnih temperatur zraka nad pragom 10°C v Sloveniji. V primeru ogrevanja za 1°C se vsote aktivnih temperatur povečajo za povprečno 14%, kar znaša v absolutni skali okrog 390°C, pri ogrevanju za 3°C pa je relativna razlika 38% (absolutna okrog 1100°C). Relativno povečanje narašča, absolutno povečanje pa pada z naraščajočo nadmorsko višino. Učinek povprečnega ogrevanja za 1°C je, da se vsote efektivnih temperatur nad pragom 10°C povečajo za povprečno 26% (kar znaša v absolutni skali 250°C), pri ogrevanju za 3°C pa je relativna razlika okrog 77%, kar znaša v absolutni skali približno 730°C (graf 7.6.3.1).



Graf 7.6.3.1: Spremembe vsot efektivnih temperatur nad temperaturo praga 10°C ob povečanju temperature za 1°C oziroma 3°C na izbranih meteoroloških postajah v primerjavi z obdobjem 1961-1990



Potencialno bi v Sloveniji torej lahko gojili tudi rastline, ki imajo večjo potrebo po toploti, kot so na primer tobak, bombaž, lubenice, kivi, ali pa današnji izbor sort tudi na višjih geografskih legah. Zavedati pa se moramo, da utegnejo biti višje temperature zraka, še posebej v juliju in avgustu, združene tudi z neugodnimi pojavi meteorološke ali celo fiziološke suše. Do pozitivnih učinkov bo lahko prišlo le v primeru, če drugi rastni dejavniki ne bodo v primanjkljaju.

#### 7.6.4 VPLIV DVIGA TEMPERATURE ZRAKA NA DOLŽINO RASTNE DOBE PRI NEKATERIH KMETIJSKIH RASTLINAH

Pričakovan porast temperature bo povzročil hitrejšo stopnjo razvoja in tako skrajšal dolžino rastne dobe. Trajanje rastne dobe naj bi se po predvidevanjih ob podvojitvi koncentracije ogljikovega dioksida pri žitih skrajšalo za 15-30 dni, odvisno od klimatskega scenarija, s tem da napovedi kažejo večje skrajšanje v centralni in vzhodni Evropi (4 tedne) kot v zahodni Evropi (3 tedne) (Watson, 1998). Skrajševanje rastne dobe, torej števila dni od vznika oz. začetka rasti do zrelosti, in s tem povezano prezgodnje dozorevanje pridelkov, lahko smatramo za negativno posledico globalnega ogrevanja. Prehiter prehod rastlin iz vegetativne v generativno fazo pomeni manj dni na voljo za asimilacijo in s tem potencialno manjšo listno površino, kar vpliva na velikost pridelka (Morison, 1996). Pogosto se previsokim temperaturam pridružijo tudi sušne razmere, kar še dodatno zmanjšuje rastlinsko pridelavo (Kajfež-Bogataj in Bergant, 1998; Bergant in Kajfež-Bogataj, 1998).

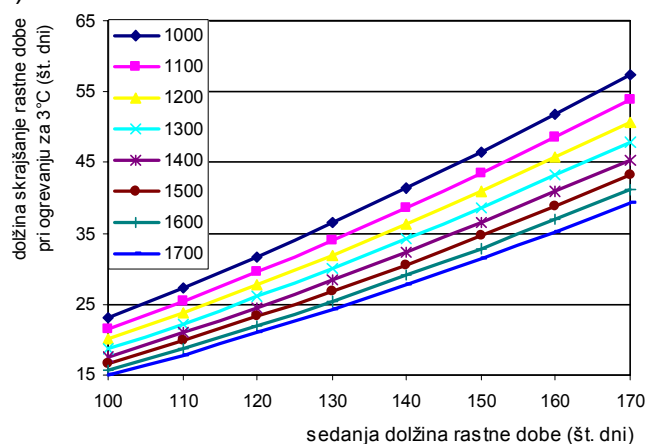
Skrajševanje rastne dobe, kot posledico naraščanja temperature zraka, smo proučevali na primeru jarih in ozimnih žit, hibridov koruske, hmelja in vinske trte. Na grafih 7.6.4.1 so prikazane ocene zmanjšanja števila dni od setve oz. začetka rasti do zrelosti v odvisnosti od velikosti ogrevanja (+3°C), potrebne vsote akumuliranih efektivnih temperatur nad temperaturo praga 10°C in sedanje dolžine rastne dobe. V tabeli 7.6.4.1 je kot primer podano skrajšanje rastne dobe (število dni) pri jarih žitih pri ogrevanju za 1°C glede na različne dolžine sedanje rastne dobe oziroma vsote akumuliranih efektivnih temperatur.

Tabela 7.6.4.1: Skrajšanje rastne dobe (število dni) pri jarih žitih pri različnih dolžinah rastne dobe in vsotah efektivnih temperatur ob ogrevanju za 1°C

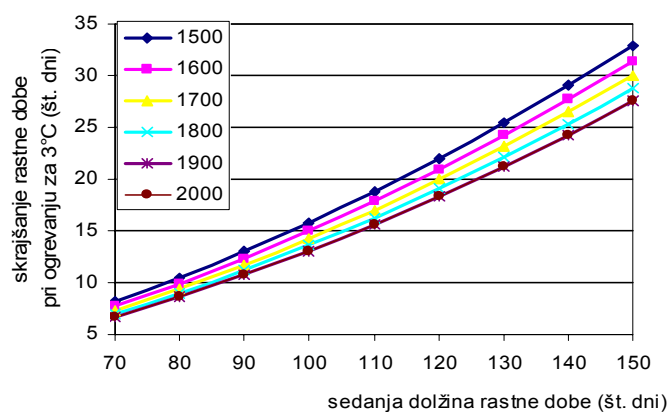
potrebna vsota akumuliranih efektivnih temperatur					
sedanja dolžina rastne dobe	1600°C	1700°C	1800°C	1900°C	2000°C
70 dni	3	3	3	2	2
80 dni	4	4	3	3	3
90 dni	5	5	4	4	4
100 dni	6	6	5	5	5
110 dni	7	7	6	6	6
120 dni	8	8	8	7	7
130 dni	10	9	9	8	8
140 dni	11	11	10	10	9
150 dni	13	12	12	11	10

Grafi 7.6.4.1: Skrajšanje rastne dobe (število dni) pri a) koruzi, b) jarih žitih, c) hmelju in d) vinski trti glede na različne dolžine sedanje rastne dobe in različne vsote akumuliranih efektivnih temperatur (v°C) pri ogrevanju za 3°C

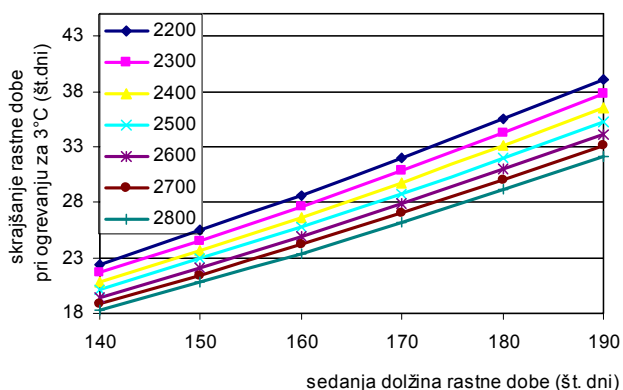
a) koruza



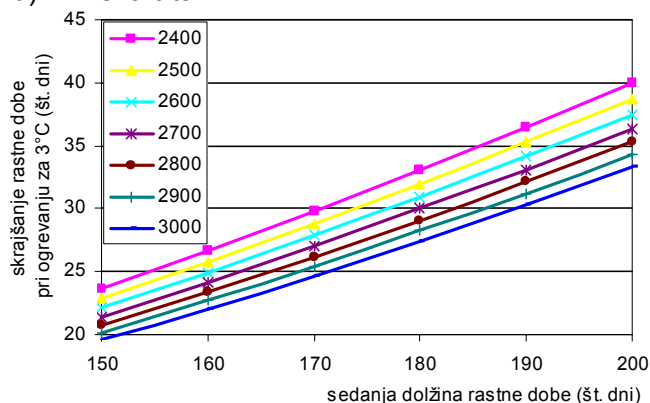
b) jara žita



c) hmelj



d) vinska trta



Rastna doba za koruzo v slovenskih razmerah traja med 150 do 160 dni (Tajnšek, 1991), skrajševanje rastne dobe za hibride, ki potrebujejo za svoj razvoj med 1600°C in 1700°C (efektivne temperature) pa znaša pri stopnji ogrevanja za 1°C približno 2 tedna, pri 3°C pa že med 4 do 5 tednov (grafi 7.6.4.1). Ob ogrevanju za 1°C bo skrajšanje rastne dobe pri jarih žitih najmanjše (2-3 dni) pri tistih sortah, ki imajo že sedaj najkrajšo rastno dobo (70 dni), skrajšanje pa je odvisno od potrebne količine akumulirane toplote, ki jo posamezna sorta potrebuje za svoj razvoj od vznika do zrelosti (Tajnšek, 1988). Pri tistih jarinah z najdaljšo rastno dobo (150 dni) je skrajšanje rastne dobe ob segrevanju za 1°C ocenjeno na 10 do 13 dni, pri dvigu temperature za 3°C pa izračuni kažejo na skrajšanje rastne dobe do 4 tedne pri sortah, ki imajo največje toplotne zahteve. Ocene skrajševanja rastne dobe pri ozimnih žitih, ki imajo rastno dobo med 200 in 290 dnevi, kažejo na bistveno večje razlike kot pri jarih žitih. Skrajševanje rastne dobe pri hmelju pri stopnji ogrevanja za 1°C za kultivarje, katerih rastna doba se giblje med 150 in 160 dni, in ki potrebujejo vsoto aktivnih temperatur zraka med 2400°C in 2500°C (npr. kultivar 'Savinjski golding'), znaša od 9 do 10 dni, pri stopnji ogrevanja 3°C pa že 23 do 27 dni. Vinska trta ima za svoj razvoj večje toplotne zahteve kot večina ostalih kmetijskih rastlin pri nas, pri ogrevanju za 1°C pa bo znašalo skrajšanje obdobja od začetka rasti do zrelosti 1-2 tedna pri sortah z rastno dobo med 150 in 200 dnevi ter vsoto potrebnih aktivnih temperatur med 2300°C in 3000°C. V primeru dviga temperatur za 3°C izračuni kažejo na precejšnje skrajšanje rastne dobe in sicer med 3 tedni za sorte z najkrajšo rastno dobo do približno 5 tednov za tiste z najdaljšo rastno dobo.

Omenjeni izračuni nam omogočajo tudi interpolacije med vrednostmi in so uporabni za oceno skrajševanja rastne dobe tudi za druge kmetijske rastline (npr. krompir, sadno drevje, sojo, ajdo...). Pospešen fenološki razvoj (zgodnejše olistanje, cvetenje, dozorevanje) je v izjemnih primerih lahko dobrodošel (na primer gojenje zelenjave ali rezanega cvetja), vendar njegovi negativni učinki prevladajo. Omenimo naj le neprecenljive škode zaradi zadnjih pomladnih slan, ki nastanejo v času, ko se je vegetacija zaradi milih zim predčasno razvila. Globalno ogrevanje bo spremenilo toplotne karakteristike na večini kmetijsko zanimivih območij v Sloveniji. Zaradi višjih temperatur zraka bo nastopil začetek vegetacijskega obdobja spomladi zgodneje in se jeseni končal pozneje glede na sedanje razmere (Kajfež-Bogataj in drugi, 1999; Kajfež-Bogataj, 2000). Zaradi večje količine akumulirane toplote tekom rasti bo stopnja razvoja hitrejša, kar bo vplivalo na skrajševanje rastne dobe. Skrajševanje rastne dobe, torej števila dni od setve do žetve, in s tem povezano prezgodnje dozorevanje pridelkov lahko smatramo za negativno posledico globalnega ogrevanja. Prehiter prehod rastlin iz vegetativne v generativno fazo pomeni manj dni na voljo za asimilacijo in potencialno manjšo listno površino in zato manjši pridelek. Negativen vpliv ima predvsem skrajšanje faze polnjenja zrna pri žitih. To dogodek pospeši staranje listov, posledica česar je zmanjšanje proizvodnje asimilatov, kar se odraža v manjših zrnih in s tem v manjšem pridelku in slabši pekarski kakovosti. Posledica prehitrega dozorevanja torej ni le spremenjena količina temveč tudi kakovost pridelka. Še posebej prizadeta utegnejo biti jara žita in tisti rastlinski tipi, ki imajo že zdaj razmeroma kratko rastno dobo. Zgodnejši začetek vegetacije bo lahko povzročil tudi pogostejše škode zaradi spomladanskih pozeb, prav tako pa bo krajša rastna doba predvidoma vplivala na potencialno manjšo listno površino in s tem manjši pridelek.

## 7.7 NEGOTOVOSTI OCENE

Vpliv klimatskih sprememb na kmetijstvo v Sloveniji bo vsekakor zelo kompleksen, zato so pričujoči rezultati le grobe ocene možnih učinkov. Večina ugotovitev, ki so povzete iz svetovne literature, je podprtih z ekperimentalnimi meritvami in je zato njihova negotovost manjša kot pri tistih ugotovitvah, ki so plod modelskih simulacij. Še zlasti negotove so ocene vplivov ekstremnih vremenskih dogodkov, ki lahko v kmetijstvu povzročijo veliko gospodarsko škodo.

Izračunane spremembe dolžine vegetacijske dobe, rastne dobe in spremembe akumulirane toplote so dokaj objektivne, vendar prikazane le za manjše število lokacij v Sloveniji. Za bolj natančne ocene odzivov posameznih rastlin na spremembe klime bi potrebovali večletne ekofiziološke raziskave, v katerih bi proučevali odzive in prilagodljivost naših rastlin na povečane koncentracije CO<sub>2</sub> in na pričakovane spremembe klime; s pomočjo rezultatov teh raziskav pa bi žlahtnitelji lahko že začeli z vzgojo novih, prilagodljivejših sort.

## 7.8 NABOR IN PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV

Slovenija se kot podpisnica Okvirne konvencije ZN o spremembi podnebja še premalo zaveda pomena podnebnih sprememb. Vlada je sprejela prvo državno poročilo za Konferenco pogodbenic in ustrezno politiko za zmanjšanje obremenjevanja ozračja. V prihodnje pa bo nujno upoštevati posledice podnebnih sprememb pri prostorskem načrtovanju in rastlinski pridelavi. Tako bo tudi v kmetijstvu za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov potrebno uvesti energetske učinkovite metode.

Ker sta vreme in klima sta odločujoča dejavnika pri kmetijski pridelavi, je nujna bolj gosta agrometeorološka mreža ter vključevanje v svetovni meteorološki opazovalni sistem. Za neposredne odzive in prilagoditve kmetijske pridelave na podnebno spremenljivost pa je potrebno meriti trenutne vremenske razmere tudi neposredno v bližini polj in sadovnjakov in se nanje odzvati s škropljenjem, namakanjem, gnojenjem, oroševanjem ipd.

Pri rastlinski pridelavi bo treba uvesti določene prilagoditve. Te so zlasti: sprememba datuma setve, spremenjeni kultivarji (zamenjava zgodnejših sort s poznimi), namakanje ali izbira sort, ki na sušo niso občutljive ter verjetno intenzivnejše gnojenje za kompenzacijo skrajšane rastne dobe in potencialen vodni stres. Glede varstva rastlin pred boleznimi in škodljivci lahko zaključimo, da bo moč le z dobro opazovalno mrežo slediti povečanemu številu infekcij ali večjemu številu razvojnih krogov škodljivcev in z ustreznimi prognoznimi modeli napovedati ustrezen čas in način ukrepanja. Zavedati pa se moramo, da bodo predvidoma višje temperature zraka v prihodnosti vodile do ugodnejših razmer za obsežnejši in hitrejši razvoj bolezni in škodljivcev. Zato se bodo povečali tudi stroški varstva rastlin pred škodljivci in boleznimi ter verjetno tudi celotne rastlinske pridelave.

Vsi prilagoditveni ukrepi ekonomsko niso enakovredni. Sprememba datuma setve na zgodnejši termin je povezana s tveganjem zaradi poznih pomladnih slani, namakanje pa je verjetno predrago. Zato je priporočljivo razmišljati o novih kultivarjih in o spremenjeni gnojilni praksi. Možne prilagoditve gre iskati tudi v novih tehnologijah, ki se bodo še dodatno razvile v prihodnjih desetletjih. Omenimo naj samo biotehnologijo, ki bo lahko rastlinske vrste prilagodila na nove razmere v okolju. Obnašanje transgenih rastlin pa je danes težko napovedovati. Za popolnejše razumevanje vplivov klimatskih sprememb na kmetijske rastline potrebujemo veliko znanja in pa tudi primerno metodologijo (simulacijski modeli, eksperimentalni podatki ipd.). Vsekakor nas čaka na tem področju še mnogo interdisciplinarnega dela.

## 7.9 VPLIVI KLIMATSKIH SPREMEMB NA GOZDNE EKOSISTEME

### 7.9.1 OZADJE PROBLEMATIKE IN OSNOVNA STALIŠČA

Gozdovi in ostali naravni ekosistemi (resave, močvirja) prenesejo določena podnebna nihanja. Gozdni ekosistemi, prilagojeni na določeno lokacijo, imajo zaznavno kapaciteto, da se prilagajajo zunanjim spreminjajočim se vplivom. Vendar pa imajo gozdovi dolgo življensko dobo in številne počasne rastne procese, zato so izpostavljeni povečanemu tveganju zaradi dolgotrajnega seštevanja različnih vplivov - npr. onesnaževanja (Dale in sod., 2001) .

Sposobnost prilagoditve gozda, še posebej gozdnih področij vzdolž ekoloških mej razporeditve drevesnih vrst, je lahko zmanjšana zaradi hitrosti možnih podnebnih sprememb. To se nanaša še posebej na vse iglaste sestoje na območjih z visokim tveganjem, kot so npr. suha območja; tveganje je večje za gozdove, ki so bili poškodovani zaradi onesnaženih tal ali zraka. Ekstremni dogodki, ki bi lahko bili pogostejši kot rezultat podnebnih sprememb, kot npr. Nevihte, suše, gozdni požari, viharji (Peterson, 2000), epidemije škodljivcev (Ayres in Lombardero, 2000) - lahko še poslabšajo stanje v takih gozdovih (Overpeck in sod., 1990). V ekstremno onesnaženih ali občutljivih področjih lahko pride tudi do popolnega propada gozda; posebno nevarno je, če gre za varovalni gozd.

Na sliki 7.9.1 so prikazani medsebojni vplivi podnebja na gozdne ekosisteme. Glavne povratne zveze do podnebja delujejo preko sprememb v listu in strukturi krošnje, kar vpliva na prenose energije in mase – od tod sprememba v površinskem sevanju in zalogi energije in prispevek k regionalni klimi. Spremembe v aktivnosti talnih organizmov in vegetacije kot posledica podnebnih spremembam, lahko vplivajo na količino izdanega in vezanega CO<sub>2</sub> in drugih toplogrednih plinov. Povezave med temi sistemi še niso popolnoma raziskane, so pa zelo pomembne.

Možne odgovore gozdnih ekosistemov na spremembo podnebja lahko razvrstimo v naslednje grupe:

- **Spremembe v lokaciji gozda** – s spremembo podnebja se lahko obširni gozdovi z značilnostmi mnogih vrst premaknejo na nove lokacije.
- **Spremembe v sestavi gozda** – sestava vrst v nekaterih gozdovih je danes različna kot v preteklosti. Skozi čas so posamezne vrste spremenile svoja območja z veliko stopnjo neodvisnosti. Na primer, območja vrst so se spremenila z različno hitrostjo v različne porazdelitvene vzorce, velikost populacije se je povečevala in zmanjševala. Ti procesi lahko pripomorejo k novim kombinacijam vrst in razredom gozdov.
- **Spremembe v produkciji gozda** – podnebne spremembe bodo spremenile časovne hode temperature in padavin, to je faktorje, ki imajo velik vpliv na produkcijo gozda. Povišana koncentracija CO<sub>2</sub> v atmosferi bo lahko vplivala na vodno bilanco rastlin in hitrost fotosinteze, ki bo tudi vplivalo na gozdno produkcijo (Karnosky in sod.,2001).

### 7.9.2 RANLJIVOST GOZDA V SLOVENIJI

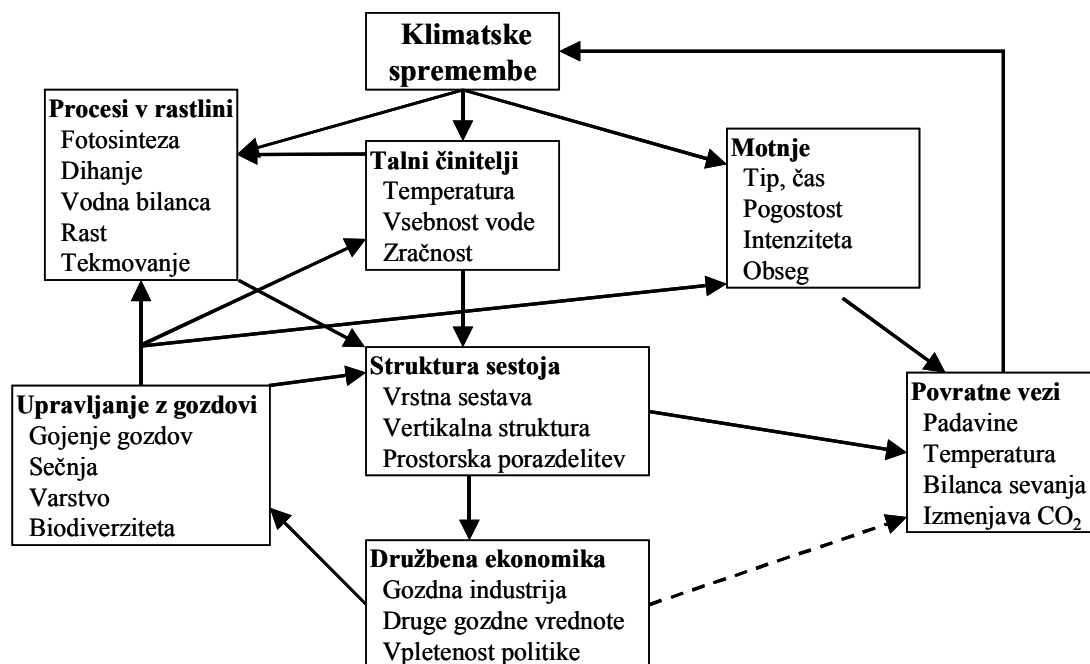
Za Slovenijo, ki je izjemno gozdnata dežele, je izjemno pomembno kako se bodo gozdni ekosistemi odzvali na spremembe podnebja. Prve ocene, povezane s številnimi negotovostmi, so naslednje:

Slovenija ima različne gozdno-ekološke strukture, zato bodo prostorske posledice sprememb podnebja različne. V pasu listopadnega in mešanega višinskega gozda je verjetno, da bodo podnebne spremembe znotraj meje tolerance obstoječega gozda. Slabše možnosti za

prilagoditev bodo v čistih gozdnih sestojih (npr. smrekov gozd) in v izoliranih gozdovih z revnejšimi pogoji okolja (sušni predeli, slaba tla, nagnjenost terena). Domnevamo, da bodo najprej in najbolj prizadeti iglavci, predvsem jelka in smreka. Deleža teh dveh vrst v lesni zalogi naših gozdov nista majhna (delež smreke 33%, jelke 10%). Lahko pričakujemo znatno škodo v slovenskih gozdovih, vendar bodo učinki zaradi orografskih modifikacij močno diferencirani in zato tudi poškodbe. Prizadeta bodo tudi jelovja in jelova bukovja iz kolinskega in submontanskega pasu ( $\approx 10\%$  površine naših gozdov). Z manjšo intenzivnostjo in s časovnim zamikom, bi se poškodbe širile tudi v montanski, altimontanski in subalpinski pas (Kajfež-Bogataj in sod., 1999).

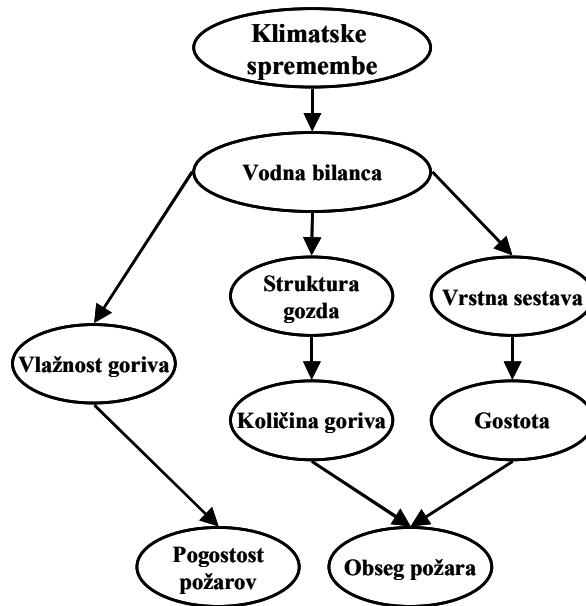
Hkrati s spreminjanjem drevesne sestave gozdov, se bodo spreminjale tudi splošne razmere v gozdnih ekosistemih (floristična sestava, kvantitativna razmerja med rastlinami, produkcija, energijski tokovi idr.). Povečana bo požarna ogroženost gozdov (Dimitrov, 1999) v kolinskem, submontanskem in spodnjem delu montanskega pasu (slika 7.9.2.2). Kvantitativna ocena ekonomskih posledic zaradi številnih negotovosti zaenkrat še ni možna, najverjetneje pa se bo obseg stroškov (sanitarni poseki, dodatna vlaganja pri varstvu, zaščiti in gojenju gozdov) pri gospodarjenju z gozdovi povečal.

Slika 7.9.1 Shema vplivov podnebne sprememb na gozd in možne povratne vezi (Cramer in sod., 2000)



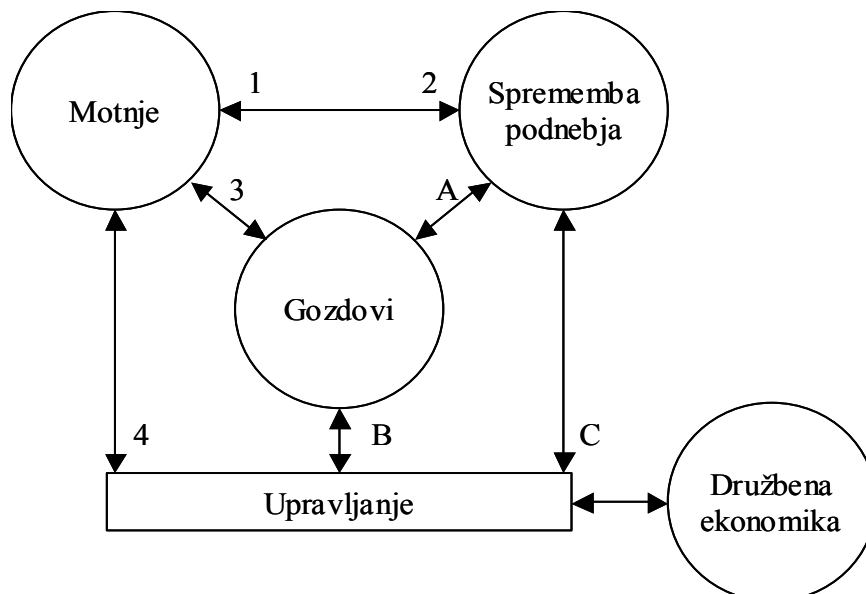
Prilagoditveni ukrepi naj bi ohranjali gozdno vegetacijo z ukrepi za povečevanje dinamike gozda. Nujno je preprečevanje zaviranja progresivne gozdne sukcesije na opuščeni kmetijskih zemljiščih, preusmerjanje umetne obnove gozdov od iglavcev na listavce in s tem v zvezi razvoj novih tehnologij za pridobivanje sadik listnatih drevesnih vrst. Vzpostaviti bo treba protipožarne pasove še zlasti v tistih gozdnatih predelih, kjer predstavljajo iglavci pomemben delež v sestavi in zgradbi gozdnih sestojev (Flannigan in sod., 2000).

Slika 7.9.2: Glavne neposredne in posredne vzajemne povezave med podnebjem, strukturo gozda, vrstno sestavo in požarnim režimom



Zaradi podnebnih sprememb bo v Sloveniji najbolj ogrožena biotska raznovrstnost v gozdnih ekosistemih. Ogroženi bodo skrajni visokogorski habitatni tipi (alpinski in subnivalno rastlinstvo ter živalstvo), ki bodo lahko na tem območju preživel le v ekstremnih razmerah. Ogrožena bodo vsa skrajna rastišča, ki so zatočišče hladnoljubnih vrst. Posebej bodo ogrožena vsi manjši, fragmentirani ostanki ekosistemov, ki ne bodo imeli genetskega, prostorskega in ekološkega potenciala za pomik na novo lokacijo.

Slika 7.9.3: Vzajemno delovanje med spremembo podnebja, motnjami, gozdovi in upravljanjem (Dale in sod., 2001)



Zaključimo lahko, da bodo podnebne spremembe vplivale na gozd neposredno in posredno. Motnje v gozdu so sicer naravni in integralni del gozdnega ekosistema, vendar pa podnebne spremembe lahko spremenijo naravne medsebojne povezave v gozdu, katerih del so tudi motnje (slika 7.9.3). V tem primeru se velikost motenj poveča do take mere, da se lahko pojavijo velike spremembe v gozdni strukturi in funkciji gozda (dale in sod., 2000). Blažitev

posledic podnebnih sprememb je zato močno odvisna od družbene ekonomike oziroma od smotrnega upravljanja z gozdovi.

### 7.9.3 NABOR IN PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV

Podnebnim spremembam se je do neke mere tudi pri gozdu moč prilagoditi. Mednje sodi skrb za ohranjanje gozdne vegetacije, preprečevanje zaviranja progresivne gozdne sukcesije na opuščenih kmetijskih zemljiščih kot tudi preusmerjanje umetne obnove gozdov od iglavcev na listavce, pri čemer bo nujno pospeševanje razvoja novih tehnologij za pridobivanje sadik listnatih drevesnih vrst.

Čimprej bo treba pripraviti metodologije za kategorizacijo gozdnih sestojev in njihovih rastišč po občutljivosti na napovedane klimatske spremembe in kartografiranje gozdnih sestojev in njihovih rastišč glede na njihovo občutljivost na napovedane podnebne spremembe.

Zaradi povečane požarne ogroženosti gozdov je smiselno načrtovati, vpostaviti in vzdrževati ustrezne protipožarne pasove še zlasti v tistih gozdnatih predelih, kjer predstavljajo iglavci pomemben delež v sestavi in zgradbi gozdnih sestojev. Nujna bi bila tudi usmeritev nege lesnih zalog k njihovem povečevanju. Večja gozdna fitobiomasa bo vezala več ogljika, ki bi sicer kot ogljikov dioksid v ozračju povečeval učinek tople grede. Koristni bi bili tudi vsi ukrepi za povečevanje dinamike gozda, čeprav je stopnja naravnosti gozda oziroma naravno prilagojenega gozda je pri nas v splošnem visoka.

## 7.10 VIRI

- Ayres, M.P., Lombardero M.J. 2000. Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The science of the total environment*, 262:263-286
- Beniston M., Fox D.G. 1996: Impacts of Climate Change on Mountain Regions. In *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the IPCC* (R.T. Watson, M.C. Zinyowera, and R.H. Moss, Eds.), Cambridge University Press, New York: 191-213.
- Bergant K., Kajfež-Bogataj L. 1998. Možen vpliv klimatskih sprememb na prostorsko porazdelitev območij s potencialnim primanjkljajem vode v tleh v Sloveniji. *Novi izzivi v poljedelstvu '98: zbornik simpozija, Dobrna, 3-4. december 1998. Ljubljana: Slovensko agronomsko društvo: 136-140.*
- Bergant K., Kajfež-Bogataj L. 1999. Uporaba modelov splošne cirkulacije za izdelavo scenarijev klimatskih sprememb na območju Slovenije. *Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Kmetijstvo (1990), 1999,73,1:177-186.*
- Cramer, W., Doherty R., Hulme M., Viner D. 2000. *ECLAT-2 Workshop report No. 2: Climate scenarios for agricultural, forest and ecosystem impacts. Climatic research unit, Norwich, UK: 120 str.*
- Dale, V.H., Joyce L.A., McNulty S., Neilson R.P., Ayres M.P., Flannigan M.D., Hanson P.J., Irland L.C., Lugo A.E., Peterson C.J., Simberloff D., Swanson F.J., Stocks B.J., Wotton B.M. 2001. Climate change and forest disturbances. *BioScience*, 51:723-734
- Dale, V.H., Joyce L.A., McNulty S., Neilson R.P. 2000. The interplay between climate change, forest, and disturbances. *The science of the total environment*, 262:201-204
- Dimitrov, T. 1999. Gozdni požari in otoplitev na svetu. *Ujma*, 13:270-274
- Flannigan M.D., Stocks B.J., Wotton B.M.. 2000. Climate change and forest fires. *The science of the total environment*, 262:212-229
- Harrison P. A., Butterfield, R. E., Downing, T. E. 1997. Climate change and agriculture in Europe – Assessment of impacts and adaptations, A summary report, European Communities, Luxembourg: 37 p.
- Hughes L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already. *Tree*, 15(2):56-61.
- Kaiser H. M. in Drennen T. E. 1993. *Agricultural dimensions of global climate change. Delray Beach, St. Lucie Press: 311 str.*
- Kajfež-Bogataj L. 1998: Potential crop shift to higher altitude in Slovenia due to climate change. *Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama. Zagreb. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti: 143-152.*
- Kajfež-Bogataj L. 2000. Vpliv globalnega ogrevanja na trajanje vegetacijskega obdobja in temperaturne vsote. *Novi izzivi v poljedelstvu 2000: zbornik simpozija, Moravske Toplice, 14-15. december 2000. Ljubljana: Slovensko agronomsko društvo: 54-60.*
- Kajfež-Bogataj L., Bergant K. 1998: Klimatske spremembe in njihov vpliv na kmetijstvo. *Zbornik simpozija Novi izzivi v poljedelstvu 1998, Dobrna, s.130-135.*



- Kajfež-bogataj I., Bergant K., Zupančič B., Črepinšek Z., Matajč I., Leskovšek M., Gomboc S., Robič M., Bizjak A., Rogelj D., Uhan J., Skoberne P., Cegnar T in Hočevar A. 1999. *Ocena ranljivosti in strategija prilagoditve ekosistemov na spremembo podnebja v Sloveniji*, Ljubljana Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za agrometeorologijo: 250 str.
- Karnosky D.F., Ceulemans R., Scarascia-Mugnozza G.E., Innes J.L. 2001. The impact of carbon dioxide and other greenhouse gases on forest ecosystems. Report no. 3 of the IUFRO task force on environmental change. CABI publishing in association with IUFRO: 352 str.
- McCarthy J. J., Canziani O. F., Leary N. A., Dokken D. J. in White K. S. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge, Cambridge University Press: 1032 str.  
URL = [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg2/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm)
- McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J., White K.S. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press: 1032 str.
- Mekinda-Majaron T. 1995: *Klimatografija Slovenije 1961-1990: Temperatura zraka..* Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana: 356 s.
- Miller, C., Urban D.L. 1999. Forest patterns, fire, and climatic change in the Sierra Nevada. *Ecosystems*, 2:76-87
- Morgan, M.G., Pitelka L.F., Shevliakova E.. 2001. Elicitation of expert judgments of climate change impacts on forest ecosystems. *Climatic change*, 49:279-307
- Morison J.I.L. 1996. Climate change and crop growth. *Environmental Management and Health*, 7, 2: 24-27.
- Muriel P., Downing T., Hulme M., Harrington R., Lawlor D., Wurr D., Atkinson C. J., Cockshull C. E., Taylor D. R., Richards A. J., Parsons D. J., Hillerton J. E., Parry M. L., Jarvis S. C., Weatherhead K. in Jenkins G. 2000. *Climate change and agriculture in United Kingdom*. UK, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food: 64 str.  
URL = <http://www.defra.gov.uk/enviro/climate/climchnq.htm>
- Olesen J. E. in Bindi M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16:239-262.
- Overpeck, J.T., Rind D., Goldberg R. 1990. Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature*, 343:51-53
- Paradiž B., Kranjc A. (ur.) 2002. *Prvo državno poročilo Konferenci pogodbenic Okvirne konvencije ZN o spremembi podnebja*. Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Ljubljana: 85 s.
- Parry M. 2000. *Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA Project*. Tehnično poročilo, Norwich, UK, Jackson Environment Institute, Univ. of East Anglia: 320 str.
- Peterson, C.J. 2000. Catastrophic wind damage to North American forests and the potential impact of climate change. *The science of the total environment*, 262:287-311
- Tajnšek T. 1988. *Pšenica*. ČZP Kmečki glas, Ljubljana: 160 str.
- Tajnšek T. 1991. *Koruza*. ČZP Kmečki glas, Ljubljana: 180 str.
- Watson R.T., Core Writing Team. 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press: 389 str.
- Watson R.T., Zinyowera M.C., Moss R.H. 1998. *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*, IPCC WGII. Cambridge University Press, Cambridge: 149-186.

## 8 RANLJIVOST KMETIJSTVA NA SPREMEMBO VODNE BILANCE KMETIJSKIH TAL V SLOVENIJI

### IZVLEČEK

V velikem delu slovenskega ozemlja so kmetijske suše v zadnjem desetletju močno zmanjšale pridelke. V zadnjih letih se pojavljajo tudi na območjih, kjer jih v preteklosti nismo beležili. Pojavljanje suš in njihovo trajanje se povečuje tudi v Sloveniji kljub dejstvu, da velik del ozemlja sodi v klimatsko območje, ki je s padavinami relativno dobro preskrbljeno. Vsekakor je to segment, ki ga podnebna variabilnost prizadeva že danes, projekcije podnebne spremembe pa opozarjajo na povečano ranljivost v prihodnje. V Sloveniji še ni enotnih metodologij in kriterijev za določitev vodnega primanjkljaja ter strategij za rabo tal in obvladovanje suše v pričakovanih podnebnih spremembah. Glede na povečano pogostnost pojava suš v Sloveniji v zadnjem desetletju, v letih 1992, 1993, 1995, 2000, 2001, 2003 si prizadevamo ta pojav primerno ovrednotiti. V pričujoči raziskavi smo ugotavljali vpliv podnebne variabilnosti in pričakovane podnebne spremembe na vodno bilanco tal in kmetijskih rastlin. S tem smo poskušali narediti korak naprej k boljšemu poznavanju obremenjenosti slovenskega prostora s pojavom vodnega primanjkljaja za kmetijske namene. V prvem delu študije smo opredelili konceptualne in operativne osnove določitve suše ter posledice stopnjevanja njene intenzivnosti s hidrološkega, meteorološkega in kmetijskega vidika. Opisana je celotna metodologija izbire meteoroloških podatkov za vodnobilančna vrednotenja za štiridesetletno obdobje (1961-2000). Izhodišča izbire proučevanih območij je bila klimatska, reliefna in edafska raznolikost Slovenije. Na tej podlagi smo celotno območje države razdelili v štiri regije: osrednjo, jugozahodno, severovzhodno in severno Slovenijo. Izbrali smo šest različnih talnih tipov, ki smo jih glede na globino razporedili v pare plitvih, srednje globokih in globokih tal, za rastlino pa smo določili travinje s pripadajočimi fenološkimi karakteristikami in koeficienti rastle. Za vrednotenje primanjkljaja vode smo uporabili slovenski simulacijski namakalno-prognostični model IRRFIB. Statistično smo ovrednotili primanjkljaj in presežek vode v tleh. Opredelili smo normalno stanje preskrbljenosti rastlin z vodo ter zmerno in ekstremno mokro oziroma suho stanje. V nadaljevanju smo obravnavali in ovrednotili relativni potencialni primanjkljaj vode za kmetijske rastline glede na velikost in dolžino trajanja po letih. Glede na dolžino sušnega obdobja smo ga razvrstili v razreda dolgega in ekstremnega primanjkljaja; glede na dolžino pa na zmerno in ekstremno suho oziroma mokro leto. Na koncu smo podatke združili in oblikovali preseke dolžin in jakosti sušnih obdobji ter določili leta z zmerno in ekstremno dolgim in velikim primanjkljajem.

Vzorec let s primanjkljajem se po regijah razlikuje. Na osnovi uporabljenih kazalcev lahko ocenimo, da se je v vegetacijskem obdobju v večjem delu kmetijskih regij v Sloveniji pojavljal dolg primanjkljaj, trajajoč povprečno 35 dni od 7 do 10 krat, ekstremno dolg, povprečno 46 dni trajajoč neprekinjen primanjkljaj pa 4 do 6 krat. Največkrat se dolg in ekstremno dolg primanjkljaj, kot smo pričakovali, pojavi v jugozahodni Sloveniji, kar 16 krat. V maksimalni ekstremni razred, tako po velikosti kot tudi po trajanju, so se uvrstili: leto 1962 v jugozahodni Sloveniji, leto 1992 v osrednji, severovzhodni in osrednji Sloveniji, kjer smo podobno leto beležili tudi leta 1993. Tendenco primanjkljaja vode za vsako posamezno definirano regijo smo ugotovili z analizo trendov velikosti primanjkljaja. Trendi primanjkljajev se med seboj razlikujejo, vendar je za vse regije značilen negativen trend rastlinam razpoložljive vode, kar pomeni, da se primanjkljaj vode povečuje. Najbolj se primanjkljaj povečuje v severni Sloveniji, z relativno spremembo za 19 % na 10 let. Za oceno vpliva podnebnih sprememb na stanje primanjkljaja vode v tleh najbolj ranljivih kmetijskih regij v državi, smo določili hipotetične podnebne scenarije z dvigom temperature zraka za 1 in 3 °C in zmanjšanjem količine padavin za 20 %. Ob vročem in suhem scenariju se bo najbolj povečal ekstremni primanjkljaj vode v severni Sloveniji, kar za 58 %. In prav to, najbolj kritično predvidevanje,

se je tudi v tej regiji uresničilo že v letu 2003, ko smo se srečali z doslej najhujšo kmetijsko sušo, ki je povzročila največji primanjkljaj vode v tleh v Sloveniji in prizadejala kmetijstvu veliko škodo. V raziskavi sta ločeno obravnavana spomladanski in poletni del kmetijske suše 2003. Primanjkljaj vode za rastline v času od začetka marca do zadnjih dni avgusta 2003 je dosegel ekstremno vrednost zadnjih petdeset let. Možna prilagoditev za kljubovanje obstoječi podnebni variabilnosti in bodočim podnebnim spremembam je v pripravi preventivnih ukrepov za prilagajanje suši v kmetijstvu.. Prostorsko ločljivost analiz kmetijskih suš bi poleg zemeljskega monitoringa bistveno izboljšala tudi uporaba satelitskih posnetkov visoke ločljivosti, radarskih posnetkov in drugih produktov daljinskega zaznavanja. Zato so interdisciplinarne raziskave na tem področju nujne.

## 8.1 OZADJE PROBLEMATIKE IN OSNOVNA STALIŠČA

Podnebje določa naravno prilagoditev ekosistemov na določenem območju in je glavni dejavnik, ki vpliva tudi na prostorsko porazdelitev kmetijskih sistemov. Ti so ranljivi na medletna nihanja, na ekstremne vremenske dogodke, ranljivi pa so tudi na spremembe vzorca podnebja na določenem območju. Ekstremni podnebni dogodki, kamor sodi tudi suša, vplivajo na planiranje rabe tal, na stalnost in stroške pridelave, na potrebe po namakanju, na pojav bolezni in škodljivcev, na marketing ter na številne druge socialnoekonomske indikatorje (Ogallo, 2000).

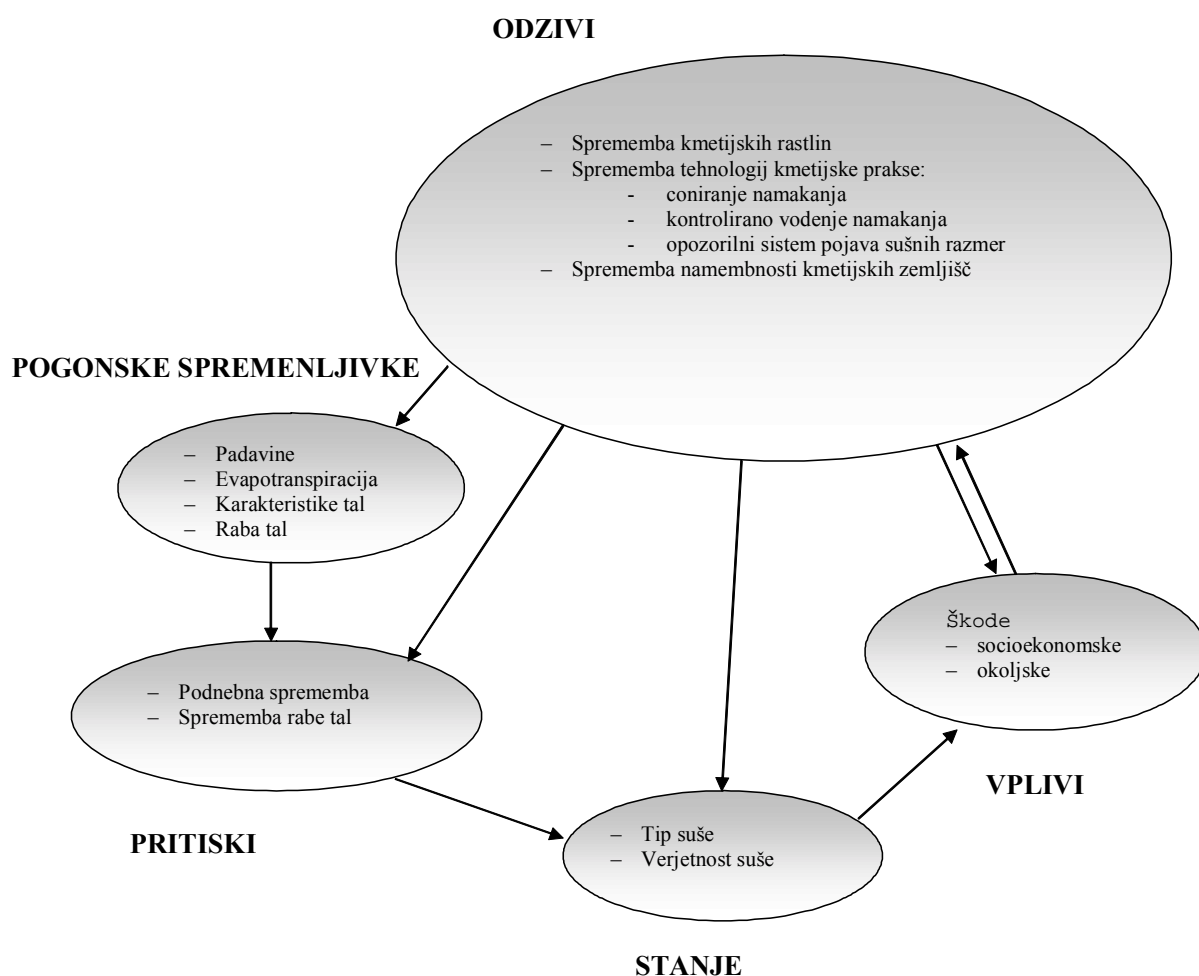
Trajnostna pridelava hrane in rast ter razvoj rastlin so med najbolj ranljivimi področji, saj so bili, in bodo v prihodnje še bolj odvisni od razumne uporabe vodnih virov. Oskrba z vodo postaja v zadnjem desetletju vse bolj problematična tudi v regijah, kjer se s tem problemom v preteklosti nismo srečevali. Ranljivost kmetijskih sistemov je na medletna nihanja večja v tistih deželah, kjer je kmetijska pridelava vezana na padavine in še nimajo vzpostavljenih tehničnih prilagoditev.

Z naraščajočo intenzivnostjo kmetijske pridelave bo potreba po učinkoviti in pravilni izrabi vode še večja. Povečana učinkovitost porabe vode vključuje zadrževanje padavin za sušna obdobja, optimizacijo vodnih izgub pri namakanju, oziroma privzemanje kmetijske prakse, ki bo povečala produktivnost na enoto vode.

Na spremembe pogostosti in intenzivnosti ekstremnih vremenskih razmer kot posledice variabilnosti podnebja, že dalj časa opozarjajo ugotovitve Okoljskega programa Združenih narodov. Za spremljanje globalnega stanja okolja so bili že vzpostavljeni številni mehanizmi monitoringa in podatkovnih baz že obstoječih nacionalnih meteoroloških in hidroloških služb. V ta program se s svojimi podatki vključuje tudi Agencija za okolje RS. Z ustanovitvijo Medvladnega panela o podnebni spremembi (IPCC) leta 1988 pa se je vzpostavilo telo, ki skrbi za poročanje, razvoj metodologij in številnih produktov ter informacij, ki so podlaga za strateške odločitve, znanstvene raziskave in na voljo ekspertnemu delu v posamezni državi. Njihove zadnje napovedi niso najbolj obetavne, tudi s stališča vodne bilance in pojava suš ne. Na zasedanju Komisije za agrometeorologijo (CAgM) Svetovne meteorološke organizacije (WMO) v Ljubljani je bila poudarjena resna skrb o razširjenem pojavu suš v zadnjem desetletju. Tudi projekcije spremembe podnebja napovedujejo povečanje pogostnosti meteoroloških suš v določenih regijah. Naraščajoči trend izpadov pridelkov zaradi suše se opaža v razvitih in nerazvitih deželah. Poročilo CAgM (WMO, 2003) priporoča posebno pozornost zmanjšanju tveganja v povezavi s pojavom suš. Za zmanjševanja posledic suše v prvi vrsti poudarjajo pomen planiranja in izboljšanja operativnih sposobnosti in ublažitvenih ukrepov. V povezavi s tem CAgM poudarja pomen poznavanja klimatologije suše v ranljivih regijah (verjetnost suš različnih stopenj intenzivnosti ter trajanja) ter vzpostavitev splošnega integriranega sistema zgodnjega opozarjanja. Sistem naj bi vključeval podnebje, tla in dejavnike vodne oskrbe kot so padavine, temperatura, voda v tleh,

snežno odejo, rezervoar in nivo jezer, nivo podtalnice, vodotoki,.. Komisija je tudi poudarila, da je potrebno v državah vzpostaviti sistem upravljanja s sušo in nenazadnje vzpostaviti regionalne mreže za vodenje pripravljenosti na sušo. Plan suše in upravljanja z njo lahko predstavlja ogrodje za izboljšano koordinacijo znotraj vladnih inštitucij ter med različnimi nivoji vladnih inštitucij. CAgM spodbuja tudi izdelavo agrometeoroloških študij za oceno potencialov in ovir v kmetovanju v obstoječi in predvideni podnebni variabilnosti, opcije za varno povečanje intenzivnosti pridelave, zmanjšanje tveganja in tudi za zmanjševanje degradacije zemljišč. Na ta način je tveganje zaradi suše bolj natančno definirano in s tem uporabno za izdelavo dobrih programov preventivnih aktivnosti in programov odziva (slika 8.1.1).

Slika 8.1.1: Povezanost dejavnikov, ki vplivajo na pojav in odziv pri ovrednotenju suše



Glavni delež globalnih vodnih virov je uporabljen za produkcijo hrane. Po podatkih FAO je ocena letnih minimalnih vodnih potreb na prebivalca  $1200 \text{ m}^3$ , od tega  $1150 \text{ m}^3$  za pridelavo hrane (Smith, 2000). Kmetijstvo je v primerjavi z ostalimi gospodarskimi panogami glavni porabnik vode tudi v Evropi (30 % skupne porabe vode v članicah Evropske skupnosti) (EEA, 2000).

Padavine prispevajo 65 % h globalni produkciji hrane, medtem ko voda za namakanje predstavlja preostalih 35 %. V večjem delu sveta so vsaj del leta padavine nezadostne za kmetijsko pridelavo, zato na količino in kakovost pridelke vpliva variabilnost padavin. Namakanje je le ena od rešitev za stalnost rastlinske pridelave. V zadnjih 30-ih letih so se globalno povečale površine z namakanjem, še posebno v obdobju sedemdesetih in osemdesetih let. Ekspanzija se je postopno zmanjševala zaradi prevelike izrabe površinske

in podtalne vode, ponekod celo do kritičnih stopenj. Prilagajanje novim podnebnim razmeram je v Evropi vidno kot naraščanje namakanih kmetijskih površin od 1980 do 1996 za okrog 15 odstotkov, še posebno v južni Evropi (EEA, 2000). To je le eden od načinov zmanjševanja tveganja kmetijske pridelave v pričakovanih podnebnih spremembah, saj bodo spremenile tudi namakalno shemo kmetijske pridelave. Različni namakalni in vodnobilančni modeli zahtevajo različne vhodne podatke in postopke obdelave podatkov od zelo enostavnih do zelo kompleksnih. V Evropi so trenutno na voljo številni namakalni modeli, ki uporabljajo različne metode za izračun evapotranspiracije (porabo vode iz rastlin in tal). Ti modeli so tudi osnova za ovrednotenje kmetijskih suš in tudi baza za pripravo strategij drugih prilagoditev na obstoječe in napovedane podnebne razmere (zamenjava kultur, tehnologij) oziroma za sanacije.

Velik izziv za prihajajoča desetletja bo soočanje s pogostejšim pojavom pomanjkanja padavin v vegetacijskem obdobju rastlin. Suša že sedaj ni redek in slučajen pojav, pač pa se pojavlja kot normalna, ponavljajoča značilnost podnebja. Dalj časa trajajoča obdobja s pomanjkanjem padavin lahko prizadenejo tudi širša območja in povzročijo veliko družbeno stisko, okoljsko škodo in ekonomske izgube (Lloyd-Hughes, 2002).

Povečuje se število držav, ki jih prizadeva pomanjkanje vode. Po podatkih Svetovne meteorološke organizacije (WMO, 2003) smo v zadnjih letih beležili po celem svetu izjemno katastrofalne suše z močno intenzivnostjo in dolgim trajanjem. V poročilih se kar vrsti število ekstremnih vremenskih dogodkov, ki so zaznamovali leto 2002. Združene države Amerike in Avstralijo je v tem letu pestila huda suša in številni neobvladljivi požari. V Južni Afriki je 13 milijonom ljudi grozila katastrofalna suša. Evropa ni med regijami, ki bi bile v preteklosti med najbolj občutljivimi območji, ogroženimi s sušo, vendar se tudi tu v zadnjem obdobju bolj pogosto srečujemo s sušo. Obsežno sušo smo beležili v obdobju 1988-92 v večjem delu Evrope. Neobičajno stabilna vremenska situacija je povzročila pomanjkanje padavin v širšem geografskem območju, spremljale so jo ekstremno visoke temperature tudi v zimskem času. V severovzhodni Nemčiji je suša poleti 1992 povzročila 22 % izpad pridelka.

V obdobju 1990 do 1995 je bilo opazno daljše obdobje suše v Španiji in Portugalski z največjo intenzivnostjo med septembrom 1994 in avgustom 1995. Suša je bila celo takih razsežnosti, da je prišlo do zapiranja hidroelektrarn. Vročje, suho poletje 1992 je težave povzročalo tudi v Bolgariji in na Madžarskem. Tudi v Rusiji so beležili najhujšo sušo v preteklih desetih letih. Leta 1995 so se z vročim poletjem in jesenjo soočili tudi na Irskem, v Angliji, na Švedskem in Norveškem. V letu 1996 je poletna suša zajela celotno Bolgarijo. Nizke vrednosti padavin so bile 1997 v Franciji, Angliji, Portugalski in Nemčiji. Južna Finska je imela ekstremno nizke vodotoke in višino podtalnice v vročem in suhem poletju leta 1999.

Ekstremno vroče in dolgo suho obdobje je zajelo večji del Evrope v letu 2003. Vročinski val in suša sta povzročila milijarde dolarjev izgube v evropskem gospodarstvu, ne samo na področju kmetijstva, ampak tudi transporta po rekah, energetiki. Tudi s Hrvaške so poročali o najnižjih nivojih rek Save, Drave, Kolpe in Donave. Po podatkih Rezervata Donavske Delte se je osušilo 10 % mokrišč, izhlapelo pa je tudi 40 % vode v sami delti. Zaradi nizke vodnatosti je bil moten promet po reki. S hudo sušo so se soočali tudi v Češki Republiki, Srbiji in v Romuniji. Južno in vzhodno Francijo je prizadel močan vročinski udar in več kot dvomesečno pomanjkanje padavin, ki je zahtevalo tudi smrtne žrtve (The Post and Courier, 2003). Vročinski val in spremljajoča suša sta povzročala tudi večjo uporabo klimatskih naprav in s tem izpade električne energije.

V zadnjih letih se vse pogosteje pojavljajo suše tudi na območjih, kjer jih v preteklosti nismo beležili. Pomanjkanje padavin ali njihova nepravilna časovna razporeditev že predstavljata obstoječ problem in tveganje tudi v Sloveniji. Vzorec pojavljanja in trajanja suš se spreminja. Velik del slovenskega ozemlja sodi v celinsko klimatsko območje, kjer so kmetijske suše v zadnjem desetletju močno zmanjšale pridelke. Najhujša je bila trdovratna kmetijska suša leta

2003. Izrazite kmetijske suše v vegetacijskem obdobju (april-september) se v Sloveniji najpogosteje pojavljajo na dveh območjih: v jugozahodni in v severovzhodni Sloveniji, kjer je v zadnjih štiridesetih letih prizadela kmetijske rastline več kot tridesetkrat. Primanjkljaj vode od aprila do konca septembra kaže, da je v pretežnem delu ostale Slovenije suša prizadela kmetijske rastline, v zadnjih štiridesetih letih kar desetkrat 1967, 1971, 1973, 1977, 1983, 1992, 1993, 1994, 2000 in 2001. V vegetacijskem obdobju so pomembni tudi začetek in trajanje obdobja s pomanjkanjem padavin ter intenziteta primanjkljaja. Na območju severovzhodne Slovenije smo v obdobju 1961-2002 beležili celo vegetacijsko obdobje trajajočo negativno vodno bilanco kar dvanajstkrat. Količinski primanjkljaji, trajajoči več kot 100 dni jasno kažejo, da se v devetdesetih srečujemo z najdaljšim in tudi največjim primanjkljajem na tem območju. Z ekstremi se soočajo tudi vse ostale regije v Sloveniji.

Zato bo v bodoče potrebno blažiti posledice suš poleg ostalih ukrepov tudi z izgradnjo namakalnih sistemov. Za načrtovanje le teh in njihovo optimalno delovanje pa je nujno temeljito poznavanje in uporaba operativnih agrometeoroloških modelov za izračun vodne bilance kmetijskih tal. Namakanje kmetijskih rastlin je odvisno od količine razpoložljivih vodnih virov in upravičenosti stroškov namakanja. Ob izvajanju je vrednotenje vodne bilance nujno potrebno, saj gre za vprašanje omejenega in nenadomestljivega naravnega vira. V preteklosti si je kmetijstvo z osuševanjem mokrišč in pospešenim odvajanjem vode še poslabšalo razmere. Za gradnjo namakalnega sistema, kot tudi za rabo vode, je potrebno pridobiti vsa dovoljenja in soglasja, ki so odvisna od velikosti in organiziranosti namakalnega sistema. V teh postopkih se ugotavlja tako količinska primernost vodnega vira za namakanje kot tudi negativne vplive, ki jih načrtovan namakalni sistem lahko povzroči v določenem okolju (Pintar, 2003). Zato je pomemben tudi pretehtan razmislek o razvoju in upravičenosti namakanja na določeni lokaciji. Predpogoj za uspešno delovanje namakalnega sistema je poleg tega tudi dobro načrtovanje namakalnega sistema, kakovost tehnične opreme in upravljanje z njo, vodni vir, zahteve rastlin po vodi in drugo. Ustrezno ukrepanje, ki lahko omili posledice sušnih razmer je tudi izbor na sušo odpornega sortimenta, sprememba gojitvenih tehnik in načina kmetovanja, ki lahko omogoča intenzivno, stalno in kakovostno tržno pridelavo rastlin.

Kakršnokoli ukrepanje na področju kmetijske pridelave zahteva natančno analizo obstoječega stanja preskrbe kmetijskih rastlin z vodo. Analiza vsebuje ovrednotenje potencialnega primanjkljaja vode na kmetijskih tleh v Sloveniji v sedanji vremenski variabilnosti, upoštevati pa mora tudi predvidene podnebne scenarije za vegetacijsko obdobje in njihov vpliv na vodno bilanco s pomočjo modelskih izračunov. Ocena vsebuje prostorsko porazdelitev, čas trajanja in intenzivnost vegetacijskega primanjkljaja vode v Sloveniji v obdobju zadnjih štirideset let, časovne trende in spremembe vodne bilance v pričakovanih podnebnih spremembah.

## 8.2 KONCEPT SUŠE

Suša je kombinacija meteoroloških, fizičnih in človeških dejavnikov (EEA, 2001). Osnoven vzrok suše je pomanjkanje padavin, še posebno dolžina obdobja brez padavin, porazdelitev in intenzivnost primanjkljaja padavin v povezavi z obstoječo zalogo in porabo vode. Temperatura in evapotranspiracija v kombinaciji s padavinami vplivata na jakost in trajanje pojava. Dodatni fizični dejavniki, ki vplivajo na pojav suše so stopnja naravne zaloge vode (zaloga v tleh, rekah, jezerih, zadrževalnikih, mokriščih) ter socialnoekonomski dejavniki, ki spreminjajo porabo vode (sprememba v populaciji, življenjski standard).

Suša je normalen, ponavljajoč pojav. Večkrat jo zmotno pojmujejo kot redek in naključen pojav. Pojavlja se v vseh podnebnih pasovih, njene lastnosti se značilno spreminjajo iz regije v regijo. Suša je začasen odklon od povprečnih razmer (Wilhite, 2003). V literaturi obstaja

veliko število definicij suše, ki izhajajo iz analiz pomanjkanja padavin v določenem daljšem časovnem obdobju. Pomanjkanje padavin vpliva na pomanjkanje vode za določene aktivnosti različnih gospodarskih sektorjev. Na splošno je suša opisana kot zmanjšanje dostopne vode v določenem obdobju na določenem območju. Suša se ocenjuje na osnovi relativnega odnosa dejanskih razmer v povezavi z dolgoletnimi povprečnimi razmerami vodne bilance (padavine in evapotranspiracija) na določenem območju, ki jih opisujemo kot 'normalne'. Sušne razmere nam opisuje kombinacija meteoroloških dejavnikov, večinoma padavin in temperature. Stopnja suše je odvisna od časa trajanja in intenzitete. Ostali klimatski dejavniki, kot so visoka temperatura, močni vetrovi, nizka relativna vlaga večinoma stanje še poslabšujejo (Wilhite, 2003).

Obstajata dve vrsti definicij suš: konceptualne in operativne.

Konceptualne definicije suše so splošni opisi, ki ljudem pomagajo razumeti koncept pojava suše. Kot na primer: suša je podaljšano obdobje pomanjkanja padavin, ki se izraža v ekstenzivni škodi na rastlinah in v zmanjšanju pridelka. Konceptualne definicije suše so pomembne pri vzpostavljanju upravljanja s sušo. Na primer: avstralska državna strategija vključuje v definicijo suše termin normalne klimatske variabilnosti. Država zagotavlja finančno pomoč kmetom samo v razmerah izjemnih sušnih razmer, ko so le-te izven meja, ki so upoštevane v normalnem tveganju pridelave. Deklaracije o izjemnih razmerah so osnovane na temelju strokovnih ocen. S tem so določili objektivne kriterije za povračilo škode.

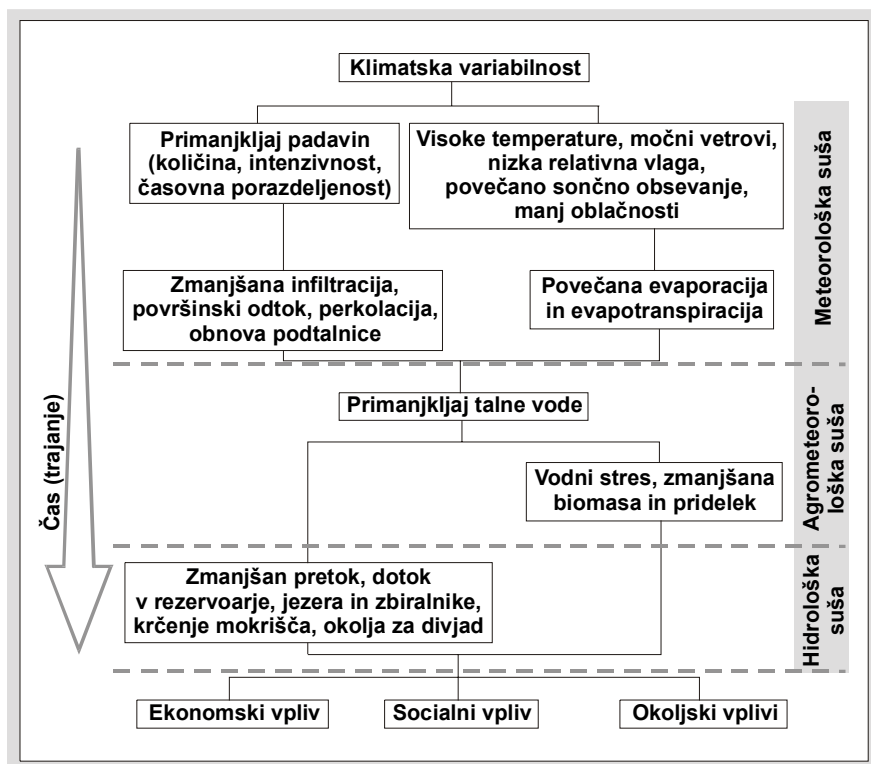
Operativne definicije suše označujejo začetek, konec in stopnjo intenzivnosti suše. Začetek suše je določen z odklonom od povprečnih padavin ali drugih klimatskih spremenljivk v določenem časovnem obdobju. Je primerjava trenutnih razmer z dolgoletnim povprečjem, ki je običajno 30-letni časovni niz. Prag za identifikacijo začetka suše (na primer 75 % padavin v določenem časovnem obdobju) je večinoma postavljen glede na konkretne razmere. Operativne definicije za kmetijstvo vključujejo primerjave dnevni padavin z dnevno stopnjo evapotranspiracije. To je osnova za oceno stopnje zmanjševanja talne vlage in vpliva suše na odzive rastlin (rast, pridelek) v različnih fazah njihovega razvoja. Na ta način lahko analiziramo frekvenco pojava suš, jakost in trajanje v določenem obdobju. Za to potrebujemo urne, dnevne, mesečne vremenske podatke in tudi podatke o posledicah (npr. na pridelku). Poznavanje klimatologije suše za določeno regijo je pomembno, saj razumevanje njene karakteristike in verjetnosti pojava različnih nivojev jakosti lahko koristijo pri razvoju strategije odziva, upravljanja ter planiranju pripravljenosti.

Raziskovalci Ameriškega nacionalnega centra za upravljanje s sušo so že v osemdesetih odkrili več kot 150 različnih objavljenih definicij suše. Wilhite (1985) je kategoriziral definicije po štirih bazičnih vidikih merjenja suše: meteorološki, hidrološki, kmetijski in socialnoekonomski (slika 8.2.1). Prvi trije pristopi se ukvarjajo z merjenjem suše kot naravnega pojava, zadnja se ukvarjata s sušo v smislu oskrbe v socialnoekonomskem sistemu.

Meteorološki vpliv: Opisuje ga podaljšano obdobje s pomanjkanjem padavin in je pogosto definiran kot zmanjšanje števila dni s padavinami v primerjavi z izbranim ("normalnim") referenčnim obdobjem. To so splošne, regijsko določene definicije sušnosti, saj so vremenske razmere, ki imajo za posledico pomanjkanje padavin, izrazito variabilne iz regije v regijo.

Hidrološki vpliv: Pomanjkanje padavin zmanjša količino vode v rekah, jezerih in zniža nivo podtalne vode. Hidrološka suša se pojavlja kasneje kot meteorološka in kmetijska, saj traja dalj časa, da se pomanjkanje padavin pokaže tudi v komponentah hidrološkega sistema, kot je voda v tleh, vodotokih, podtalnih virih. Voda v hidroloških zalogah npr. rekah, jezerih je pogosto uporabljena za številne druge konkurenčne namene (npr. namakanje, rekreacija, navigacija, hidroenergija, vodni in obvodni habitati).

Slika 8.2.1 Stopnjevanje intenzivnosti suše in trajanje učinka



(vir: National Drought Mitigation Center, USA, Drought Watch)

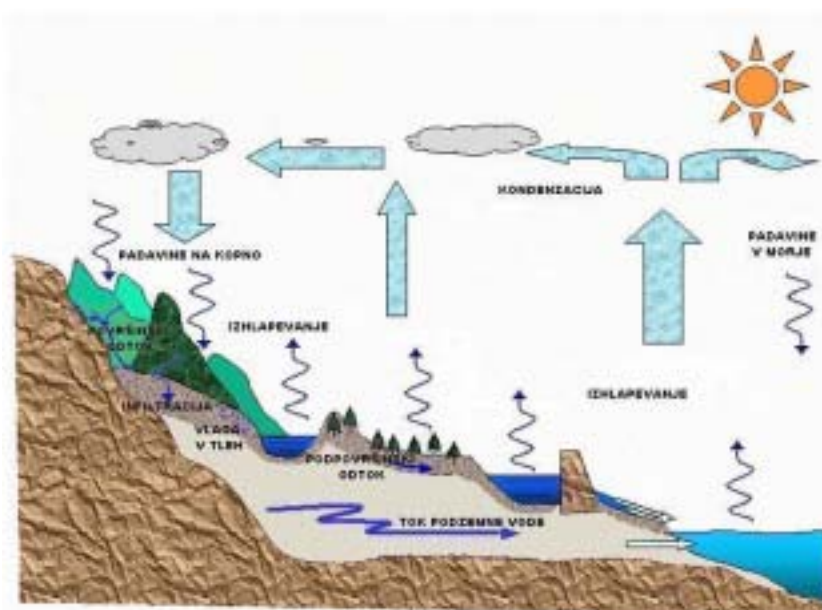
**Kmetijski vpliv:** Ta vpliv predstavlja nezadostno količino vode v tleh, ki jo kmetijske rastline potrebujejo za normalen razvoj. Predstavlja kombinacijo meteorološke in hidrološke suše, in kadar nastopi v času intenzivne rasti in razvoja kmetijskih rastlin, t.j. v kritičnih fenoloških obdobjih, je pridelek zmanjšan ali pa celo popolnoma uničen.

### 8.3 SPLOŠNO O RANLJIVOSTI RAZPOLOŽLJIVE VODE NA VREMENSKO VARIABILNOST/SPREMEMBO

Vodni krog, ki je shematsko ponazorjen na sliki 8.3.1, in ki ga v pretežni meri poganja sončna energija, se na dodano energijo odziva s spremembami v njegovih posameznih elementih. Navzven se to pokaže v odstopanju od običajnih vremenskih razmer, spremembah v pojavljanju in količinah padavin, spremenjenem režimu površinskih in podzemnih voda kot tudi spremembah pri gibanju morskih tokov.

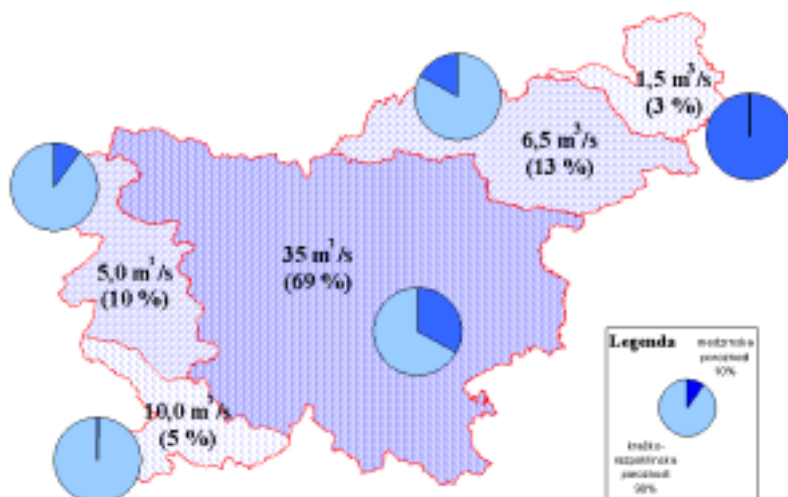


Slika 8.3.1 Shematski prikaz vodnega kroga



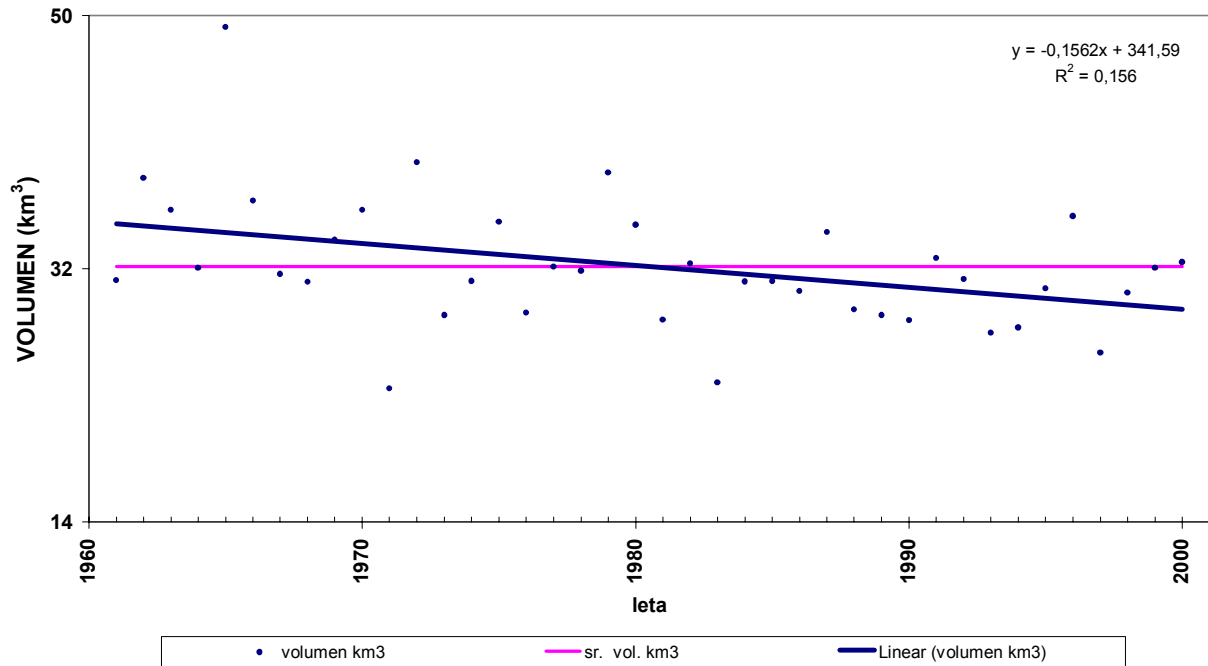
Eden od pomembnih kazalcev pri ugotavljanju ranljivosti elementov vodnega kroga na vremenske spremembe je ugotavljanje sprememb razpoložljive vode na posameznem območju. Slovenija je v primerjavi z evropskimi državami bogata z vodnimi viri, k čemur pripomore predvsem velika količina padavin, saj v Sloveniji v povprečju pade kar 1567 mm padavin (Kolbezen, Pristov, 1998). Veliko vode in geografske ter geološke značilnosti pogojujejo zelo razvejano rečno mrežo, kot tudi več obsežnih vodonosnikov z večjimi zalogami podzemne vode. Seveda pa tako kot padavine, tudi voda v prostoru in času ni enakomerno razporejena. Razmere se od porečja do porečja lahko bistveno razlikujejo. V nekaterih porečjih vzhodne Slovenije s specifičnimi odtoki pod  $5 \text{ l/s/km}^2$  odteče le 20% padavin, medtem ko v zahodni Sloveniji s specifičnimi odtoki do  $90 \text{ l/s/km}^2$  odteče tudi več kot 80% padavin. Zaradi bogatih vodonosnikov so pomemben vir zaloge v podzemni vodi, za katere so ocenjene dinamične zaloge kot je prikazano na sliki 8.3.2 (Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, 1995).

Slika 8.3.2 Dinamične zaloge podzemnih voda v najpomembnejših vodonosnikih glede na vrsto poroznosti po posameznih porečjih Slovenije



Srednja letna količina vse vode, ki je potencialno na razpolago v Sloveniji, znaša 32,1 km<sup>3</sup> (1018 m<sup>3</sup>/s). V tej količini so upoštevani tudi dotoki iz sosednjih držav, kjer iz sosednje Avstrije doteka kar 41% vode, ki se letno pretoči prek ozemlja Slovenije. V enem letu je na prebivalca v povprečju okrog 16.000 m<sup>3</sup> potencialno razpoložljive vode, kar je precej nad evropskim povprečjem.

Slika 8.3.3 Trend potencialno razpoložljive vode v Sloveniji v obdobju 1961 – 2000

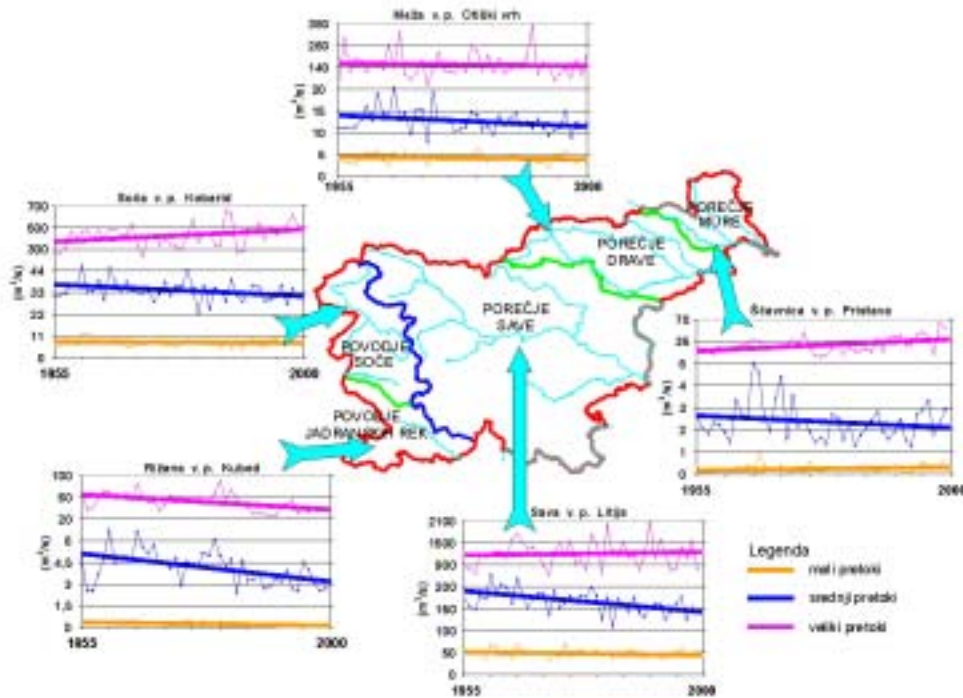


Če upoštevamo samo interni odtok iz Slovenije, brez dotoka iz sosednjih držav, odpade na prebivalca 9.350 m<sup>3</sup> letno potencialno razpoložljive vode (MOP,2002).

V zadnjem štiridesetletnem obdobju je bilo nihanje med največjo in najmanjšo količino razpoložljive vode veliko. V letu 1971 smo zabeležili le slabo polovico količine, ki je iz Slovenije odtekla v letu 1965, ko smo zabeležili 49 km<sup>3</sup> kot maksimum obdobja 1961–2000. Padeč trendne linije je 0,15 km<sup>3</sup> na leto, kar pomeni zmanjšanje razpoložljive vode v obravnavanem obdobju za 6 km<sup>3</sup>. Takšno upadanje razpoložljivih količin vode vsekakor ni samo posledica povečane rabe vode, ampak predvsem posledica spremenljivosti klimatskih razmer, predvsem tistih, ki vplivajo na količino, ter časovno in prostorsko porazdelitev padavin. Spremembe v padavinah, od katerih so odvisni pretoki rek in gladine podtalnice, povzročajo spremembe značilnih rečnih režimov, od dežnega (pluvial), dežno snežnega (pluvio-nival), snežno dežnega (nival-pluvial) do snežnega (nival). Višja temperatura zraka in njen vpliv na snežne razmere v visokogorju bodo predvsem z nižanjem in krajšanjem pomladanskih viškov v nivalnih režimih povzročale skrb za zagotavljanje zadostnih količin vode za kmetijsvo tudi v pomladnih mesecih. Zaradi manj staljenega snega se bodo tudi dinamične zaloge podzemne vode slabše obnovljale.

Omeniti pa velja, da se z vodo deficitarna kmetijska območja in porečja z najmanjšimi pretoki v poletnih mesecih večkrat ne prekrivajo. Taka primera sta reki Drava in Mura, ki imata zaradi snežnega režima odtoka največ vode v poletnih mesecih, ko pade v njunem slovenskem delu porečja najmanj padavin.

Slika 8.3.4 Trendi značilnih pretokov za obdobje 1955 - 2000: malih -  $Q_n$ , srednjih –  $Q_s$ , velikih –  $Q_v$



Za izbrane vodomerne postaje na porečjih, ki praktično predstavljajo značilne izbrane regije:

- osrednja in jugovzhodna Slovenija,
- severovzhodna Slovenija,
- severna in severozahodna Slovenija,
- jugozahodna Slovenija,

so na sliki 8.3.4 prikazani obdobjni značilni pretoki (mali, srednji, veliki). Trendne linije kažejo, da se srednji letni pretoki na vseh porečjih manjšajo, podobno tudi mali pretoki, da pa se veliki pretoki manjšajo le na porečjih jadranskih rek in v slovenskem porečju Drave.

Ob neugodnih trendih na vseh porečjih, bo zaradi suše in izpada kmetijske pridelave v letu 2003, v naslednjih letih dodaten pritisk na vodne vire predstavljala večja raba vode za kmetijsko pridelavo (namakanje) in to predvsem v obdobju, ko imajo reke najmanjše pretoke in ko najbolj upadejo gladine podtalnice. Poudarimo naj, da so se v letu 2003 mali pretoki na večini rek spustili pod najnižje vrednosti v opazovanem obdobju, prenekateri vodotoki pa so povsem usahnili.

## 8.4 OPIS METODOLOGIJE ZA RANLJIVOSTNO ANALIZO

### 8.4.1 DOLOČITEV REGIJ IN IZBOR PODATKOV

Za ranljivostno analizo smo uporabljali nabor dnevni podatkov na meteoroloških postajah v Sloveniji v obdobju od 1961 do 2000. Postaje smo prostorsko razporedili v štiri regije:

- osrednja in jugovzhodna Slovenija (Ljubljana (LJ), Celje (Ce), Novo mesto (NM) in Postojna (POS));
- severovzhodna Slovenija: Maribor (MB) in Murska Sobota (MS);
- severna in severozahodna Slovenija: Slovenj Gradec (SG) in Rateče (RAT);
- jugozahodna Slovenija: Portorož (PO) in Bilje (BI).

Na vseh postajah smo izračunali vodnobilančne razmere v posameznem letu za vegetacijsko obdobje. Dolžino vegetacijskega obdobja smo določili za vsako postajo posebej s temperaturnim pragom 5 °C. Postaje so izbrane kot reprezentativne za določeno regijo. Ocene ranljivosti za posamezno regijo so rezultat povprečnih vrednosti vključenih postaj znotraj regije.

### **Meteorološki podatki**

Uporabljene meteorološke podatke delimo na padavine in vhodne podatke za izračun referenčne evapotranspiracije ( $ET_0$ ). Količina padavin je rezultat direktnih meritev na meteorološki postaji,  $ET_0$  pa izračunamo po različnih metodah iz potrebnih vhodnih meteoroloških spremenljivk. Metode za izračun referenčne evapotranspiracije se v zadnjih letih vse bolj razvijajo. Novejše metode se razlikujejo od starih po večjem številu vhodnih podatkov za izračun, kar izboljšuje kakovost ocene evapotranspiracije.

Pri ranljivostni analizi smo  $ET_0$  za vse postaje izračunali po Penman-Monteithovi metodi (Allen, 1998), ki je bila razvita na pobudo Svetovne organizacije za prehrano in kmetijstvo (FAO) in že upošteva njene standarde. Za izračun  $ET_0$  potrebujemo minimalno in maksimalno dnevno temperaturo zraka, povprečno dnevno hitrost vetra in relativno zračno vlago ter dejansko trajanje sončnega sevanja.

Izračunali smo dnevne razlike med padavinami in  $ET_0$ , kar je bila osnova za nadaljnji izračun vodne bilance.

### **Interpolacijske metode**

Za postaje, ki nimajo polnega niza vhodnih podatkov za izračun  $ET_0$  po Penman-Monteithovi metodi, smo evapotranspiracijo izračunali po drugih metodah in rezultate korigirali z linearno regresijo med to in Penman-Monteithovo metodo. Če sta na postaji v določenem obdobju manjkala podatka o trajanju sončnega obsevanja in hitrosti vetra, smo uporabili Antalovo metodo (Kurnik, 2002). Hargreasovo metodo (Allen, 1998) pa smo uporabili, če je bila na postaji izmerjena v določenem obdobju samo minimalna in maksimalna dnevna temperatura zraka. Ob pogojih, da se referenčna evapotranspiracija lahko izračuna po obeh nadomestnih metodah, smo upoštevali tisto, ki ima korelacijski koeficient večji od 0.8 in s katero lahko opišemo  $ET_0$  po Penman-Monteithovi metodi vsaj s 75 % variabilnostjo ene izmed nadomestnih metod. Ob upoštevanju teh kriterijev smo izračunali dnevne vrednosti  $ET_0$  za vse štiri regije za obdobje 1961-2000. Interpolacija padavin zaradi narave pojava v takšnih primerih ni smiselna.

### **Podatki o tleh**

Lastnost tal, ki močno vpliva na vodnobilančne razmere, je vodno zadrževalna kapaciteta oziroma količina rastlini razpoložljive vode. Ta količina je določena z dvema mejnima vrednostima. Zgornja se imenuje poljska kapaciteta in je definirana kot vsebnost vode v tleh, ko so le ta dobro preskrbljena z vodo. Takrat rastlina neovirano črpa vodo iz tal. Spodnjo mejo razpoložljive vode v tleh imenujemo točka venenja (Matajc, 1980). Ko količina vode pade pod spodnjo mejo, rastlina težje črpa vodo in posledično lahko preide v stanje stresa in končne uvelosti. Podatke o tleh smo pridobili iz podatkovnih baz Centra za pedologijo in varstvo okolja pri Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Na osnovi lastnosti in globine tal smo uporabljene podatke za Slovenijo razvrstili v šest tipov (Preglednica 8.4.1.1). Določitev je temeljila na izboru parov talnih tipov, enake globine.

Tabela 8.4.1.1: Tipi tal v Sloveniji, uporabljeni pri izračunu vodnega primanjkljaja

ime tal	globina tal (cm)	poljska kapaciteta v 10 cm sloju (mm)	točka vvenja v 10 cm sloju (mm)	razpoložljiva voda v 10 cm sloju (mm)
tip 1 - plitva tla	do 30	34.3	18.6	15.7
tip 2 - zelo plitva do plitva tla		36.0	20.0	16.0
tip 3 - srednje globoka tla	od 31 do 60	37.8	21.1	16.7
tip 4 - srednje globoka tla		41.7	22.5	19.2
tip 5 - globoka tla	več kot 60	48.8	25.0	23.8
tip 6 - globoka tla		49.0	24.0	25.0

### Izbor podatkov o rastlini

Podatki o rastlini so določeni na osnovi standardiziranih fenoloških opazovanj. Uporabljeni so bili podatki fenološkega monitoringa Agencije RS za okolje. Fenološki podatki vključujejo posamezne rastne in razvojne faze rastlin. Pri oceni evapotranspiracije je upoštevan še koeficient rastline (kc) ter globina koreninjenja. Pri izračunu smo uporabili travo kot referenčno rastlino s karakteristikami zapisanimi v preglednici 8.4.1.2.

Tabela 8.4.1.2: Karakteristike rastline uporabljene pri izračunu vodnega primanjkljaja

razvojna faza	koeficient rastline (kc)	globina korenin (cm)	datum začetka razvojne faze
začetek rasti	0.5	15	1. april
stebličenje	0.8	15	1. maj
prva košnja	0.9	15	20. maj
porast	0.6	15	1. junij
drugo stebličenje	0.8	15	1. julij
druga košnja	0.8	15	10. avgust
jesensko obraščanje	0.6	15	1. september
jesensko obraščanje	0.5	15	30. september

### Simulacijski namakalno-prognostični model IRRFIB

Kmetijske rastline v različnih podnebnih razmerah potrebujejo v rastnem obdobju različne količine vode. Slovenski kmetijski prostor pa je prav glede podnebja, številnih talnih pedosekvenc in razgibanosti terena v primerjavi z drugimi evropskimi državami posebno pisan. Agrometeorološki modeli za pomoč pri kmetijski pridelavi, ki so jih razvili v preteklosti, so bili prirejeni za specifična okolja in jih je bilo pri nas dokaj rizično uporabljati. Število rastlinsko-vremenskih modelov v svetu je močno naraslo po letu 1970, skupaj s pospešenim razvojem računalništva. Na 7. kongresu Svetovne meteorološke organizacije leta 1975 so priporočili razširjanje agrometeoroloških aktivnosti za pomoč pri pridelavi hrane. V tem obdobju je tudi FAO vzporedno pripravila odmevno in izredno uporabno publikacijo Potrebne količine vode za kmetijske rastline, ki je vključevala računalniški program za vrednotenje porabljene količine vode pri kmetijskih rastlinah (Doorenbos et al, 1984).

Za pomoč pridelovalcem pri namakanju kmetijskih rastlin v Sloveniji smo leta 1994 po predhodnih poskusih na različnih lokacijah in tleh na bivšem Hidrometeorološkem zavodu razvili simulacijski namakalno-prognostični model IRRFIB, ki je bil na začetku prirejena in dopolnjena oblika FAO računalniškega programa. Model je uporaben za sprotno spremljanje vodne bilance tal namakanih in nenamakanih kmetijskih rastlin, za napovedovanje potrebnih količin vode za namakanje za tri do sedem dnevno obdobje ter za spremljanje primanjkljaja vode v tleh za rastline v pogojih, ko nastopi daljše obdobje brez padavin – suša. Primeren je tudi za analize vodnih stanj za kmetijske rastline za pretekla časovna obdobja.

Vhodni podatki modela:

- dnevna referenčna evapotranspiracija  $ET_0$ , izračunana po Penman-Moneithovi metodi (FAO Irrigation and Drainage Paper št. 56);
- fenološki podatki in globine koreninskega sistema kmetijskih rastlin ter koeficienti kmetijskih rastlin;
- vodnoretencijske lastnosti tal – poljska kapaciteta in točka venenja – so potrebne za določitev velikosti talnega vodnega zbiralnika v območju korenin; z vključitvijo merjenih podatkov o dnevni količinah padavin lahko ovrednotimo dnevno vodno bilanco tal in rastlin.

V model lahko vključimo tudi dodatne spremenljivke:

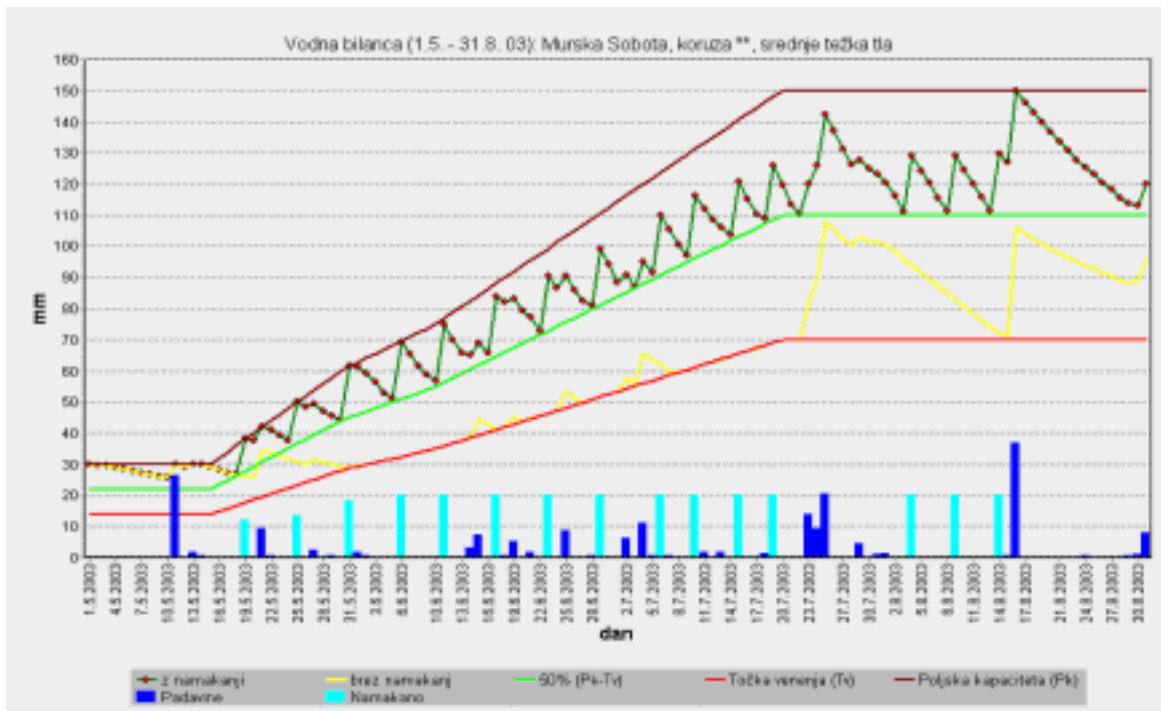
- prognoziranje vremenske spremenljivke za prihodnjih 3 do 7 dni (temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, trajanje sončnega obsevanja in hitrost vetra)
- nivo praznenja vodnega zbiralnika
- način namakanja (kapljično, razpršilno)
- dovoljene količine vode za vsakokratno namakanje glede na infiltracijsko sposobnost tal.

Izhodni podatki modela:

Model lahko računa dnevno vodno bilanco tal in rastlin, v daljšem obdobju pa vegetacijsko ali celoletno bilanco. Rezultati modelnega vrednotenja vodne bilance so lahko prikazani v obliki tabele ali grafično. Pri grafični interpretaciji je z eno krivuljo ponazorjen potek vlage v tleh, ki so redno namakana, druga krivulja pa predstavlja potek talne vlage v naravnih pogojih brez namakanja. Pri enoletnih kmetijskih rastlinah se talni vodni zbiralnik od setve naprej povečuje z rastjo koreninskega sistema v globino, zato sta prikazani tudi zgornja in spodnja meja dostopne talne vode za rastline. Padavine in potrebna namakanja so prikazana stolpično na glavni osi grafikona.

Kadar vključimo v prognostični namakalni model napovedane vremenske spremenljivke za prihodnje obdobje, nam prikaže potrebne količine vode za namakanje izbrane kmetijske rastline za 3 do 7 dni vnaprej. V primeru napovedi takšnih količin dežja, ki bi napolnile talni vodni rezervoar, lahko namakanje izpustimo in tako v odvisnosti od velikosti kmetijske površine v sezoni lahko privarčujemo večje količine vode in preprečimo dodatna izpiranja hranilnih snovi v globlje horizonte tal ali celo v podtalnico. Prav zaradi omenjenega dejstva mora biti vsako namakanje strokovno vodeno in dobro nadzorovano. Rezultati modelnih vrednotenj za namakanje so pomembni za namakalce, so pa tudi primerne podlage pri načrtovanju vodnih zajetij za namakalne sisteme ter ekspertne analize pri vrednotenju sušnih razmer. V zadnjih sušnih letih je bil model uporabljen za dnevna vrednotenja porabe vode iz tal in rastlin in s tem ugotavljanja količinskega primanjkljaja vode za kmetijske rastline.

Graf 8.4.1.1: Grafični prikaz modela IRRFIB (poraba vode pri koruzi na tipu tal 3 v Murski Soboti leta 2003)



### Metode ocene kmetijske suše

Kumulativni primanjkljaj vode je razlika med optimalnim in dejanskim stanjem talne vlage tekom vegetacijskega obdobja. Poleg velikosti primanjkljaja je enako pomembno tudi njegovo trajanje. V času vegetacije se običajno pojavlja več zaporednih obdobj s primanjkljajem, v ekstremnih letih, kot na primer leta 2003, pa se lahko pojavlja trajanje primanjkljaja brez prekinitve.

### Statistična opredelitev primanjkljaja in presežka vode v tleh

S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo primanjkljaj vode v tleh v vegetacijskem obdobju porazdelili glede velikosti in trajanja za obdobje 1961-2000 v posamezni izbrani regiji. Razpložljiva voda v tleh do globine 15 cm pri izračunu primanjkljaja predstavlja povprečno vrednost šestih obravnavanih talnih tipov. Mejne vrednosti primanjkljaja smo določili z uporabo statistične ocene s percentili. Petdeseti percentil lahko opišemo tudi z mediano. Percentili v rangi blizu 0 in blizu 100 veljajo za ekstremne. Glede na porazdelitev primerov v enake razrede so definirani tercili (3 enaki razredi), kvartili (4 enaki razredi), kvintili (5 enakih razredov) in decili (deset enakih razredov) (Commonwealth of Australia, 2003).

Velikost in trajanje vodnega primanjkljaja v tleh smo razdelili na zmerne in ekstremne (Slika 8.4.1.1):

- **zmerni primanjkljaj** je definiran s spodnjo mejo 75-tega percentila in z zgornjo mejo 90-tega percentila;
- **ekstremni primanjkljaj** je definiran kot večji od 90-tega percentila (predstavlja samo zgornjih 10 odstotkov (deseti decil) vseh primerov).

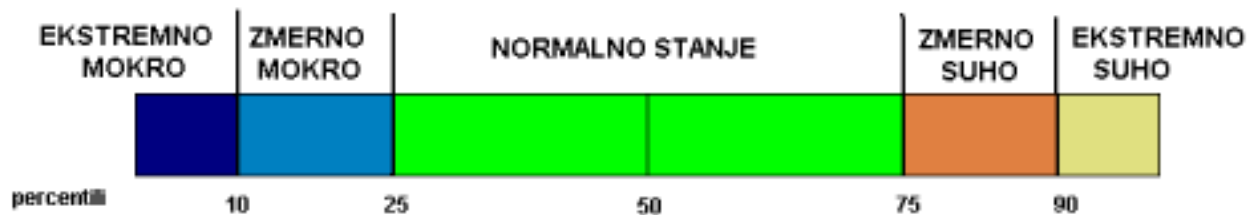
Na drugi strani smo velikost in trajanje vodnega presežka v tleh tudi razdelili na zmerne in ekstremne:

- **zmerni presežek** je določen s spodnjo mejo 10-tega percentila in z zgornjo mejo 25-tega percentila;



**ekstremni presežek** je določen kot manjši od 10-tega percentila (predstavlja samo spodnjih 10 odstotkov (prvi decil) vseh primerov).

Slika 8.4.1.1: Statistično vrednotenje primanjkljajev in presežkov vode v tleh



Vsi ostali primeri med 25 in 75-im percentilom so v razredu povprečnih primerov. Torej, presežek ali primanjkljaj v prvem ali v četrtem kvartilu se zgodi povprečno vsake štiri leta in v prvem ali desetem decilu povprečno vsakih 10 let.

Za časovno analizo spreminjanja velikosti primanjkljaja smo uporabili analizo trendov, ki nam predstavlja tendenco razvoja obravnavanega pojava v času. O trendu lahko govorimo le, če imamo na voljo dolg niz podatkov (vsaj 30 let pri klimatoloških analizah). Najpogosteje uporabljene funkcije pri računanju trenda so linearne. Trend izrazimo kot spremembo obravnavane veličine glede na časovno obdobje. Če se vrednost obravnavane spremenljivke časovno zmanjšuje imamo negativni trend, če pa se povečuje, je trend pozitiven. Mera za statistično zanesljivost trendov je koeficient determinacije ( $R^2$ ). Za statistično značilnost trenda smo uporabili 95 % interval zaupanja. Če interval ne zajame tudi vrednost nič, potem je trend signifikantno različen od nič (natisnjeni krepko v tabeli).

### Metodologija ocene vpliva podnebnih sprememb na stanje primanjkljaja vode v tleh

Okvirni klimatski scenariji za Slovenijo, ki jih lahko uporabljamo pri študiju posledic podnebnih sprememb govorijo, da se bo povprečna letna temperatura v Sloveniji do leta 2050 povečala za  $2.5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Količina padavin se bo zmanjšala do 10 %, pri čemer moramo omeniti, da napoved sprememb padavin ni tako natančna kot temperature. Povečalo se bo tudi število ekstremnih dogodkov (suše, poplave, neurja...) (Kajfež-Bogataj, 2001).

Sprememba primanjkljaja vode v tleh je neposredno vezan na spremembo meteoroloških spremenljivk. Ob predpostavki, da se bo povišala temperatura zraka, se bo povišala tudi evapotranspiracija.

Sprememba evapotranspiracije pa ni odvisna samo od spremembe temperature, ampak tudi od drugih meteoroloških spremenljivk. V Penman-Monteithovi metodi za izračun  $ET_o$  povprečna dnevna temperatura zraka ( $T_{pov}$ ) opiše 75 % variabilnosti  $ET_o$ . Velik delež variabilnosti  $ET_o$  s  $T_{pov}$  nam omogoča uporabo alternativnih temperaturnih metod izračuna  $ET_o$  pri analizi vpliva podnebnih sprememb. Negotovost ocene ostalih vhodnih spremenljivk za tovrstne analize je zaenkrat še zelo negotova.

Osnovna težava pri ocenjevanju referenčne evapotranspiracije v spremenjenih klimatskih razmerah je pomanjkanje meritev v preteklosti (Bergant, 2003). Tako kot izračun pretekle referenčne evapotranspiracije, lahko tudi analize spremenjenih klimatskih razmer ocenjujemo le na osnovi modelskih izračunov, v našem primeru Penman-Monteithove enačbe.

V primerjavi z ocenami temperature zraka in zračne vlage v spremenjenih klimatskih razmerah, je ocenjevanje sončnega obsevanja in vetrovnih razmer še bistveno bolj zahtevno in negotovo. Klimatske spremembe bodo na sončno obsevanje vplivale predvsem preko morebitne spremenjene oblačnosti ter spremenjene koncentracije aerosolov v ozračju.



Ocene, kako se bo spremenila oblačnost, so zelo negotovne celo za globalno, kaj šele za regionalno skalo. Ob omenjenem obravnavanju sprememb referenčne evapotranspiracije v spremenjenih klimatskih razmerah v odvisnosti od temperature zraka in zračne vlage, tudi izračuni klimatskih scenarijev kažejo na intenzivnejšo evapotranspiracijo v prihodnje (Bergant, 2003).

Da bi se izognili napakam zaradi negotovosti pri oceni variabilnosti določenih vhodnih spremenljivk za izračun primanjkljaja, smo uporabili podatke preteklih vegetacijskih obdobj. Na osnovi rezultatov regionalnih podnebnih scenarijev za Slovenijo smo izbrali leta, ki so imela povprečno temperaturo zraka v vegetacijskem obdobju na območju Slovenije večjo za 1 °C in 3 °C ter ob nespremenjenem ali 20 % zmanjšanju padavin glede na referenčno obdobje 1961-1990. Iz tega smo določili štiri hipotetične podnebne scenarije:

- scenarij A: dvig temperature za 1 °C in nespremenjen padavinski režim
- scenarij B: dvig temperature za 3 °C in nespremenjen padavinski režim
- scenarij C: dvig temperature za 1 °C in 20 % manj padavin
- scenarij D: dvig temperature za 3 °C in 20 % manj padavin.

Vse štiri scenarije smo uporabili pri izračunu porabe vode pri travinju s pomočjo modela IRRFIB. Spremembe regijskega primanjkljaja vode so opisane v poglavju 8.6.

## 8.5 OCENA OBČUTLJIVOSTI KMETIJSTVA NA PRETEKLO VREMENSKO VARIABILNOST

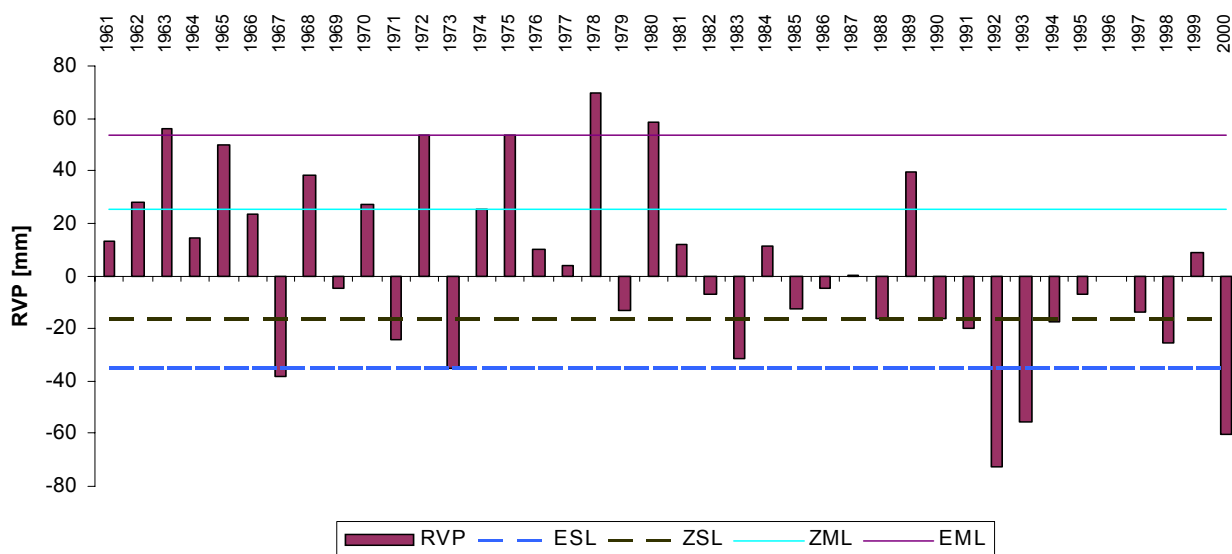
Pri analizi občutljivosti na preteklo vremensko variabilnost smo za vsako regijo določili:

- porazdelitev primerov zmernega in ekstremnega primanjkljaja in presežka v obdobju 1961-2000,
- analizo trendov velikosti primanjkljaja v posamezni regiji.

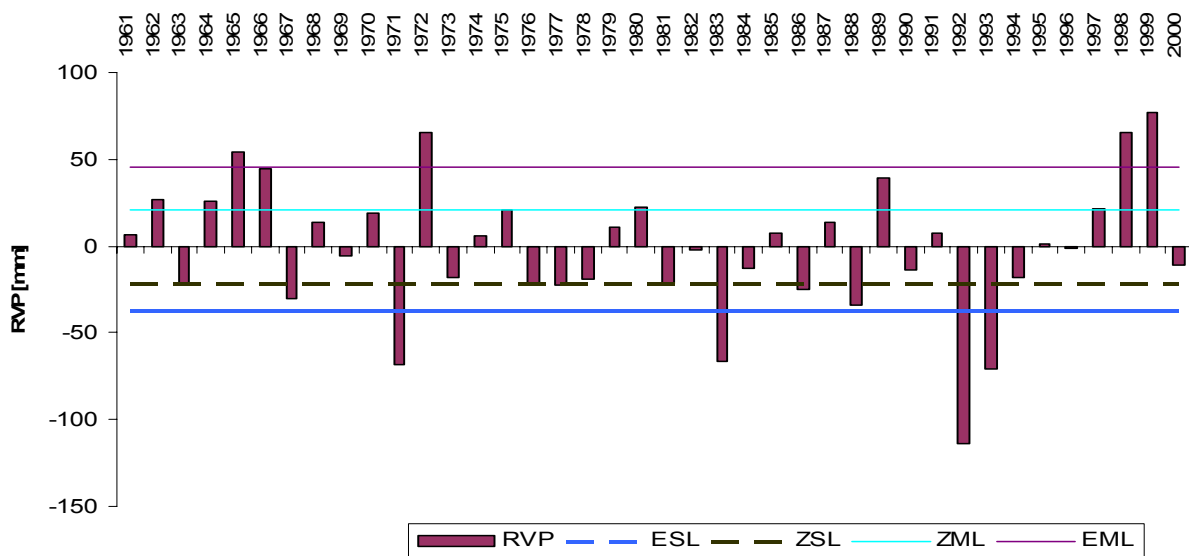
### Porazdelitev velikosti primanjkljaja

Relativno velikost primanjkljaja smo definirali kot  $\tilde{P} = P - P_m$ , kjer je  $P$  absolutna velikost primanjkljaja v določenem letu in  $P_m$  je 50-ti percentil v določeni regiji za obdobje 1961-2000. Velikost primanjkljaja, ki je večji od mediane, predstavlja leto, v katerem je bila rastlina dobro preskrbljena z vodo. To leto smo poimenovali kot mokro leto. Pri primanjkljaju manjšem od mediane so rastline slabo preskrbljene z vodo. To leto lahko imenujemo tudi suho leto. Leta, ko je velikost primanjkljaja podobna mediani, imenujemo normalna leta in rastlina nima večjih problemov s preskrbo vode. Relativne velikosti primanjkljajev ( $\tilde{P}$ ) prikažemo za vsako regijo na grafu (8.5.1 do 8.5.4). Na grafu je relativna velikost primanjkljaja podana v mm označena z RVP, zmerno suho leto (vrednosti med 75. in 90. percentilom) ZSL, ekstremno suho leto (vrednosti manjše od 90. percentila) ESL, zmerno mokro leto (vrednosti med 10. in 25. percentilom) ZML, ekstremno mokro leto (vrednosti večje od 10. percentila) EML.

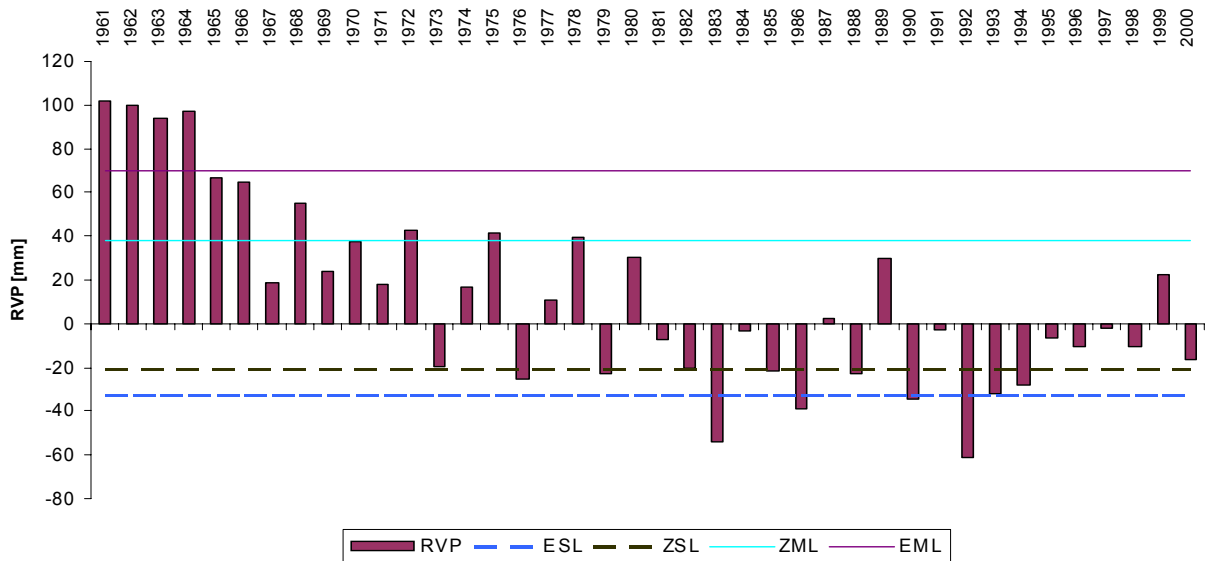
Graf 8.5.1: Velikost relativnega primanjkljaja v vegetacijskem obdobju za osrednjo Slovenijo med leti 1961-2000



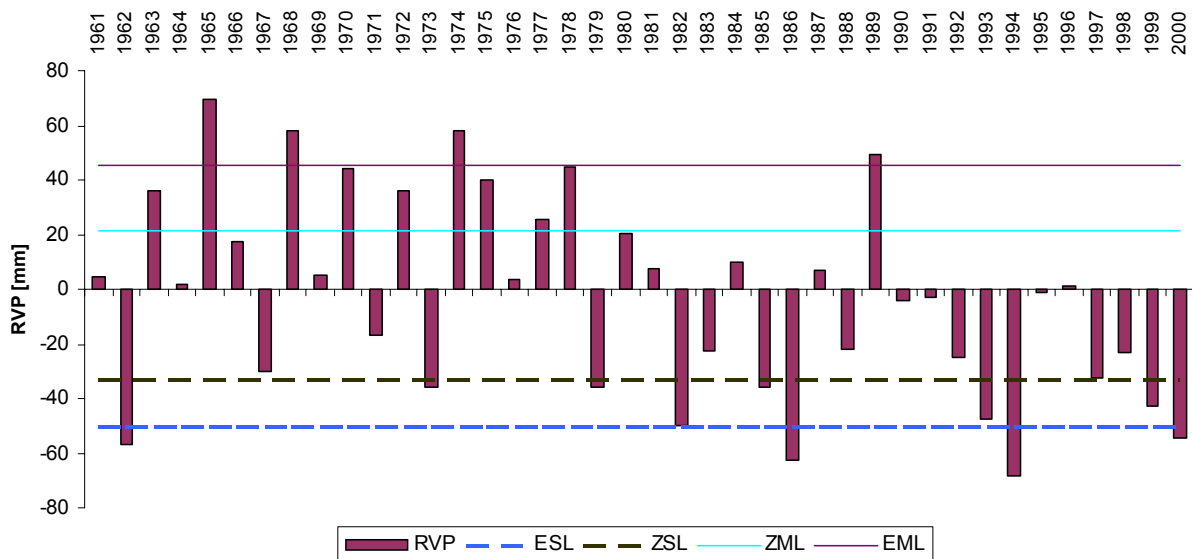
Graf 8.5.2: Velikost relativnega primanjkljaja v vegetacijskem obdobju za severovzhodno Slovenijo med leti 1961-2000



Graf 8.5.3: Velikost relativnega primanjkljaja v vegetacijskem obdobju za severno Slovenijo med leti 1961-2000



Graf 8.5.4: Velikost relativnega primanjkljaja v vegetacijskem obdobju za jugozahodno Slovenijo med leti 1961-2000



Iz grafov je razvidno, da je število obdobj z zmernim in ekstremno velikim primanjkljajem podobno v vseh regijah. Zmerno velik primanjkljaj vode v tleh se pojavi v obravnavanem obdobju šestkrat, ekstremno velik pa štirikrat. Prav tako je bilo enako tudi število let, ko je bil  $\tilde{P}$  večji od 0. V vseh regijah smo šestkrat beležili zmerni  $\tilde{P}$  in štirikrat ekstremni  $\tilde{P}$ , razen v osrednji Sloveniji. V tej regiji je bil zmerno velik petkrat, večji od 90. percentila pa štirikrat. Razlike med regijami se pojavijo predvsem v razporeditvi let z nenormalnim primanjkljajem. V osrednji Sloveniji so se ekstremno in zmerno mokra leta pojavljala do leta 1989. Kasneje so se po večini pojavljala leta z zmernim in ekstremno visokim primanjkljajem. Ekstremno visok primanjkljaj se je v obravnavanem nizu pojavil le še leta 1967 (Slika 8.5.1).

Severovzhodna Slovenija (Slika 8.5.2) in jugozahodna Slovenija (Primorska) (Slika 8.5.4) sta imeli leta z visokim in nizkim primanjkljajem razporejena skoraj enakomerno čez obdobje

1961-2000. Vendar je težišče visokih primanjkljajev pomaknjeno v devetdeseta leta 20 stoletja, predvsem na račun let 1992 in 1993.

Izrazito naraščajoči trend primanjkljaja ima severna Slovenija (Slika 8.5.3). Na tem območju so do začetka osemdesetih let prevladovala mokra ali zelo mokra vegetacijska obdobja. Kasneje so se začela pojavljati leta z visokim ali ekstremno visokim primanjkljajem (leta 1983, 1986, 1990, 1992).

### Porazdelitev dolžine primanjkljaja vode v tleh

V obravnavo smo upoštevali samo zaporedne dneve, ko se je pojavil primanjkljaj.

Dolg in ekstremno dolg primanjkljaj določimo s 75. in 90. percentilom glede na porazdelitev dolžin neprekinjenega trajanja primanjkljaja. V preglednici 8.5.1 je prikazano število pojavov takšnih dolžin v posamezni regiji v obdobju 1961-2000.

Tabela 8.5.1: Število let z dolgim ali ekstremno dolgim primanjkljajem v obdobju 1961-2000

	osrednja Slovenija	severovzhodna Slovenija	severna Slovenija	jugozahodna Slovenija
število obdobj z dolgim primanjkljajem	7	7	8	10
število obdobj z ekstremno dolgim primanjkljajem	5	5	4	6

Dolg primanjkljaj se je v vegetacijskem obdobju pojavil od 7 do 10 krat, ekstremno dolg pa 4 do 6 krat. Največkrat se je dolg in ekstremno dolg primanjkljaj pojavil v jugozahodni Sloveniji.

Za boljšo oceno stanja pretekle variabilnosti primanjkljaja vode v tleh smo združili podatke o dolžini in velikosti primanjkljaja in določili razreda, ko se je pojavljal zmerno in ekstremno dolg ter zmerno in ekstremno velik.

Tabela 8.5.2: Presek dolžin in velikosti s primanjkljajem med 75. in 90. percentilom in nad 90. percentilom v obdobju 1961-2000

razred 1	osrednja Slovenija	severovzhodna Slovenija	severna Slovenija	jugozahodna Slovenija
presek dolgih in zmerno velikih primanjkljajev	1967	1971	1973	1973
	1973	1976	1976	1986
	1988	1977	1979	1992
			1985	1993
			1986	2000
			1988	
razred 2	osrednja Slovenija	severovzhodna Slovenija	severna Slovenija	jugozahodna Slovenija
presek ekstremno dolgih in ekstremno velikih primanjkljajev	1992	1992	1992	1962
	1993			

Leto 1992 pade v vseh regijah v razred 2, z izjemo jugozahodne Slovenije. V jugozahodni Sloveniji pade v ta razred leto 1962, v osrednji Sloveniji pa še leto 1993. Leta v razredu 1 se razlikujejo glede na regijo. Suša v teh letih je bila regionalno omejena.

### Analiza trendov velikosti primanjkljaja

V analizi primanjkljaja smo uporabili tudi izračun linearnega časovnega trenda. Trend smo izrazili z absolutno in relativno spremembo primanjkljaja na 10 let v obdobju od leta 1961 do 2000 (Preglednica 8.5.3). Variabilnost podatkov glede na trend opiše koeficient determinacije ( $R^2$ ), statistična značilnost trenda je podana s 95 % intervalom zaupanja. Za statistično značilnost trenda pri zahtevani zanesljivosti 95 % mora biti vrednost  $R^2$  vsaj 0.097 (označeni krepko v tabeli 8.5.3).

Tabela 8.5.3: Trendi primanjkljaja v posamezni regiji

regija	absolutna sprememba povprečnega primanjkljaja [mm]	relativna sprememba povprečnega primanjkljaja [%]	koeficient variabilnosti $R^2$ test
osrednja Slovenija	-15	-8	<b>0.26</b>
severovzhodna Slovenija	-4	-2	0.01
severna Slovenija	-26	-19	<b>0.53</b>
jugozahodna Slovenija	-14	-6	<b>0.20</b>
celotna Slovenija	-15	-8	<b>0.31</b>

Trendi primanjkljajev se med seboj razlikujejo, vendar je za vse regije značilen negativen trend (primanjkljaj se povečuje). Najbolj se primanjkljaj povečuje v severni Sloveniji. Zabeležen trend je -19 % /10 let. Najnižji negativni trend ima severovzhodna Slovenija (manj kot 2 % /10 let). Ostale regije imajo podobne negativne trende, povprečno okoli 6 % / 10 let. Trendi so, razen za severovzhodno Slovenijo, statistično značilni. V tej regiji so bili primanjkljaji večjih razsežnosti že pogost pojav v preteklosti.

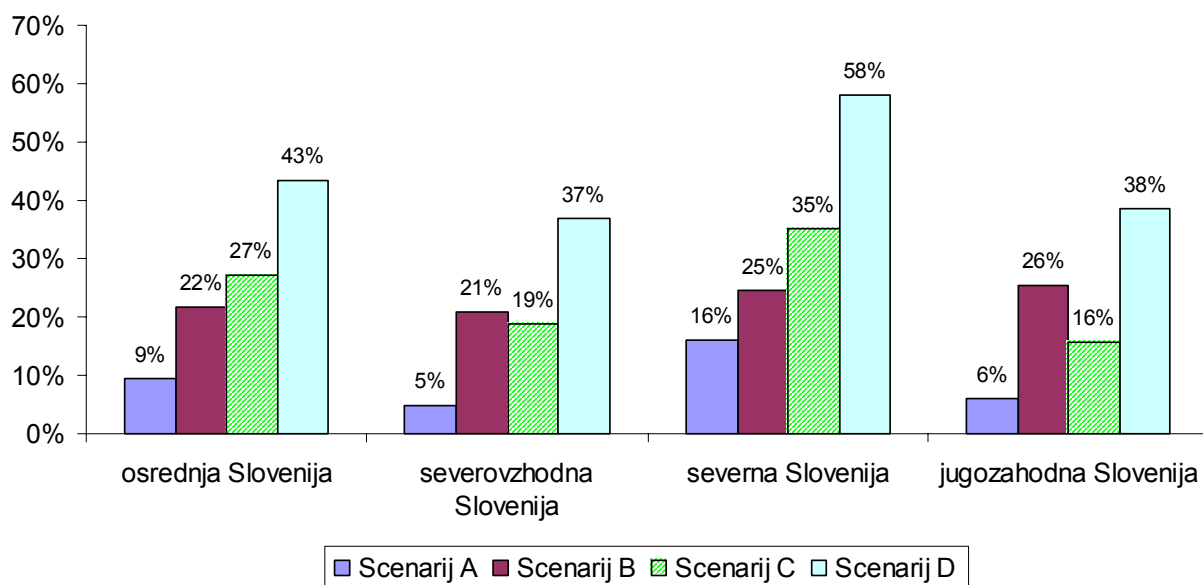
## 8.6 RANLJIVOST REGIJ NA SPREMEMBO VODNE BILANCE OB UPOŠTEVANJU PODNEBNIH SPREMEMB

Čeprav ne vemo natančno, kako bo podnebna sprememba vplivala na regionalne vodne vire, je jasno, da so vodni viri že danes zelo ranljivi. Vsak nadaljni stres zaradi podnebne spremembe ali povečane variabilnosti bo povečal tekmovalnost različnih sektorjev pri porabi vode. Trenutni stresi v globalnem smislu vključujejo: rast populacije, povečano porabo vode, prekoračeno porabo podtalnice, itd. Po vsej verjetnosti bodo direktni vplivi podnebne spremembe na vodne vire skriti znotraj podnebne variabilnosti. S toplejšim podnebjem lahko postanejo suše in poplave pogostejše, hujše in daljše. Potencialno povečevanje tveganja povzroča veliko skrb predvsem na področju vodnih virov in visokih stroškov, ki so povezani že z obstoječimi tveganji.

Podnebne scenarije, ki smo jih razdelili v štiri skupine, predvidevajo dvig povprečne temperature v Sloveniji za 1 ali 3 °C in do 20% manj padavin v naslednjih pedesetih letih. Na osnovi teh scenarijev smo izračunali povečanje ekstremnih primanjkljajev vode v tleh v posamezni regiji (graf 8.6.1).

Ugotovili smo, da se bo najbolj povečal ekstremni primanjkljaj v severni Sloveniji (po najhujšem scenariju za 58%). Pri ostalih regijah se bo ekstremni primanjkljaj po scenariju D povečal za blizu 40%. Po scenariju B, ki predvideva dvig temperature za 3 °C brez spremembe padavin, se velikost primanjkljaja v vseh regijah poveča podobno (povprečno za 20%). Za severovzhodno in jugozahodno Slovenijo, za razliko od ostalih dveh regij, scenarij B predvideva povečanje ekstremnega primanjkljaja za več kakor scenarij C. To lahko pripišemo dejstvu, da v teh dveh regijah pade bistveno manj padavin v vegetacijski dobi kot v severni in osrednji Sloveniji in 20% zmanjšanje padavin ne poveča primanjkljaja toliko kot pri scenariju B.

Graf 8.6.1: Vpliv različnih scenarijev na povečanje ekstremnih primanjkljajev vode v tleh



Suša v letu 2003 je pokazala, kakšne posledice podnebnih sprememb lahko pričakujemo v primeru, če se bo močno spremenila pogostnost in trajanje suš v Sloveniji.

## 8.7 LETO 2003 – PRIMER NAJHUJŠEGA PRIMANJKLJAJA V OBDOBJU 1961-2003

V obravnavi vpliva podnebnih sprememb smo upoštevali štiri podnebne scenarije, leta 2003 je tako temperaturno kot padavinsko presešlo vse obravnavane scenarije, zato ga lahko obravnavamo kot modelski primer še večjih sprememb kot so bile upoštewane v analizi. V nadaljevanju so prikazane vremenske razmere in stanje kmetijskih rastlin v spomladanskem in kasneje v poletnem obdobju leta 2003.

### 8.7.1 SPOMLADANSKA SUŠA 2003

Leta 2003 se srečujemo z ekstremno zgodnjim pojavom negativne vodne bilance v tleh. Že marec se je uvrstil med suhe in relativno tople mesece. Bil je za pol stopinje toplejši v osrednji Sloveniji in blizu povprečja v severovzhodnem, jugozahodnem ter v severnem delu države. Temperature zraka so v jutrih še padle pod ničlo, vendar se je čez dan ogrelo na 10 °C, v posameznih dneh so se najvišje temperature tudi v osrednji Sloveniji dvignile čez 19°C. V dolgoletnem povprečju je marec relativno suh mesec, zato tudi ime sušec. V povprečju je najbolj moker v zahodnem delu Slovenije, kjer beležimo od 90 do 160 mm, osrednja in

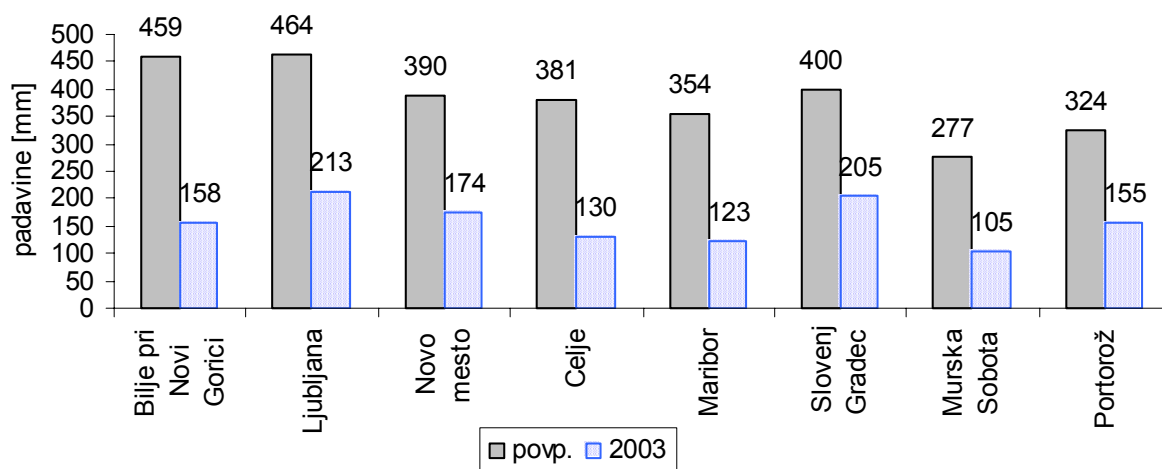
vzhodna Slovenija v tem času dobila od 50 do 70 mm padavin, najmanj pa severovzhodni del države, le 40 mm.

Marec je bil suh v vseh regijah. Povsod po Sloveniji je padlo le nekaj kapelj dežja (Ljubljana 3.4 mm, Murska Sobota 1.5 mm). Po pregledu podatkov za zadnjih petdeset let za Ljubljano, smo podobne marce beležili v letih 1996, 1972 in 1968, ko so bile izmerjene količine padavin pod 20 mm.

V prvi polovici aprila smo po sušnem marcu končno beležili prve padavine, ki so za kratek čas zapolnile talni vodni rezervoar in pripomogle k izboljšanju razmer. Skupna mesečna količina padavin aprila je bila v večjem delu Slovenije med 60 in 80 mm, med 40 in 50 mm v severovzhodni Sloveniji, v Prekmurju le 30 mm. Vse od sredine aprila do prvih dni junija so bile količine padavin kritične.

Tudi majski dež je bil izredno skromen v severovzhodni in jugozahodni Sloveniji, saj so skupne količine dosegle vrednosti od 22 mm na obali, do 41 mm v Pomurju. Te padavine so bile večinoma posledica močnejših krajevnih nalivov kot na primer 11. maja v Murski Soboti, ko je ob tem nalivu padlo večji del majske količine (26.4 mm) oziroma 20. in 26. maja, ko so bile nevihte v večjem delu Slovenije. Te padavine niso nikjer v Sloveniji bistveno izboljšale vodne bilance.

Graf 8.7.1.1: Višina padavin (v mm) za obdobje od 1. marca do konca junija 2003 v primerjavi s povprečjem 1961-2002 za izbrane meteorološke postaje v Sloveniji



Junij so zaznamovale ekstremno visoke temperature zraka za ta čas in so več kot pol meseca povsod po Sloveniji, razen v višinskih predelih, krepko presegale 30°C. Povprečna temperatura zraka je bila v večjem delu države kar za 5 do 7°C višja od dolgoletnega povprečja. V Ljubljani je dolgoletna povprečna junijska temperatura (1961-1990) 17.6 °C, z dvema dnevoma z maksimalno temperaturo zraka nad 30°C. Junijska temperatura je bila 24°C, do konca junija pa smo beležili kar 16 dni z najvišjimi vrednostmi nad 30°C.

Tudi junija nismo beležili večjih padavin. Skupne količine dežja, ki so bile večinoma posledica lokalnih neviht, niso popravile stanja vodne zaloge v tleh. Lokalni nalivi so prinesli količine pod 10 litrov dežja na m<sup>2</sup>, zato so se ekstremne sušne razmere nadaljevale še ves junij. Skupna količina dežja od začetka marca do zadnjih dni junija je dosegala 30 do 50 % dolgoletnih vrednosti povsod po Sloveniji (ta čas običajno pade od 300 do 400 mm dežja).

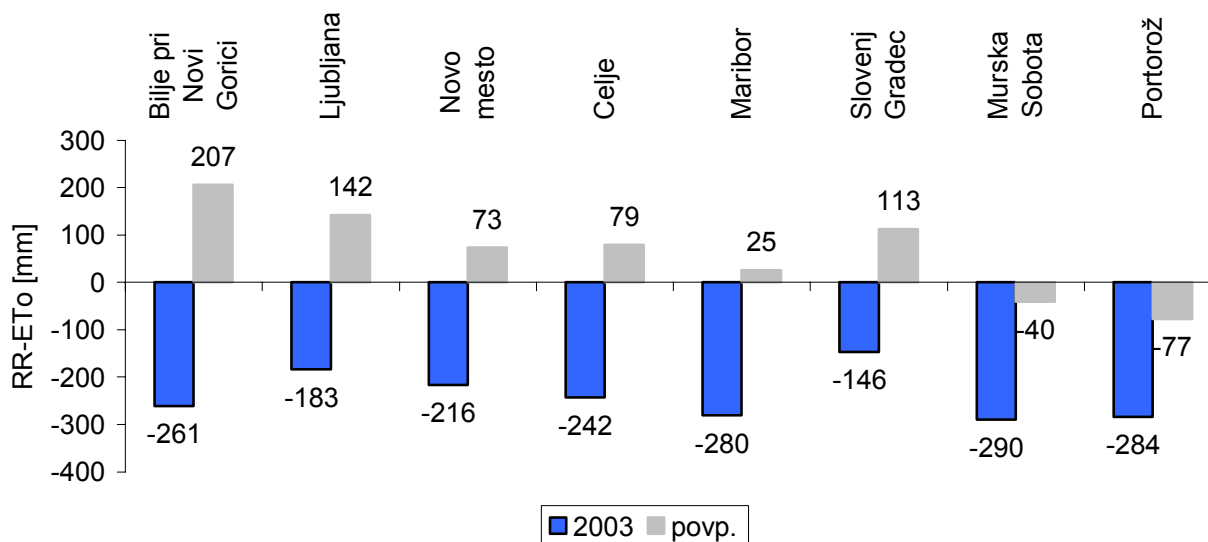
Junija je bilo tudi ekstremno visoko izhlapevanje; v več zaporednih dneh je iz tal in rastlin izhlapelo več kot 6 mm vode dnevno. V primerjavi s preteklimi leti je junij 2003 po številu dni z evapotranspiracijo nad 5 mm presegel vse rekorde, saj jih je bilo do konca junija v večjem delu Slovenije kar 15 do 20. Razen nadpovprečnega sončnega obsevanja je k temu prispevala tudi relativno močna prevetrenost. To je še dodatno izčrpavalo rastline v sušnem stresu, kar je bilo razvidno tudi iz zvijanja listov in osmojenih konic koruznih posevkov in tudi ostalih poljščin.

### Spomladanski potencialni primanjkljaj vode za kmetijske rastline

Spomladanski potencialni primanjkljaj vode za rastline 2003 smo opisali s pomočjo porabe vode iz travne ruše, ki je visoka 10 do 15 cm in stalno zadostno preskrbljena s talno vodo. Primerjava vodne bilance leta 2003 s podatki dolgoletnega obdobja 1961-2002 kažejo, da je vodna bilanca posameznih mesecev v vseh regijah dosegla rekordne negativne vrednosti že marca, saj je bila v večjem delu Slovenije krepko pod dolgoletnim povprečjem, primanjkljaj je bil okoli 50 mm. Aprila je bila kumulativna mesečne vodne bilance najnižja v severovzhodni Sloveniji, skupno je bil primanjkljaj med 30 in 40 mm, v drugih regijah je bil primanjkljaj manjši, čeprav večinoma pod dolgoletnim povprečjem. Ekstremno velik primanjkljaj je pokazal mesec maj.

Slaba oskrba rastlin z vodo, kjer seveda te niso reševali z namakanjem, je presegala vse rekorde. V obdobju od začetka marca do zadnjih dni junija smo tako skupaj zabeležili blizu 300 mm primanjkljaja vode (razlike med padavinami in evapotranspiracijo) v jugozahodni in severovzhodni Sloveniji, s hudim deficitom pa so se otepile tudi vse ostale kmetijske regije. V primerjavi s povprečnimi vrednostmi primanjkljaj 2003 podira vse rekorde.

Graf 8.7.1.2: Primerjava kumulativne vodne bilance (v mm) za obdobje od 1. marca do konca junija 2003 v primerjavi s povprečjem 1961-2002 za izbrane meteorološke postaje v Sloveniji



Primerjava celotnega obdobja od začetka marca do konca junija leta 2003 z dolgoletnim povprečjem 1961-2002 kažejo, da smo podobne ekstremne vrednosti beležili v posameznih regijah v letih 1993 in 1997.

Povprečne vrednosti vodne bilance kažejo, da je problem pomanjkanja vode v jugozahodnem in v severovzhodnem delu države v tem obdobju pogost pojav, v ostalih



regijah, predvsem na Koroškem, Goriškem ter v osrednji Sloveniji pa v tem obdobju še ne beležimo primanjkljaja, zaloga vode je v povprečju še med 100 in 200 mm.

Vode je primanjkovalo tudi v podtalnici in na površinskih vodotokih, saj so bili prenekateri vodotoki že na robu najmanjšega pretoka. Posledice nizkovodnih hidroloških razmer so se odražale pri oskrbi z vodo, predvsem na območjih vodooskrbnih sistemov z majhnimi in občutljivimi hidrološkimi zaledji, povečala se je tudi občutljivost vodnega in obvodnega okolja na onesnaženje.

Poleg vseh vremenskih nevšečnosti, so se še pred začetkom uradnega meteorološkega poletja, v številnih krajih srečevali z močnim nalivi, ki so se ponekod sprevrgli v prava neurja z močnimi sunki vetra, intenzivnimi padavinami in točo. Zaradi izredne suše smo beležili tudi številne požare v naravnem okolju.

Suša je v tem obdobju povzročila škodo na kmetijskih rastlinah, predvsem ozimnih in jarih žitih. Najbolj je to obdobje brez padavin prizadelo travno rušo, saj je bil že prvi odkos razredčenega travinja manjši, po košnji pa se nova trava sploh ni obraščala, obsežna območja travinja so bila hudo prizadeta. Prizadetost se je zelo razlikovala glede na nagib zemljišča in tip tal. Najbolj so bile prizadete površine z velikimi nagibi in površine na prodnatih tleh.

Na koruznih poljih je bila v tem v obdobju stopnja poškodovanosti rastlin odvisna od same sorte, globine in tipa tal ter tudi od nagnjenosti terena. Vzrok slabi rasti koruze na nekaterih območjih je potrebno iskati tudi v neugodnem terminu setve, kajti tla so bila konec aprila z vodo že marsikje slabo preskrbljena – predvsem zgornji setveni sloj tal. Posledica je bila slaba gostota posevkov, posejanih maja. Podobno je bilo v tem obdobju stanje tudi pri oljnih bučah in sladkorni pesi.

Dolgotrajna suša je močno prizadela tudi krompirjeve nasade po vsej državi. Pridelava zelenjave brez namakanja ne dosega ustrezne kakovosti tudi v povprečno namočenih letih, zato je bila škoda v letu 2003 še večja. Predsem vznik čebule in drugih zelenjadnic po spomladanski setvi je bil kasen in manjši.

Na sadnem drevju so bile posledice opazne v mladih nasadih, prav tako je bila škoda opazna tudi v trsnicah. Pri trajnih nasadih v tem obdobju še ni bilo opaznih posledic suše.

### **Kartografski prikaz spomladanske suše 2003**

Prostorsko analizo ocene jakosti kmetijske suše spomladi 2003 smo izvedli na osnovi 212-ih meteoroloških (padavinskih in klimatoloških) postaj po Sloveniji. Le na 33-ih klimatoloških postajah je bil, z obstoječim naborom merjenih spremenljivk, možen izračun evapotranspiracije. Vodno bilanco okoliških padavinskih postaj smo izdelali na podlagi najbližje referenčne klimatološke postaje. Za vse meteorološke postaje smo izračunali potencialno in referenčno evapotranspiracijo in vodno bilanco (padavine minus evapotranspiracija) za obdobje od 1. marca do 30. junija 2003 za privzeto travnato površino s koreninsko globino 15 cm v kategoriji tal z majhno do srednjo kategorijo vodne retenzije.

Vsebnost tal za vodo smo določili na osnovi točkovnih podatkov za izbrane srednje globoke talne tipe s srednjo zadrževalno sposobnostjo za vodo (združba tal na produ in pesku). Izračuni za ostale talne tipe dajejo relativno podobne razlike med razredi, le vrednosti so pri lažjih tleh premaknjene k višjemu primanjkljaju, pri težjih tleh pa k nižjemu. Geokodirana prostorska pedološka karta z natančno opredelitvijo zadrževalne sposobnosti vseh najpomembnejših talnih tipov bi natančnost analize močno povečala. Prav tako bi natančnost karte povečal podatek o rabi kmetijskih tal in podatki o fenološkem razvoju rastlin. Pri interpretaciji prostorske predstavitve kmetijske suše je zato nujno upoštevati, da je na karti

predstavljena le meteorološko določeno stopnja porabe vode iz tal in rastlin v obliki vodne bilance oziroma primanjkljaja vode za referenčna tla in rastline.

Na osnovi merjenih točkovnih vrednosti smo izračunali vodno bilanco in izdelali karto prostorske porazdelitve vodnega primanjkljaja v Sloveniji z upoštevanjem referenčnih tal in rastlin. Uporabili smo geostatistični programski paket GSTAT z metodo splošnega kriginga z upoštevanjem nadmorske višine.

Glede na dobljene rezultate smo Slovenijo razdelili na 4 cone po intenzivnosti kmetijske suše v obdobju od 1. marca do konca junija 2003:

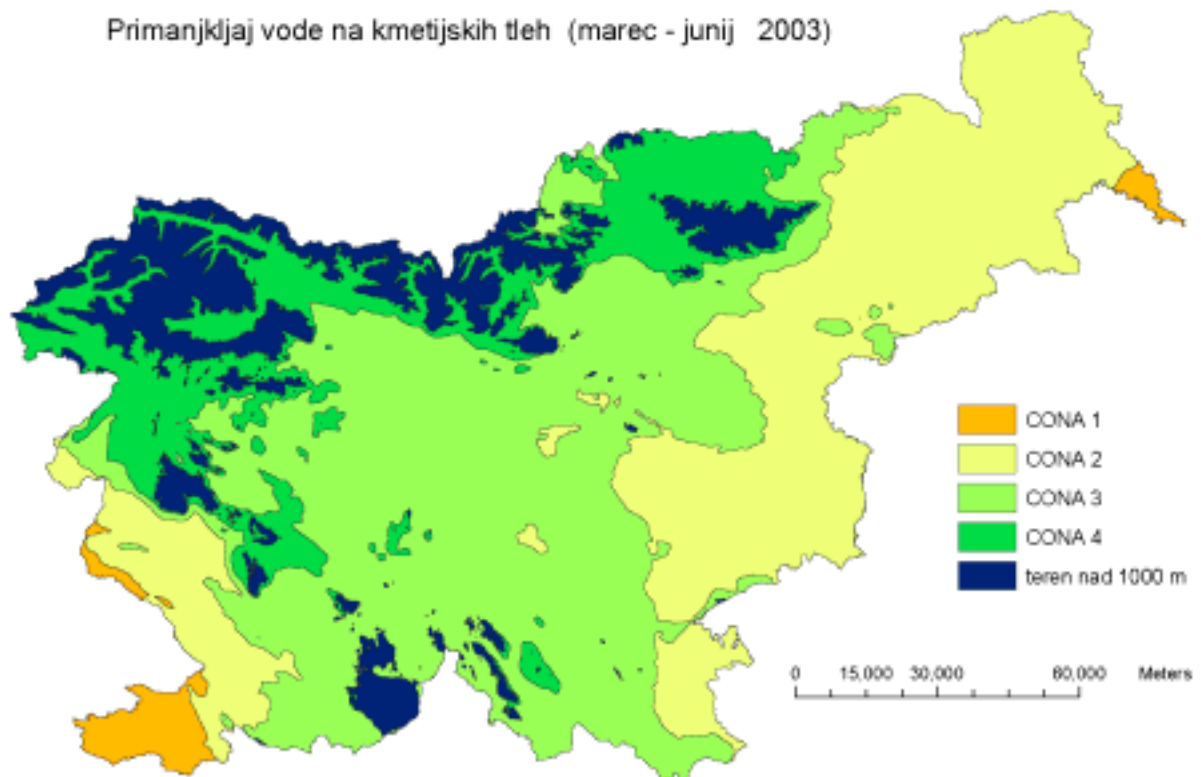
- cona 1: predstavlja območje Primorja, Slovenske Istre, JZ del Kraškega roba, Z del Vipavske doline in del Pomurja, kjer je bil primanjkljaj vode v tem obdobju največji (več kot 210 mm)
- cona 2: označuje območje z velikim primanjkljajem in obsega večji del severovzhodne Slovenije, Štajersko, Slovenske Gorice, Dravsko-Ptujsko polje, Kozjansko, Haloze, del Zasavja, Dolenjsko, Posavje, Krško-Brežiško kotlino, Belo Krajino, na zahodu Goriška Brda, Kras, V del Vipavske doline, Brkine (170 do 210 mm)
- cona 3 predstavlja večji del osrednje Slovenije, del Notranjske, Zgornjesavsko dolino, Kočevsko, Suho Krajino, Savinjsko dolino, del celjske regije in obrobje cone 2 (170 do 130 mm)
- cona 4: z najmanjšim primanjkljajem so alpske doline v zahodnem delu Slovenije in na Koroškem, Pohorje, višje ležeča območja) (130 mm in manj)

Območje nad 1000 m nadmorske višine ne predstavlja intenzivnih kmetijskih površin.

Slika za celotno obravnavano obdobje prikazuje sezonski primanjkljaj vode s podatki o travinju, katerega razvoj je sovpadal z obdobjem pomanjkanja. Poleg tega je bila izdelana tudi analiza porabe vode pri pšenici na vseh obravnavanih točkah. Območja s pridelavo pšenice so bila do konca junija po količini porabe še za 50 do 70 mm v večjem primanjkljaju kot travnate površine. Pri tem ni bil upoštevan vpliv različnih pedoklimatskih tipov, tehnologije pridelave, posledic vodnega stresa na rastline in njihovo fiziologijo, pogostnosti in intenzivnosti padavin, površinskega odtoka vode na nagnjenih površinah ob kratkotrajnih poletnih nevihtah. Prav tako niso bile upoštevane sicer ne preveč obsežne površine namakalnih sistemov in številnih drugih dejavnikov, ki lahko vplivajo na preskrbljenost rastlin z vodo.

Natančnejšo analizo pa nam bi, zaradi reliefne in klimatske razgibanosti Slovenije, omogočala tudi gostejša mreža meteoroloških postaj, predvsem v kmetijskih regijah, potrebna pa bo tudi analiza suše z uporabo satelitskih posnetkov visoke ločljivosti.

Slika 8.7.1.1: Prostorski primanjkljaj vode na kmetijskih tleh v Sloveniji od marca do junija 2003 (Sušnik in Dolinar, ARSO)



Prikazani podatki o meteorološkem stanju, vodni bilanci kmetijskih rastlin in analiza trendov ter primerjava z obdobjimi statističnimi vrednostmi jasno kažejo, da so od spomladi do zgodnjega poletja vladale ekstremne vremenske razmere. Za sušo najranjivejšim območjem v Sloveniji, ki so se že v preteklosti srečevala s problemom pomanjkanja vode v obdobju intenzivne rasti in razvoja kmetijskih rastlin, so se pridružila tudi ostala območja v Sloveniji.

Dejstvo pa je, da so sušne razmere v tem zgodnjem obdobju novost za določena območja, ki se s sušo do sedaj niso srečevala (na primer Goriška in osrednja Slovenija) in so pridelavo v preteklosti delno ovirale le poletne suše (konec julija in začetek avgusta).

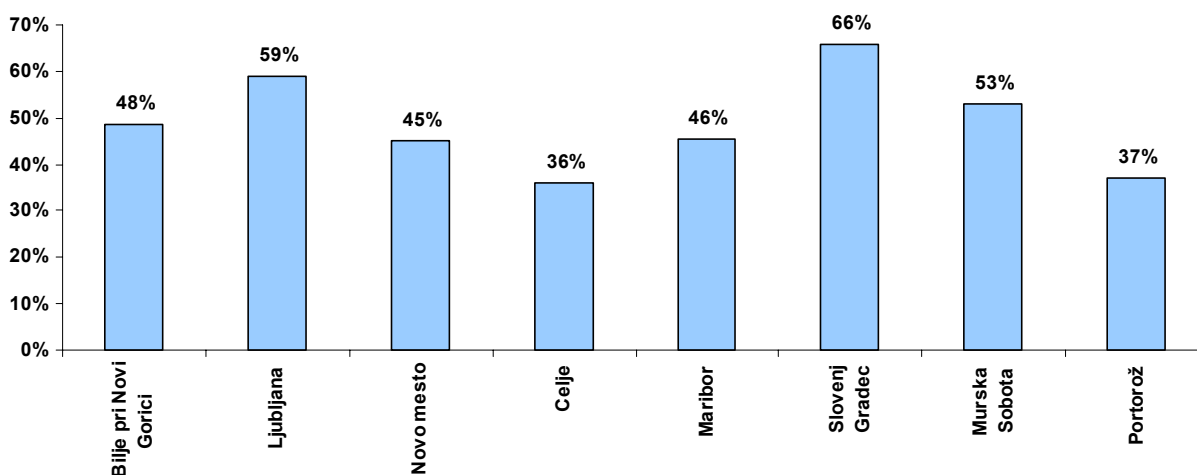
Spomladanska suša je že povzročila škodo na kmetijskih rastlinah, predvsem na ozimih. Testne gravimetrične meritve talne vlage v zgornjem sloju tal pod travinjem so potrdile, da se količine vode približale točki venenja, to je tisti kritični količini vode, ki rastlinam ni več dostopna.

Suša se je nadaljevala tudi v poletje in zaradi prizadetih kultur v tem obdobju, smo ločeno analizirali tudi ta del suše. Zaradi lažje primerjave stanja smo analizirali celotno obdobje od marca do konca avgusta.

## 8.7.2 POLETNA KMETIJSKA SUŠA 2003 V SLOVENIJI

Julij je bil nadpovprečno vroč, temperature zraka so bile v Sloveniji za 2°C višje od dolgoletnega povprečja. Na Primorskem je bila povprečna temperatura zraka 24.5°C, v Pomurju 22.1°C, v osrednji Sloveniji 22.6 °C, tudi v drugih kmetijskih regijah so julijske povprečne temperature presegle 22°C. Beležili smo ekstremno veliko število dni z maksimalno temperaturo zraka nad 30°C. V Ljubljani jih je povprečno 5, leta 2003 smo jih beležili 13. Na Primorskem jih je bilo julija 23, v Pomurju 11. Temu primerno je bilo visoko tudi izhlapevanje. Julija je na Primorskem in Goriškem skupno padlo le 17 do 35 litrov dežja na m<sup>2</sup>, v osrednji Sloveniji 120 mm, na Dolenjskem in Štajerskem pa od 40 do 80 mm.

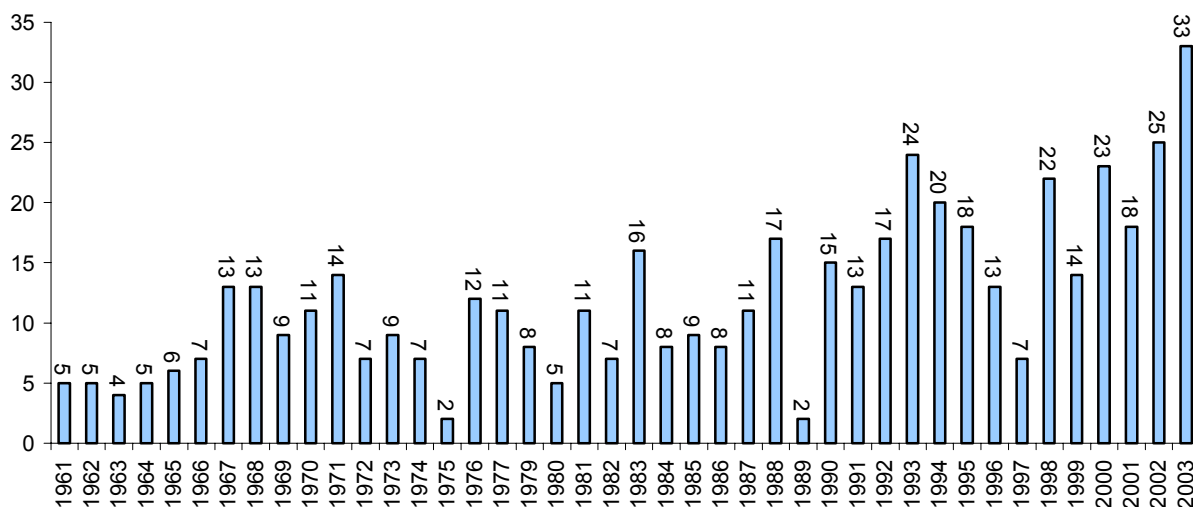
Graf 8.7.2.1: Delež padavin (v %) za obdobje od marca do konca avgusta 2003 v primerjavi s povprečjem 1961-2002 za izbrane meteorološke postaje v Sloveniji



Poleg suše so se v številnih krajih, ob sicer redkem dežju, srečevali z močnim nalivi, ponekod z neurji z močnimi sunki vetra, intenzivnimi padavinami in točo. Eno takih neurij je 28. julija prizadelo Dolenjsko, Štajersko, Koroško in del osrednje Slovenije. Na Koroškem smo beležili tudi ekstremni kratkotrajni - petminutni naliv, ki je presegal 100 letni rekord. V petih minutah je padlo 23 mm dežja, do sedaj je bila najvišja vrednost 15 mm. Tudi v Ljubljani smo tega dne beležili ekstremni naliv, skupno je tega dne padlo 65 litrov dežja na m<sup>2</sup>. Deževalo pa je tudi v ostalih regijah Slovenije, le da so bile količine zelo majhne.

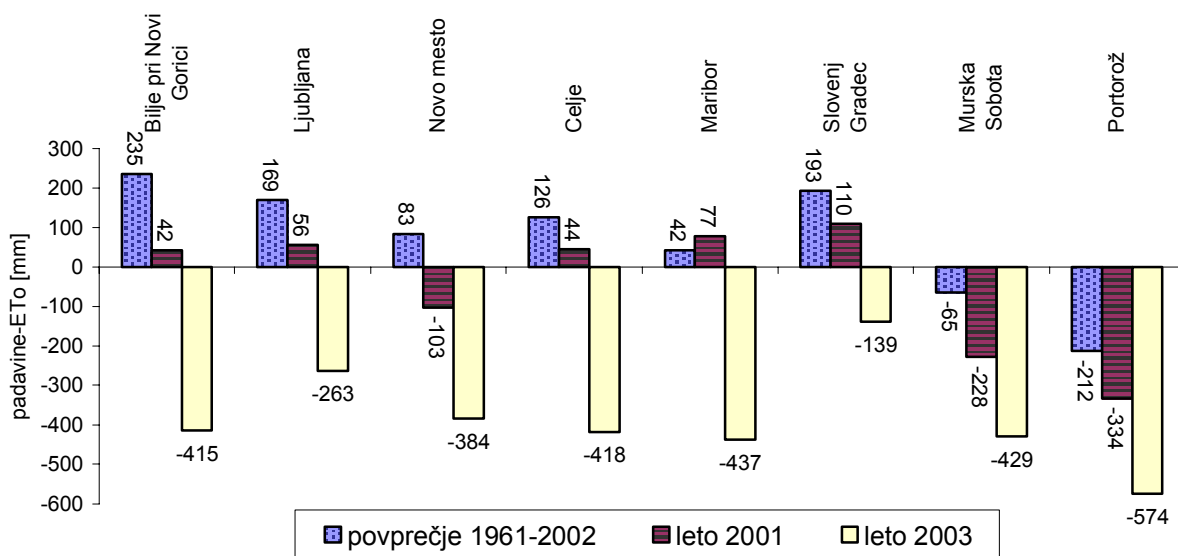
Avgust je bil izjemno vroč, povprečne temperature zraka so na Primorskem presegle 25°C, drugod po Sloveniji so se približale 24°C. V Ljubljani je bilo 19 vročih dni, v Pomurju 26 dni in na Primorskem 30 dni. Nenavadno visok primanjkljaj padavin junija, julija in avgusta in visoke temperature so sprožale močno izhlapevanje iz tal in iz rastlin. Šest litrov vode na m<sup>2</sup> tal izhlapi dnevno le v zelo aridnih krajih.

Graf 8.7.2.2: Število dni z izhlapevanjem vode iz tal in rastlin večjim od 5 litrov na m<sup>2</sup> na dan v Ljubljani (1961-2002) v vegetacijskem obdobju



Še posebno v avgustu, smo se srečevali z vrednostmi porabe vode nad 6 mm tudi v osrednji Sloveniji in ne le na Primorskem in v Prekmurju, kjer ta ekstrem poznamo že iz preteklosti. Tu smo v vegetacijskem obdobju beležili skupno kar 33 dni, ko je iz travnatih površin izhlapelo več kot 5 litrov vode na m<sup>2</sup>, kar je 22 dni več od dolgoletnega povprečja. Tak porast dnevne porabe vode iz tal in rastlin je opazen še posebno v zadnjih desetih letih (graf 8.7.2.3).

Graf 8.7.2.3: Primerjava kumulativne vodne bilance (padavine minus potencialna evapotranspiracija v mm) za obdobje od marca do konca avgusta 2003 v primerjavi s povprečjem 1961-2002 in letom 2001 za izbrane meteorološke postaje v Sloveniji



V avgustu je na obalnem območju padlo le 30 mm dežja, v večjem delu osrednje Slovenije okrog 70 mm in v Pomurju 50 mm. To je le 50 do 70 % dolgoletnih povprečnih vrednosti. Padavine niso izboljšale stanja vodne zaloge na kmetijskih tleh. Skupno je v večjem delu Slovenije v obdobju od marca do konca avgusta padlo le 40 do 70 % dolgoletnih padavin (graf 8.7.2.1).

V obdobju od začetka marca do zadnjih dni avgusta je bil skupni primanjkljaj vode za travinje na Primorskem blizu 500 mm, med 400 in 450 mm na Goriškem, v Prekmurju, na celjskem, Dolenjskem in Štajerskem, v osrednji Sloveniji do 350 mm (tabela 8.7.2.1). Pri koruzi je dejanski primanjkljaj izračunan za krajše časovno obdobje - od maja dalje. Leto 2003 je v vseh regijah preseglo ekstremne dolgoletne vrednosti in lahko trdimo, da v zadnjih petdesetih letih še nismo beležili tako visokega vodnega primanjkljaja v tem obdobju. Slaba oskrba rastlin z vodo, kjer seveda to niso reševali z namakanjem, je presegala vse rekorde. Vrednosti potencialnega primanjkljaja so bile v primerjavi z dejanskimi še višje (graf 8.7.2.3), prav tako v primerjavi z letom 2001.

Suša je v spomladanskem obdobju vse do žetve povzročila škodo predvsem na ozimnih in jarih žitih. Pomanjkanje padavin je hudo prizadelo tudi travno rušo, saj je bil že prvi odkos razredčenega travinja manjši, po košnji pa se nova trava sploh ni obraščala, obsežna območja so bila hudo prizadeta. Prizadetost se je zelo spreminjala glede na naklon zemljišča in tip tal.

Na koruznih poljih je bila v poletnem obdobju stopnja poškodovanosti rastlin odvisna od same sorte, globine in tipa tal ter tudi od nagnjenosti terena. Bilance kažejo, da je bila koruza na območju plitvih obrečnih tleh blizu točke venenja že večji del vegetacijske sezone, s prvim primanjkljajem vode že v zgodnjem obdobju maja in cel junij. Sušni stres se je nadaljeval tudi julija, bilanca se je le malo popravljala tam, kjer so bile lokalne padavine. Pridelava zelenjave brez namakanja ne dosega ustrezne kakovosti tudi v povprečno namočenih letih, zato je bila vprašljivost uspešne pridelave na nenamakanih površinah še večja. Podobno lahko trdimo tudi za pridelavo hmelja. Na sadnem drevju so bile posledice najhuje opazne v mladih nasadih, prav tako je bila škoda opazna tudi v trsnicah. Pri trajnih kulturah (vinogradi, oljke, sadno drevje) je v tem obdobju težko govoriti o posledicah, saj so bile rastline v najbolj kritičnih fazah brez vode in bo pomanjkanje, ki je opazno že danes, možno natančneje oceniti šele po obiranju. Prve ocene ne napovedujejo nič dobrega, saj je, poleg navedenega, stanje v letu 2003 poslabšala še spomladanska pozeba.

### **Kumulativna vodna bilanca (v mm) v sušnem obdobju 2003 za 34 meteoroloških postaj v Sloveniji**

Potencialni primanjkljaj vode za rastline smo opisali s pomočjo porabe vode iz travne ruše (obdobje 1. 3. do 31. 8. 2003), ki je visoka 10 do 15 cm in stalno zadostno preskrbljena s talno vodo ter za koruzo srednjega zrelostnega razreda (obdobje 1. 5. do 31. 8. 2003). Na vseh meteoroloških postajah smo izračunali potencialno in referenčno evapotranspiracijo in vodno bilanco (padavine minus evapotranspiracija) za tla z majhno do srednjo kategorijo vodne retenzije. V analizo je vključenih 34 meteoroloških postaj

Primerjava vodne bilance s podatki dolgoletnega obdobja 1961-2002 kažejo, da je vodna bilanca posameznih mesecev v vseh regijah dosegla rekordne negativne vrednosti.

Tabela 8.7.2.1: Količina primanjkljaja vode za koruzo in travinje v sušnem obdobju 2003 za 34 meteoroloških postaj ARSO

meteorološka postaja	količina primanjkljaja za koruzo od 1. 5. do 31. 8. 2003 [mm]	količina primanjkljaja za travinje od 1. 3 do 31. 8. 2003 [mm]
Brnik	361	303
Preddvor	339	325
Planina pod Golico	153	118
Rateče-Planica	235	151
Bilje pri Novi Gorici	418	425
Slap	391	392
Godnje	419	441
Postojna	338	342
Nova vas na Blokah	363	322
Kočevje	324	302
Topol-Katarina	372	325
Ljubljana-Bežigrad	348	321
Sevno na Dolenjskem	370	328
Bizeljsko	384	438
Malkovec	373	375
Novo Mesto	382	408
Črnomelj-Dobliče	393	405
Celje	369	407
Velenje	368	370
Slovenske Konjice	379	413
Starše	396	390
Maribor-Tezno	380	385
Maribor-letališče	387	408
Šmartno pri Sl. Gradcu	260	307
Polički vrh	364	362
Turški vrh	383	377
Jeruzalem	365	365
Lendava	424	467
Veliko Dolenci	395	412
Lesce	357	265
Metlika	406	414
Lisca	353	355
Portorož –letališče	444	456
Bohinjska Češnjica	135	140

Na osnovi spomladanskega primanjkljaja 2003 je bila Slovenija prostorsko razdeljena v pet con. Zaradi nadaljevanja suše se je stanje v poletje še poslabševalo. Primerjava kaže, da se je v regijah relativni delež primanjkljaja do konca poletja glede na spomladanskega povečal za blizu 100 % v vseh regijah, največ v regiji 4 za 132%. S tem se prostorska porazdelitev primanjkljaja ni porušila in meje con se niso spremenile tudi do konca poletnega obdobja. Rekordni vodni primanjkljaj v obdobju od marca do avgusta leta 2003 se je v kmetijskih regijah gibal med 260 in 570 mm.

Glede primanjkljaja vode v tleh leta 2003 smo območja kmetijskih zemljišč razvrstili v 5 con:

- 1. cona za območja z največjim primanjkljajem, ki presega 430 mm,
- 2. cona za območja z velikim primanjkljajem, od 360 do 430 mm,
- 3. cona za območja z zmernim primanjkljajem, od 280 do 360 mm,
- 4. cona za območja z manjšim primanjkljajem, ki ni večji od 280 mm,
- 5. cona za območja nepomembnega primanjkljaja vode (območja z nadmorsko višino nad 1000 m).

## 8.8 NEGOTOVOSTI OCENE

### Negotovost analize primanjkljaja od izbrane metode za izračun $ET_0$

Pri obdelavi vhodnih podatkov za izračun primanjkljaja vode v tleh smo morali zagotoviti popoln niz podatkov o padavinah in referenčni evapotranspiraciji. Manjkajoče vhodne podatke smo interpolirali z uporabo modificirane Antalove in Hargreavesove metode. Modificirani alternativni metodi na osnovi Penman-Monteithove enačbe v primerjavi z originalnimi izračuni za 5 do 8 % spremenijo ocene  $ET_0$ . Z oceno  $ET_0$  je povezana tudi stopnja negotovosti izračuna primanjkljaja.

### Negotovost analize primanjkljaja od vrste tal

Velikost primanjkljaja smo izračunali glede na količino rastlini dosegljive vode v povprečnem tipu tal, kot hipotetično rastlino smo uporabili travo z globino koreninjenja 15 cm. Tako smo pri analizi upoštevali le zgornji sloj tal. Razpoložljiva talna vlaga v tej globini je najmanjša pri tipu 1 (23.6 mm) in največja pri tipu 6 (37.7 mm). Zaradi tega obstaja tudi razlika med tipom tal 1 in tipom tal 6, ki znaša 42 %. Pri tem odstotku se velikosti primanjkljaja od tipa 1 do tipa 6 v vegetacijskem obdobju spremeni povprečno največ za 12 % v obdobju 1961-2000. Iz tega lahko sklepamo, da se zaradi upoštevanja različnih talnih tipov lahko končna ocena pojava sušnih obdobji razlikuje za eno več ali eno manj. To to potrjuje, da je prostorsko poznavanje lastnosti tal pri takih analizah zelo pomembno.

### Negotovost analize primanjkljaja ob uporabi podnebnih scenarijev

Višje napovedane temperature zraka bodo povečevale tudi referenčno evapotranspiracijo. To bi ob morebitnem zmanjšanju količine padavin lahko privedlo do pogostejših in intenzivnejših suš. V naši študiji nismo upoštevali morebitnih sprememb sončnega obsevanja in vetrovnost (Bergant, 2003).

## 8.9 NABOR IN PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV

Gostota mreže meteoroloških opazovalnic in obseg meritev na posameznih merilnih mestih na območju Slovenije sta usklajena s priporočili Svetovne meteorološke organizacije. Standarizirana merila upoštevacjo podnebne značilnosti in relief. Za območje Slovenije je tako priporočena razdalja med merilnimi mesti za padavine 10-15 km, za ostale meteorološke elemente pa 30 km. Na izrazito goratem svetu je zaradi določitve vertikalnih gradientov priporočena še večja gostota postaj. Za potrebe poznavanje podnebja je pomembno tudi kontinuirano merjenje spremenljivk na določeni lokaciji v daljšem časovnem obdobju. Poleg meritev je potrebno zagotoviti tudi potrebno kalibracijo instrumentov, redno vzdrževanje mreže in kakovostno kontrolo merilnikov ter samih podatkov.

Za natančnejše regijsko spremljanje stanja vremena in potrebnih meteoroloških spremenljivk za potrebe kmetijske pridelave dosedanja monitoring omogoča le prostorsko interpretacijo na



širši regijski prostor. Za specifične analize (vodna bilanca kmetijskih rastlin, fitopatološki modeli, minimalne temperature), ki so vezane na kmetijsko pridelavo, je obstoječa mreža pregroba.

Natančnejšo analizo nam bi omogočala tudi gostejša in s specifičnimi merilniki opremljena mreža standardiziranih agrometeoroloških postaj, predvsem v kmetijskih regijah. Menimo, da bi principe izvedbe meteorološkega obratovalnega monitoringa morali pri svojem delovanju upoštevati tudi pri začetnem vzpostavljanju posebnih monitoringov za specifične namene pri Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Izkušnje namreč kažejo, da se začetna večja investicija v kvalitetno meteorološko postajo dolgoročno najbolj izplača. Meteorološke postaje nižjih kvaliteten razredov sčasoma izgubljajo na kvaliteti, če ne izvajamo rednih vzdrževalnih del in tekoče kontrole merjenih podatkov.

Skupno bo poleg meteorološkega zemeljskega monitoringa potrebno razmišljati tudi o uporabi modernejših tehnik v meteorologiji za potrebe kmetijske stroke. Prostorsko ločljivost bi bistveno lahko izboljšala tudi uporaba satelitskih posnetkov visoke ločljivosti, radarskih posnetkov in drugih produktov daljinskega zaznavanja. Za to so interdisciplinarni pristopi, raziskave ter razvoj na tem področju nujni. Nujna je tudi izgradnja informacijskega agrometeorološkega sistema in monitoringa za specifične potrebe, kot je spremljanje vodne bilance. Poleg meritev mora vsebovati tudi rezultate modelov vodnobilančnih izračunov, na njihovi osnovi obveščanje in nenazadnje tudi ukrepanje stroke, države in splošne javnosti. Več o tem je opisano v poglavju 10.

Poleg vseh naštetih dejavnosti bo na področju oskrbe kmetijskih rastlin z vodo ob predvidevanih spremembah potrebno delovati v naslednjih smereh:

- 1. priprava preventivnih ukrepov (t.j. monitoring kmetijske suše z indikatorji)
- 2. priprava ukrepov upravljanja s sušnimi razmerami (interdisciplinarni pristop)
- 3. sprotnih analiz vpliva podnebnih sprememb na Slovenijo (nove GCM tehnike, regionalne analize)
- 4. dodelave metodologij ocene škod zaradi suše v sklopu Uredbe o metodologiji za oceno škode po naravnih nesrečah (ZOPNN, 2003)

V praksi so se že preizkušali številni pristopi za prilagajanja sušnejšim razmeram in spremembi oskrbe rastlin z vodo tudi preko tehnoloških ukrepov in sprememb kmetovanja. Ocene kažejo, da bo potrebna:

- sprememba setvene strukture in proizvodna usmeritev na kmetijah ter tehnologije pridelave (Naglič, 2003)
- sprememba kolobarja, za kar so nujni sortnoekološki poskusi in uvajanje na sušo odpornih vrst in sort,
- izboljšanje stanja tal ob sušnih razmerah s povečanjem humusa v tleh (Kapun, 2003)
- gradnja namakalnih sistemov tako, da ne pride do negativnih vplivov na okolje ter ob primerni zagotovitvi vodnega vira za namakanje,
- vodeno namakanje, s kontrolo namakanja z namakalnimi modeli ter z upoštevanjem meteoroloških razmer in vremenske prognoze za optimalno porabo vode ter za zagotovitev stalne in naravno usklajene pridelave kmetijskih rastlin na namakanih površinah,
- in nenazadnje zavarovanje kmetijske pridelave ob ekstremnih razmerah (razjasniti vprašanja vzajemnega zavarovanja in dodelave metodologije za oceno kmetijskih suš ter zavarovanj tveganj v kmetijstvu).

## 8.10 VIRI

- Allen, R.,G. in sod., 1998: Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements., FAO Irrigation and drainage paper, No. 56. , 300 s.
- Bergant, K., 2003: Projekcije simulacij globalne klime na lokalni nivo in njihova uporaba v agrometeorologiji, Biotehniška fakulteta, Doktorska disertacija,198 s.
- Commonwealth of Australia, 2003: Climate Glossary. Commonwealth Bureau of Meteorology <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/percent.shtml> (citirano 1.9.2003)
- Commission for Agricultural Meteorology, WMO-No. 951, 2003: Abridged Report with resolutions and recommendation, Thirteenth Session, Ljubljana, 10-18 October 2002, s. 24-25.
- Črepinšek, Z., 2002: Napovedovanje fenološkega razvoja rastlin na osnovi agrometeoroloških spremenljivk v Sloveniji, Biotehniška fakulteta, Doktorska disertacija,135 s.
- Doorenbos, J. in sod., 1984: Crop water requirements, FAO Irrigation and drainage paper, No. 24, 144 s.
- Estrela T, in sod., 2001: Sustainable water use in Europe. Environmental issue report No. 21, European environmental Agency (EEA), 84 s.
- European Environmental Agency (EEA), 2000. *Environmental signals 2000*. Environmental assessment report No. 6. Office for Official Publications of the EC, Luxembourg, 155 s. <http://themes.eea.eu.int/binary/s/signals2000.pdf>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by J.T. Houghton, Y. Ding, D.J.
- Kapun, S. Tehnološki ukrepi za zmanjšanje za zmanjšanje posledic suše; suša in pomursko kmetijstvo, Posvet Kmetijsko gozdarske zbornice, Gornja Radgona, s. 17-21
- Kajfež-Bogataj, L., 2001: Kakšna bo klima 21. stoletja? Zbornik Biotehniške fakultete, Univerza v Ljubljani, Kmet. 77-2, str. 309-318
- Kurnik, B. in Kajfež-Bogataj, L., 2002: Primerjava različnih metod za izračun referenčne evapotranspiracije v Sloveniji., Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Diplomsko delo, 66 s.
- Lloyd-Hughes, B., 2002: The Long-Range Predictability of European Drought. Mullard Space Science Laboratory, Department of Space and Climate Physics, University College London. 186 s.
- Matajc, I., 1980: Preučevanje evapotranspiracije trave kot osnova za prognoziranje namakanja, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Magistrsko delo, 99 s.
- Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, 2002. Poročilo o stanju okolja 2002. Ljubljana. s. 15-18.
- Ogallo, L.A., Boulahya, M.S., Keane, T., 2000: Applications of seasonal to interannual climate predictions in agricultural planning and operations. *Agricultural and Forest Meteorology* 103 (2000), NOS. 1-2, s. 159-166
- Naglič, M., 2003: Kako zmanjšati odvisnost kmetijstva od vremena? Posvet Kmetijsko gozdarske zbornice, Gornja Radgona, s. 5-7
- Pintar, M., 2003: Prednosti in slabosti različnih načinov namakanja. Kaj storiti za zmanjšanje posledic suše v kmetijstvu? Posvet Kmetijsko gozdarske zbornice, Gornja Radgona. s. 24-32
- Smith, M., 2000: The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. *Agricultural and Forest Meteorology* 103 (2000), NOS. 1-2, s. 99-108
- The Post and Courier, Charleston.net, 2003: [http://charleston.net/stories/082503/wor\\_21heat.shtml](http://charleston.net/stories/082503/wor_21heat.shtml) (citirano 1.9.2003)
- Wilhite, D., 2003: National Drought Mitigation Center, University of Nebraska, Lincoln, USA: <http://www.drought.unl.edu/>
- Wilhite, D.A., and M.H. Glantz., 1985: Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International* 10, s. 111-120
- Zakon o odpravi posledic naravnih nesreč (ZOPNN), Ur. list št. 75-3620-2003, str. 11333

# 9 RANLJIVOST SLOVENSKEGA KMETIJSTVA IN GOZDARSTVA NA VREMENSKE EKSTREME

## IZVLEČEK

V poglavju o ekstremnih vremenskih dogodkih v spremenjenih podnebnih razmerah so obdelane ekstremne padavine v različnih časovnih intervalih, ekstremne temperaturne razmere z vidika spomladanskih prodorov hladnega zraka in posledično pozebe in z vidika izjemno visoke temperature, močne nevihte s točo, orkanski veter, intenzivni nalivi, obilno sneženje, poplave in požarna ogroženost naravnega okolja. S temi ekstremnimi vremenskimi pojavi se v Sloveniji srečujemo skoraj vsako leto, razsežnosti in intenziteta pa se razlikujejo. Na splošno velja strokovno mnenje, da se bo ob spremenjenih podnebnih razmerah pogostost in intenziteta ekstremnih dogodkov v svetovnem merilu povečala, opredelitev sprememb na regionalni in lokalni skali pa je bolj negotova.

Vremenski ekstremi so v prispevku obravnavani ločeno, glede na to, da so uporabljeni podatki in pristop k analizam različni. Razen pri obravnavi pozebe in visoke temperature smo druge vremenske ekstreme obravnavali na osnovi majhnih vzorcev podatkov z naključno porazdelitvijo. Skupna so le osnovna izhodišča, zaključki, priporočeni ukrepi ter predlogi za nadaljnje delo, ki bi lahko v prihodnje podrobneje osvetlili vpliv vremenskih ekstremov na kmetijstvo in gozdarstvo.

Tveganje za pojav pozebe smo analizirali v obstoječi in spremenjeni vremenski variabilnosti na osnovi meteoroloških in fenoloških podatkov za obdobje 1961 – 2000. Projekcija na prihodnost upošteva podnebne scenarije, ki do leta 2050 predvidevajo za 1 in 3 °C višjo temperaturo ob nespremenjenem padavinskem režimu in z nespremenjenimi naključnimi vdori hladnega zraka v spomladanskem obdobju. V prvem primeru se bo tveganje za pozebo povečalo v povprečju za 10 do 20% v drugem primeru pa za 20 do 30%, v ekstremnih primerih celo za več kot 30%. Spremembe bodo največje v ravninskih in kotlinskih legah, kjer je ogroženost že sedaj precejšnja. V ekstremnih primerih se bo ranljivost za pozebo tako povečala, da nekatera območja ne bodo več primerna za ekonomsko upravičeno pridelavo določenih sadnih vrst. Posledično bo to vplivalo na socialno-ekonomski razvoj na območjih, kjer sadjarska pridelava predstavlja pomembno vejo kmetijske pridelave in gospodarstva na sploh.

Glede padavin so bile za več meteoroloških postaj analizirane dnevne vsote padavin za katere imamo dovolj dolge časovne nize. Analizirali smo intenziteto in pogostost ekstremnih padavin in delež padavin, ki ga k letnim vsoti prispevajo padavine v dnevih z obilnejšimi padavinami. Rezultati kažejo, da je zaznaven predvsem pojav cikličnih sprememb v količini padavin nad izbranimi pragovi, pogostnosti ekstremnih padavin, kakor tudi v deležu intenzivnih padavin po Sloveniji. Ugotovljena je bila tendenca upadanja pogostosti novozapadlega snega (nad 10 cm snežne odeje) razen v SV Sloveniji, kjer so bolj zaznavni cikli. Pogostost neurij, toče in močnih viharjev, je bila analizirana le za zadnja leta, za katera obstoja homogen niz podatkov. Zaradi prekratkih nizov variabilnosti v spremembah pri neurjih in močnih vetrovih ne moremo potrditi. Za te dogodke je značilna izjemna razpršenost. Precej možnosti za homogenizacijo podatkov bo v bodočnosti omogočila tehnika daljinskega zaznavanja.

Pri analizi visoke temperature zraka smo analizirali letno število dni, ko je bila za naše podnebne razmere dosežena ekstremno visoka temperatura zraka 33 in 35 °C. Od začetka devetdesetih let opazamo porast števila tako vročih dni, medtem ko so bili v sedemdesetih letih tako vroči dnevi zelo redki.

Požarna ogroženost se spreminja glede na vremenske razmere. V zadnjih letih je bilo po podatkih URSZR največ požarov, 2466, leta 1998, najmanj pa leta 1994, le 838. V pričakovanih spremenjenih podnebnih razmerah se bo število požarov in zajeta površina v prihodnosti še nekoliko povečala, saj bo zaradi dolgih obdobj suhega in vročega vremena predvsem poleti večja možnost za nastanek večjih požarov. Poleti bo zaradi pojavljanja močnih neviht in strel večja možnost za nastanek požarov, pojavljali pa se bodo tudi v neobljudenih, običajno hribovitih delih Slovenije, kjer se bodo zaradi večjega naklona pobočja hitreje širili, zaradi težke dostopnosti in pomanjkanja vode pa bo gašenje zelo težko.

Veliki pretoki rek se na območju vzhodne in zahodne Slovenije povečujejo, na ostalem območju Slovenije pa stagnirajo ali celo nekoliko upadajo. V spremenjenih podnebnih razmerah je pričakovan pogostejši nastop in večanje jesenskih visokih voda. Večkrat se bodo pojavljale lokalne poplave, ki jih povzročajo hudourniki in manjše reke z veliko erozijsko sposobnostjo. Ukrepi za prilagajanje na pričakovane poplave bodo povezani predvsem s preprečevanjem erozije in kontroliranim odlaganjem plavja. Pri preprečevanju škode bodo dobrodošli hidrološki poplavni prognostični sistemi, ki bodo omogočali opozarjanje na nevarnost poplav.

## 9.1 OZADJE PROBLEMATIKE IN OSNOVNA STALIŠČA

Podnebje je osnovna naravna danost, na katero smo ljudje, rastline in živali razmeroma dobro prilagojeni, vsaj kar zadeva povprečne razmere. Ekstremni dogodki, ki so sestavni del naravne variabilnosti podnebja in vremena, kot njegove vsakodnevne pojavne oblike, pa praviloma prinašajo težave, včasih nas celo ogrožajo. Kmetijstvo in gozdarstvo predstavljata dve pomembni veji gospodarstva v državi. Zaradi njune neposredne in tesne odvisnosti od vremena in podnebja bosta med najbolj ranljivimi sektorji, ki jih bodo podnebne spremembe prizadele. V pričujočem poglavju so obdelane ekstremne padavine v različnih časovnih intervalih, ekstremne temperaturne razmere, osvetljene predvsem z vidika spomladanskih prodorov hladnega zraka in posledično pozebe in z vidika izjemno visoke temperature. Ekstremna vročina je za rastline neugodna, prav tako pa vpliva tudi na življenjski cikel škodljivcev in bolezni ter hitrost njihovega razmnoževanja. Zaradi tega se lahko spremenijo tudi nekateri naravni obrambni mehanizmi rastlin. Zelo visoka temperatura in pomanjkanje vode motita fiziološke procese v rastlinah. Sprememba vodnega potenciala rastline lahko povzroči motnje v prehrani in v končni fazi lahko privede tudi do pojava stresnega stanja.

Škodo na rastlinah lahko povzročijo tudi kratkotrajni vremenski ekstremi, kot so močne nevihte s točo, orkanskim vetrom in intenzivnimi nalivi. Tako za gozdarstvo kot tudi za kmetijstvo sta škodljiva tudi žled in obilno sneženje. Poplave, vključno z nanosi na travnike in polja, hidrološka suša ter požarna ogroženost naravnega okolja niso odvisne zgolj od vremenskih razmer, ampak tudi od stanja okolja in človekovih posegov v okolje, zato smo jih prav tako vključili v poglavje o vremenskih ekstremih. Suši kot pomembnemu podnebnemu ekstremu je v tej študiji posvečeno posebno poglavje.

Ekstremni dogodki so že po definiciji redki, zato se nanje težko prilagajamo, saj med dvema ponovitvama ene vrste ekstremnega dogodka lahko na nekem območju preteče veliko let. A tako nemočni, kot bi se morda zdelo na prvi pogled, pred ekstremnimi dogodki vendarle nismo. Na osnovi poznavanja ekstremnih dogodkov v preteklosti lahko ocenimo verjetnost njihovega pojavljanja in pričakovano intenziteto. Zelo težko ali celo nemogoče pa jih je natančno napovedati, vendar tudi na tem področju meteorologi razvijajo nove metode in pristope.

Ker se obravnave vremenskih ekstremov razlikujejo, smo vsakemu od njih namenili sklop, ki vključuje opis podatkov, metodologijo in rezultate. Na začetku in na koncu pa podajamo

skupna osnovna izhodišča, zaključke in priporočene ukrepe ter predloge za nadaljnje delo, ki bi lahko v prihodnje podrobneje osvetlilo vpliv vremenskih ekstremov na kmetijstvo in gozdarstvo.

## 9.2 PODATKI IN METODOLOGIJA

Napovedi in scenariji o pričakovanih podnebnih spremembah ne povedo veliko o pričakovanih značilnostih ekstremnih dogodkov. V strokovni javnosti je sprejeta teza, da se bo pogostost in intenziteta ekstremnih dogodkov v svetovnem merilu povečala; informacije o spremembah na regionalni in lokalni skali so za zdaj še preskromne. Sklepamo lahko, da se bodo pojavljali vsi do zdaj opaženi ekstremni dogodki tudi v prihodnje, verjetno pa se bomo soočali s povečano intenziteto in večjo frekvenco. Pri obravnavi ekstremnih dogodkov moramo upoštevati tudi morebitne sinergijske učinke različnih komponent podnebnega sistema in okolja ter dopustiti možnost, da se ob novo nastalih razmerah pojavijo tudi doslej povsem odsotne ali zanemarljive posledice v novih razsežnostih.

Z vsemi zgoraj navedenimi ekstremnimi pojavi se v Sloveniji srečujemo skoraj vsako leto, razsežnosti in intenziteta pa se razlikujejo. Nekateri med njimi so zgolj posledica naravnega delovanja, nekateri so kombinacija človekovega delovanja in naravnih razmer. To še posebej velja pri poplavih in požarih. Tudi pri intenzivnih padavinah in izjemno visoki temperaturi pogosto lahko vplivamo na obseg povzročene škode. Razpon možnega ukrepanja in prilagajanja v smislu zmanjševanja ranljivosti je velik. Vprašanje je le, koliko smo se pripravljene prilagajati in zmanjšati ranljivost, saj posledice prilagajanja za vse ne bodo najbolj zaželeno. Povezane bodo z velikimi finančnimi vložki in včasih tudi s spremembo miselnosti. Zato lahko pričakujemo tudi določen odpor do optimalnih rešitev.

Pri obravnavi ekstremnih vremenskih razmer smo še bolj kot pri analizi običajnih podnebnih razmer občutljivi na vrsto in kakovost vhodnih meteoroloških podatkov. Nekateri vremenski ekstremi so navadno časovno in prostorsko močno omejeni in jih je pogosto težko zajeti z običajno merilno mrežo. Pogosto smo pri obravnavi ekstremov vezani na sklepanje o intenziteti na osnovi posledic in učinkov, nimamo pa natančnega podatka o pojavu samem, saj se je zgodil izven dosega merilne postaje. Tehnike daljinskega zaznavanja sicer veliko pripomorejo k izboljšanju nadzora nad ekstremnimi dogodki, vendar se srečujemo s problemom kontinuitete, različne prostorske pokritosti ozemlja in neprimerljivosti daljinsko pridobljenih podatkov s klasično izmerjenimi ali opaženimi podatki. To pomeni, da uporabljamo podatke različnih virov in različnih kakovosti, zato je velika previdnost pri interpretaciji nujna.

Uporabljeni podatki in pristop k analizam se med različnimi vrstami ekstremnih dogodkov razlikuje, zato jih navajamo posebej za vsako izmed vrst ekstremnih dogodkov.

Ne zgolj po podatkih, tudi metodološko je delo z ekstremnimi dogodki specifično, saj delamo z majhnimi vzorci, ki v veliki meri kažejo naključno porazdelitev, brez opaznih ali trdnih vzorcev v času in prostoru. Veliko metod za obravnavo ekstremnih vremenskih dogodkov sloni na poenostavitvah, ki zmanjšujejo uporabno vrednost rezultatov. Ena izmed takih je metoda računanja povratnih dob. Pri tem uporabljamo zgolj najbolj izstopajoče vrednosti ali pa vrednosti nad nekim pragom, ki je izbran vnaprej in sam po sebi vpliva na rezultate.

Pri obravnavi podnebnih razmer je priljubljena metoda računanja linearnih trendov. Zaradi izbire različnih dolžin niza, na katerem računamo trend, lahko dobimo povsem nasprotujoče si rezultate. Druga past, v katero se lahko zapletemo, je nasprotujoči si predznak trenda in sedanja faza cikla. Vprašamo se, ali je v takem primeru še smiselno vztrajati pri linearnem

trendu ali bi bilo bolje uporabiti le drseče povprečje in opustiti linearne trende, ki pri ekstremnih dogodkih pogosto niso statistično pomembni.

Naslednje pomembno dejstvo je vezano na raznolikost posameznih podnebnih regij v Sloveniji. Čeprav je naša država relativno majhna, so razlike v trendih nekaterih veličin v posameznih delih države opazne in pomembne. Moramo jih upoštevati, s tem pa povečamo obseg podatkov in rezultatov, kar zmanjša preglednost, a tudi preprostost zaključkov.

Pomembna je tudi soodvisnost med različnimi elementi vremena. Tako kot ljudje, se tudi rastline in živali odzivajo na vpliv okolja v celoti, a navadno obstaja en omejujoč dejavnik v okolju, ki omejuje razvoj organizma. Veliko lažje analiziramo vpliv posameznega vremenskega elementa, kot pa upoštevamo skupek in morebitno sinergijo večjega števila dejavnikov, za katere pa ni nujno, da posamično presegajo prag prilagodljivosti organizma. Ob ekstremnih dogodkih je lahko prizadet razvoj, organizem pa lahko doživi tudi bolj ali manj hud stres, ki lahko pusti trajne posledice ali organizem povsem uniči.

### 9.3 POZEBA

Rezultati globalnih proučevanj dolgoletnih meteoroloških podatkov nakazujejo statistično značilen dvig temperature zraka v zimskem obdobju leta. Še posebno opazno se dviguje minimalna temperatura zraka. Zvišala se je dvakrat bolj od maksimalne temperature (UCS,2003). Proučevanja dolgoletnih temperaturnih meritev v Sloveniji so dala podobne rezultate. Tudi tu je bil ugotovljen porast minimalne temperature zraka v vseh časovnih obdobjih leta (Rakovec in sod., 1999). Število dni z negativno temperaturo se je v zadnjih 10 letih zmanjšalo za 5 do 10 dni na območjih s celinskim podnebjem in za 6 dni na območjih z alpskim podnebjem (Ovsenik, 2000). Na temperaturne spremembe v poznozimskem in zgodnjepomladanskem obdobju se že odziva rastlinstvo. Spomladanske faze cvetenja nekaterih negojenih vrst rastlin se v povprečju pojavljajo bolj zgodaj kot na začetku petdesetih let (Črepinšek, 2002), opazno je tudi podaljšanje letnega rastnega obdobja (Kajfež-Bogataj, 2000). Datumi pojavljanja negativnih temperatur se spomladi in jeseni pomikajo proti zimi, obdobja brez nevarnih kritičnih temperatur za rastline pa so vse daljša (Gerjevič, 2000). Verjetnost pozebe se bo kljub zmanjševanju pogostnosti kritičnih temperatur povečevala zaradi pomika časa cvetenja v obdobje z večjo pogostostjo kritičnih temperatur (Žust, 1998). To bo oviralo gojenje gospodarsko pomembnih kmetijskih rastlin na določenem območju.

V svetu ocenjujejo, da ob obstoječi podnebni variabilnosti, vsako leto od 5 % do 15 % kmetijske proizvodnje uničijo pozebe (Inouyu, 2000). V mnogih evropskih državah ocenjujejo, da se bo število let z zmanjšanim pridelkom povečalo za več kot 100 %. Ekonomske in socialne posledice bodo nedvomno zelo velike. To bo morala upoštevati evropska okoljska in socialnoekonomska politika (Environmental System Analysis Group, 2003). Ta ima pravno podlago v številnih aktih Konvencije ZN o klimatskih spremembah (UNCCC), v Kjotskem protokolu in Konvenciji o biodiverziteti (CBD). Ti pravni akti dajejo pomembno vlogo izvršilnim ukrepom, raziskovanju in sistematičnemu opazovanju, javnemu izobraževanju in obveščanju, usposabljanju, monitoringu ter ocenam vplivov in zmanjševanju škodljivih posledic, izmenjavi informacij, ter tehničnemu in znanstvenemu sodelovanju pri oblikovanju ukrepov za obvladovanje posledic klimatskih sprememb. Da bi ugotovili vzorec pojavljanja pozeb v obstoječi vremenski variabilnosti in jih projicirali na prihodnost, smo analizirali minimalne dnevne temperature zraka. V analizo smo vključili fenološke podatke o začetku cvetenja za izbran fenološki standard domača češplja (*Prunus domestica*). Ta je bil izbran, ker zanj obstoja dolgoleten niz podatkov in je poleg tega splošno razširjena sadna vrsta v Sloveniji. Podatke smo črpali iz arhiva agrometeoroloških podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje za obdobje 1961–2000. Vključili smo podatke s 16-ih meteoroloških

postaj, na katerih potekajo tudi fenološka opazovanja. Med izbranimi postajami je tudi nekaj postaj, ki so s stališča sadjarske pridelave manj primerne, vendar omogočajo boljšo splošno ocen razmer v državi. Pozebo smo definirali kot zadnji dan spomladi, ko je zabeležena kritična temperatura manjša od  $-2^{\circ}\text{C}$  in sovpada s cvetenjem fenološkega standarda.

Za proučitev pojava pozebe v obstoječi vremenski variabilnosti smo analizirali:

- število pozeb v preteklem 40-letnem obdobju,
- pogostnost kritičnih temperatur zraka (v odstotnem deležu) in variabilnost absolutnih minimalnih temperatur po dekadnih obdobjih od začetka marca do prve dekade maja,
- dneva, ko je bila spomladi zadnjič in jeseni prvič zabeležena temperatura nižja od  $-2^{\circ}\text{C}$  ter dolžino obdobja med obema dnevoma,

Ranljivost prostora za pozebo smo izrazili v odstotku tveganja za pozebo. Ocenili smo jo s pomočjo povprečnega datuma začetka cvetenja fenološkega standarda in kumulativne normalne porazdelitve zadnjega dne spomladi s temperaturo nižjo od  $-2^{\circ}\text{C}$ .

Za proučevanje spomladanskih ohladitev in pozeb v spremenjenih vremenskih razmerah smo uporabili scenarij, ki do leta 2050 predvideva za  $1^{\circ}\text{C}$  (scenarij A) in  $3^{\circ}\text{C}$  višjo temperaturo (scenarij B) ob nespremenjenem padavinskem režimu. Ob predpostavki, da se naključni vdori hladnega zraka v spomladanskem obdobju ne bodo spremenili, smo ocenili tveganje pozebe ob zgodnejšem cvetenju.

### **9.3.1 POZEBE V PRETEKLOSTI**

V obravnavanem 40 letnem obdobju so bila posamezna območja različno ogrožena zaradi pozebe. V pogostosti pozeb izstopajo širše kotlinske in ravninske lege. Število pozeb je bilo manjše na pobočnih in grebenskih legah zaradi učinka inverzije v kritičnih obdobjih ter lege, ki jim reliefni pogoji omogočajo dobro prevetrenost, oziroma tam, kjer je prisoten vpliv bližine mesta. Poškodbe na cvetnih brstih v različnih razvojnih fazah so odvisne od minimalne temperature zraka. Temperatura nižja od  $-2^{\circ}\text{C}$  povzroči zmerno, nižja  $-3^{\circ}\text{C}$  močno in nižja od  $-4^{\circ}\text{C}$  hudo pozebo. Na obravnavanih območjih je v 74-ih primerih pozeba nastopila, ko je bilo cvetenje povprečno ali zgodnejše in v 54 primerih ob cvetenju, kasnejšim od povprečja.

Najbolj pogoste so bile zmerne pozebe, ki precej okrnejo pridelek, vendar so, zaradi lastnosti postopnega cvetenja sadnih rastlin, gospodarske škode obvladljive. Posledice škod z razsežnostmi naravne nesreče pa so povzročile močne in hude pozebe.

V bližnji preteklosti sta bili najhujši pozebi leta 1997, ki je prizadela celoten slovenski prostor, ter pozeba leta 2001, ki je zajela večji del države. Prva je povzročila za 5.3 in druga za 3.5 milijarde tolarjev škode. Škodo po spomladanski pozebi 2003 ocenjujejo na blizu ene milijarde tolarjev .

Tabela 9.3.1.1: Število spomladanskih pozeb v obdobju 1961 - 2000

Temperatura (°C)	Bmik	Slap	Godnje	Postojna	Sevno	Novo mesto	Bizeljsko	Celje	Sl. Konjice	M. Sobota	V. Dolenci	Starše	G. Radgona	Maribor	Ljubljana	Bilje
-2	3	2	3	2	2	6	3	7	4	4	8	6	5	2	3	6
-3	1	0	2	3	0	3	1	4	0	8	0	2	1	0	1	2
-4	1	0	0	2	0	0	1	5	0	2	2	1	0	0	0	1
skupaj	5	2	5	7	2	9	5	16	4	14	10	9	6	2	4	9

Analiza trenda pojavljanja zadnjega dne spomladi in prvega dne jeseni s temperaturo pod -2°C in dolžina obdobja med obema dnevoma je pokazala spomladi negativno in jeseni pozitivno spremembo. Časovni trendi niso statistično značilni in pojasnjujejo le majhne deleže variabilnosti. V spomladanskem obdobju nastopa zadnji dan v povprečju 1 do 7 dni na 10 let zgodnejše, jeseni pa 1 do 6 dni na 10 let kasneje, kot v začetku obravnavanega obdobja. Za 2 do 7 dni (v izjemnih primerih 11 dni) na 10 let se daljša tudi obdobje med obema kritičnima datumoma. Obdelave podatkov so pokazale pomikanje zadnjega dne s temperaturo pod -2°C proti zimski polovici leta. Sprememba je večja na ravninskih in v kotlinskih legah, manjša pa na dobro prevetrenih legah. O podobnih rezultatih, o podaljšanju tega obdobja, vendar z mejno vrednostjo 0°C, poročajo tudi iz Kanade (O'Brien in sod., 1999) in Združenih držav (Carter, 2003).

Pogostnost kritičnih minimalnih temperatur se zmanjšuje, še posebno, če primerjamo povprečje obdobja 1991–2000 s povprečjem predhodnega tridesetletnega obdobja 1961–1990. Zaradi višjih temperatur zraka je fenološki razvoj zgodnejši (Črepinšek, 2000, Kajfež-Bogataj, 1999), tudi minimalne temperature se v povprečju povečujejo, vendar so te močno variabilne in nehomogene.

Ob upoštevanju obeh scenarijev bo cvetenje v povprečju 4 do 10 dni zgodnejše, če se bo povprečna temperatura zraka dvignila za 1°C in 9 do 14 dni zgodnejše, če se bo segrelo za 3°C. Izračuni kažejo najmanjše spremembe v času cvetenja na Goriškem in Vipavskem, ter drugod na dobro prevetrenih legah, ter na obrobni območjih mest. Tveganje za pozebo se bo povečalo le do 5%. Na večini ravninskih in kotlinskih leg pa se bo tveganje povečalo za 10 do 20%, v ekstremnih primerih celo za 30% (graf 9.3.1.1). To z drugimi besedami pomeni, da bo na lokacijah, kjer je sedaj sadjar računal z 10 odstotnim tveganjem za pozebo (1 krat na 10 let), ob 10 odstotnem povečanju moral računati na pozebo dva krat v desetih letih. V bolj izpostavljenih legah statistična ocena kaže tudi na 3 kratno pozebo v desetih letih, v ekstremnih primerih pa vsako drugo leto (tabela 9.3.1.2).

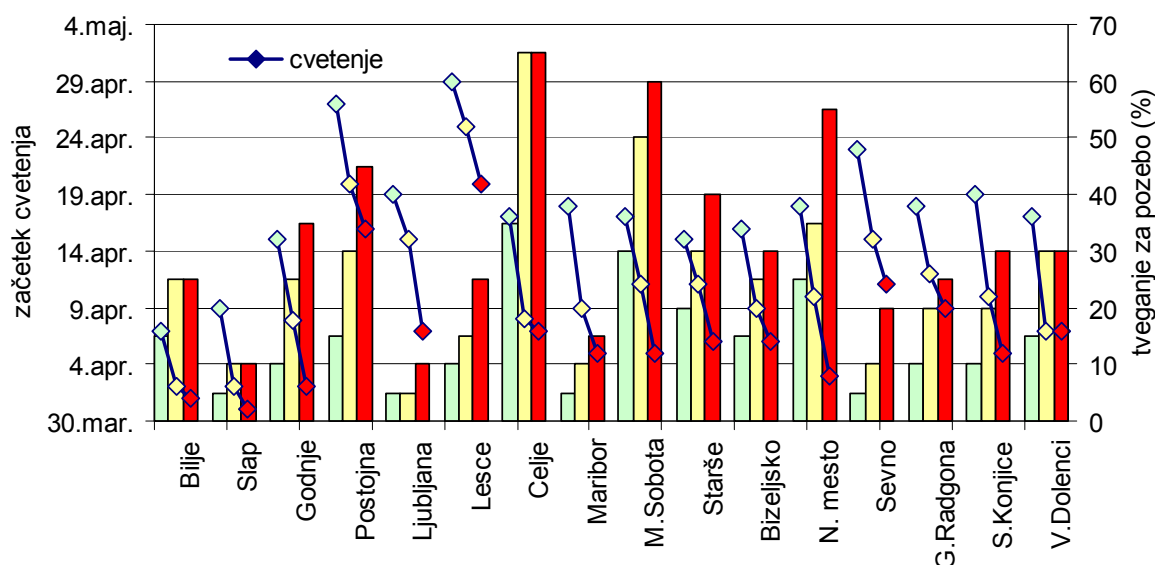
V kolikor bo segrevanje večje, se bo cvetenje v povprečju pomaknilo v obdobje še večje pogostnosti kritičnih temperatur. Tveganje za pozebo bo 20 do 30% večje kot sedaj. To pomeni večkratno pozebo v obdobju 10-tih let. Tveganje bo največje na kotlinskih in ravninskih legah. Razen izjem je bila na teh območjih pozeba že sedaj pogosta (tabela 9.3.1.1).



Tabela 9.3.1.2: Začetek cvetenja fenološkega standarda in tveganje pozebe ob obstoječi variabilnosti za obdobje 1961–2000 in po scenarijih A in B

Postaja	začetek cvetenja 1961-2000	ocena tveganja pozebe in št. pozeb na 20 let		začetek cvetenja +1° (A)	ocena tveganja pozebe in št. pozeb na 20 let		začetek cvetenja +3° (B)	ocena tveganja pozebe in št. pozeb na 20 let	
		%	3 / 20 let		%	5 / 20 let		%	5 / 20 let
Bilje	8. april	15%	3 / 20 let	3. april	25%	5 / 20 let	2. april	25%	5 / 20 let
Slap	10. april	5%	1 / 20 let	3. april	10%	2 / 20 let	1. april	10%	2 / 20 let
Godnje	16. april	10%	2 / 20 let	9. april	25%	5 / 20 let	3. april	35%	7 / 20 let
Postojna	28. april	15%	3 / 20 let	21. april	30%	6 / 20 let	17. april	45%	9 / 20 let
Ljubljana	20. april	5%	1 / 20 let	16. april	5%	1 / 20 let	8. april	10%	2 / 20 let
Lesce	30. april	10%	2 / 20 let	26. april	15%	3 / 20 let	21. april	25%	5 / 20 let
Celje	18. april	35%	7 / 20 let	9. april	65%	13 / 20 let	8. april	65%	13 / 20 let
Maribor	19. april	5%	1 / 20 let	10. april	10%	2 / 20 let	6. april	15%	3 / 20 let
M. Sobota	18. april	30%	6 / 20 let	12. april	50%	10 / 20 let	6. april	60%	12 / 20 let
Starše	16. april	20%	4 / 20 let	12. april	30%	6 / 20 let	7. april	40%	8 / 20 let
Bizeljsko	17. april	15%	3 / 20 let	10. april	25%	5 / 20 let	7. april	30%	6 / 20 let
N. mesto	19. april	25%	5 / 20 let	11. april	35%	7 / 20 let	4. april	55%	11 / 20 let
Sevno	24. april	5%	1 / 20 let	16. april	10%	2 / 20 let	12. april	20%	4 / 20 let
G. Radgona	19. april	10%	2 / 20 let	13. april	20%	4 / 20 let	10. april	25%	5 / 20 let
Sl. Konjice	20. april	10%	2 / 20 let	11. april	20%	4 / 20 let	6. april	30%	6 / 20 let
V. Dolenci	18. april	15%	3 / 20 let	8. april	30%	6 / 20 let	8. april	30%	6 / 20 let

Graf 9.3.1.1: Začetek cvetenja (krivulje) in tveganje pozebe v % (stolpci) v obstoječi variabilnosti (1961 – 2000) (zelena) in ob upoštevanju podnebnih scenarijev, A (rumena), B (rdeča)



### 9.3.2 PREDLOGI MOŽNIH PRILAGODITEV IN UKREPOV ZA UBLAŽITEV POSLEDIC

Spomladanske ohlavitve s temperaturami pod kritičnimi vrednostmi, ki povzročijo pozebo že ob obstoječi vremenski variabilnosti, predstavljajo pomemben omejevalni element slovenskega kmetijskega prostora.

Zgodnejši fenološki razvoj rastlin v obdobju z večjo pogostostjo kritičnih temperatur bo imel največjo vlogo pri povečanju tveganja spomladanskih pozeb. Ranljivost za pozebo se bo najbolj povečala na območjih, kjer je že v obstoječi podnebni variabilnosti pogosta in ovira gojenje nekaterih rastlin, najbolj torej v ravninskih in kotlinskih legah. Ranljivost se bo v ekstremnih primerih tako povečala, da nekatera območja ne bodo več primerna za ekonomsko upravičeno pridelavo določenih sadnih vrst. Posledično bo to vplivalo na

socialno-ekonomski razvoj na tistih območjih, kjer sadjarska pridelava predstavlja pomembno vejo kmetijske pridelave in gospodarstva na sploh.

Želja po ohranjanju kmetijske pridelave bo zahtevala visoko stopnjo prilagajanja spremenjenim podnebnim razmeram. To bo zajelo ukrepe na več ravneh, pri čemer bo ekonomska upravičenost pridelave pomembno merilo prilagajanja. Na eni strani se bo pojavilo vprašanje zaščite obstoječe proizvodne usmeritve pri čemer bo vse večji pomen imela pasivna zaščita. Verjetno pa bo največje možnosti ponujala izbira novih odpornih sort, sprememba proizvodne usmeritve ali selitev na območja z manj pogostimi ekstremnimi vremenskimi dogodki. Elementi pasivne zaščite bodo morali biti vključeni v celoletno tehnologijo, ki bo zagotavljala dobro stanje in posredno tudi dobro odpornost kmetijskih rastlin.

Pomembno vlogo bo imela tudi aktivna zaščita z oroševanjem cvetočih sadnih dreves. To je na splošno učinkovita metoda, vendar izkušnje iz preteklih let kažejo na določene pomanjkljivosti tehnične izvedbe in upravljanja z njo. Aktivna zaščita zahteva tudi ustrezen vodni vir. Po zadnjih podatkih je v Sloveniji le 259 ha sadovnjakov z možnostjo protipozebne zaščite z oroševanjem (Statistični popis sadovnjakov, 1997).

Podlaga za izbiro tehnologije in proizvodno usmeritev ob spremenjenih podnebnih razmerah ter obvladovanje posledic, bo prostorska porazdelitev mraza, na makro in mikro skali, ki bo upoštevala vse parametre, ki vplivajo na gibanje minimalnih temperatur (bližina vodnih teles, urbaniziranih območij, konfiguracija terena, lastnosti tal). Pri tem bo potrebno vključiti tudi najsodobnejša orodja s področja geoinformacijskega sistema in metode daljinskega zaznavanja (radarska in satelitska tehnika). Za proučitev prostorske porazdelitve minimalne temperature zraka v reliefno izredno razgibanem slovenskem kmetijskem prostoru bo ključnega pomena dovolj gosta mreža meteoroloških in fenoloških postaj na reprezentativnih legah, za katero bo potrebno zagotoviti stalnost delovanja. Ocena verjetnosti pojava kritičnih minimalnih temperatur zraka ob pojavu občutljivih fenoloških faz kmetijsko pomembnejših rastlin bo podlaga za odločanje o upravičenosti zavarovanja pridelka, ki bo prav tako postalo pomemben del prilagoditvene strategije na spremenjene podnebne spremembe.

### **9.3.3 OMEJITVE IN NEZANESLIVOSTI**

Interpretacija rezultatov je omejena glede na lokacijo meteorološke postaje in fenološkega objekta. Interpretacija na širši prostor zahteva dodatno poznavanje zakonitosti temperaturnega spreminjanja z reliefom, lego in nadmorsko višino. To še posebno velja za območja z močno razgibanim reliefom, kot je na primer Bela Krajina, Goričko in Goriška. Na takih območjih posamezne meteorološke postaje kar zadeva minimalne temperature zraka niso reprezentativne za širši prostor. Na primer meteorološka postaja v Biljah z razmeroma pogostimi pozebami ne predstavlja širšega območja Goriške in Goriških Brd. Tudi meteorološka postaja v Črnomlju ni reprezentativna za širši kmetijski prostor, primeren za sadjarsko pridelavo v Beli Krajini. Posebnostim lokacij meteoroloških postaj ter leg, na katerih se opazuje fenološki standard, lahko pripisujemo tudi razmeroma majhne razlike v začetku cvetenja med obema scenarijema v spremenjenih temperaturnih razmerah (Veliki Dolenci, Bilje, Slap, Celje).

Za proučitev tveganja pozebe v obstoječi variabilnosti fenoloških podatkov smo uporabili podatek o začetku cvetenja fenološkega standarda. Za ovrednotenje ogroženosti drugih sadnih rastlin ob obstoječi vremenski variabilnosti je potrebno poznati odklik cvetenja od fenološkega standarda in njihovo občutljivost na nizke temperature. To je lastnost obravnavane rastlinske vrste in sorte.

Pri interpretaciji fenološkega podatka v kontekstu spremenjenih podnebnih razmer smo upoštevali le podatek o temperaturi zraka. Pri tem smo se naslonili na ugotovitev, da 62 %

variabilnosti v začetku cvetenja pojasnjuje temperatura zraka marca in aprila. Nekateri so preučevali tudi pomembnost padavin, vendar je v primerjavi s temperaturo vpliv padavin zanemarljiv (Črepinšek, 2001).

Pri ovrednotenju povečanega tveganja smo upoštevali predpostavko o ohranjanju naključnih vdorov hladnega zraka spomladi. Podnebni scenariji upoštevajo splošno ogrevanje, kar se najmočneje pozna pri temperaturi zraka, malo pa je znanega o obnašanju drugih spremljajočih pojavov, ki vplivajo na minimalno temperaturo, na primer oblačnosti in pojava megle.

## 9.4 EKSTREMNE PADAVINE

Slovenija velja za eno bolj namočenih držav v Evropi, saj so maksimalne letne padavine v Alpah dosežene prav na skrajnem severozahodnem delu Slovenije, v Posočju. Na ozemlju Slovenije se stikajo in součinkujejo sredozemsko, alpsko oz. predalpsko in celinsko podnebje. To je vzrok za raznolik padavinski režim in temu primerne absolutne vrednosti padavinskih maksimumov po Sloveniji. Na primer, ekstremna dnevna količina padavin v Prekmurju je podobna kot povprečna dnevna količina nekje v predalpskem hribovju.

Pri obravnavi ekstremnih padavin je zelo pomemben časovni interval, v katerem so padle padavine. Običajno ločimo nalive, ki trajajo od nekaj minut do nekaj ur, obilne dnevne ter večdnevne padavine. Škodo lahko povzročijo ekstremne padavine v vseh kategorijah. Ob ekstremnih nalivih voda običajno odteče po površju in pride do hudourniških poplav, posledice dnevnih in večdnevnih ekstremnih padavin pa so lahko poplave večjega obsega. Hudourniki in poplave so neposredna posledica obilnih padavin, ki pa povzročijo še celo vrsto drugih škodljivih pojavov: erozijo, zemeljske plazove in nanose materiala na polja in travnike.

Razlike med posameznimi kategorijami ekstremnih padavin so tudi v napovedljivosti teh dogodkov in s tem možnostjo za zaščito pred njimi. Za nalive lahko napovemo verjetnost za njihovo pojavljanje, pri tem pa je zelo težko napovedati točen čas in lokacijo, za dolgotrajnejše padavine pa lahko napovemo čas trajanja padavin, bolj natančno lahko opredelimo območje, ki ga bo zajelo deževje in obenem lahko ocenimo tudi količino padavin, ki bo padla.

### 9.4.1 PODATKI IN METODE

Prostorska analiza kratkotrajnih padavinskih ekstremov je težavna, saj je ombrografov (merilnikov padavin, ki merijo padavine v 5-minutnih intervalih) po Sloveniji zelo malo, postavljeni pa so jih začeli šele v 80-ih letih. Zato smo se omejili na analizo dnevnih vsot padavin (ki jih merijo vsak dan ob 7. uri po sončnem času), za katere imamo dovolj dolge časovne nize in dobro pokritost po celi državi.

Analizi ekstremnih letnih nalivov v intervalih od 5 minut do 24 ur smo za obdobje od začetka meritve intenzitete do leta 2000 opravili za nekaj izbranih postaj. Tako so na primer v Javornškem Rovtu za vse izbrane intervale trendi pozitivni, signifikanten pa je le trend za nalive s trajanjem 60 minut. V Ratečah je trend za 5-minuten naliv negativen, ostali trendi so pozitivni, 5 min, 60 minutni in 24 urni trendi so signifikantni. V Polhograjskih Dolomitih je 5 minutni trend negativen, ostali so pozitivni, nobeden pa ni signifikanten. Tudi Ljubljana nima signifikantnega trenda. V Celju so trendi pozitivni, signifikantna sta le trenda za 6 in 12-urni naliv.

Meja za ekstremno dnevno količino padavin se po Sloveniji močno spreminja, zato smo za analize vzeli zgornjo mejo: 100 mm. Analizirali smo pogostost ekstremnih padavinskih dogodkov za Slovenijo kot celoto. Spremljali smo frekvenco dogodkov, ko je na katerikoli postaji v Sloveniji dnevna količina padavin presegla 100 mm (120, 150 in 180 mm). V analizi smo upoštevali samo postaje, ki so delovale neprekinjeno v referenčnem obdobju 1961–2000. S tem smo zagotovili primerljivost rezultatov za vse merilna mesta.

Da bi dobili prostorsko sliko spreminjanja ekstremnih padavin, smo analizirali ekstreme tudi na vsaki postaji posebej. V analizo smo vključili enako število postaj kot smo jih imeli na razpolago za analizo dnevnih padavin nad določeno mejo, torej 180 postaj, ki so delovale neprekinjeno v obdobju 1961–2000. Analizirali smo 2-dnevne absolutne letne ekstreme padavine. Za dvodnevne ekstreme smo se odločili zaradi načina meritev, saj so z meritvijo ob 7. uri zjutraj pogosto presekanji dogodki z močnimi padavinami in razdeljeni na dve dnevni meritvi, tako da jih težko zaznamo kot ekstremni dogodek.

Na osnovi dnevnih padavin smo pristopili k analizi deleža padavin, ki ga h celotnim padavinam v letu prispevajo padavine v dnevih z obilnejšimi padavinami. Ta podatek je pomemben za ocenjevanje erozijskega potenciala meteorne vode. Tudi v tem primeru smo uporabili različne prage, najvišji pragi za dnevne padavine so tudi v tem primeru v Posočju.

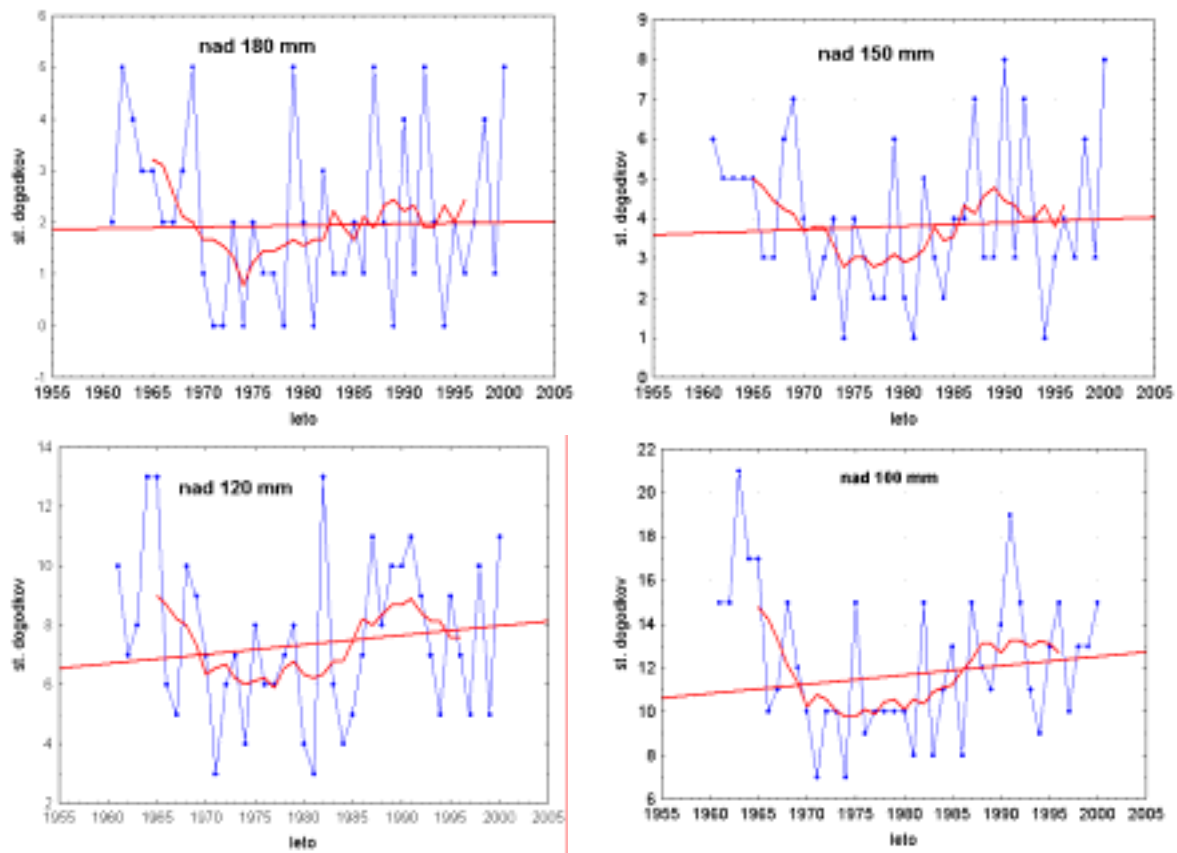
## 9.4.2 REZULTATI

Nad 180 mm padavin v enem dnevu pade le v severozahodni Sloveniji, zato so ti dogodki zelo redki. V obravnavanem obdobju (1961-2000) je bilo največ 5 dni v letu, ko so dnevne padavine presegle to mejo. Vendar pa je bilo takih let v obravnavanem obdobju več in so bila enakomerno porazdeljena preko celega obdobja. Trenda v številu dni z dnevnimi padavinami nad 180 mm ni zaznati.

Dogodkov, da so bile kjerkoli po Sloveniji zabeležene dnevne padavine nad 150 mm je že več, saj tolikšna količina padavin v enem dnevu lahko pade na precej širšem območju Slovenije. Največ takih dogodkov je bilo leta 1990 in leta 2000, ko smo jih zabeležili 8. Trenda tudi v teh dogodkih ni zaznati, je pa zelo očiten izrazit cikel z maksimumi v začetku 60-ih let ter na prehodu iz 80-ih v 90-ta leta in z minimumom v 70-ih letih. V zadnjih dveh letih je bilo zabeleženo izjemno malo takih dogodkov: leta 2001 dva in leta 2002 le eden.

Dnevne padavine nad 120 mm lahko zabeležimo skoraj na celotnem območju Slovenije in jih je zato tudi temu primerno več. Največ (13) takih dni je bilo zabeleženih v letih 1964, 1965 in 1982. Na drsečem povprečju je sicer zaznati pozitiven trend, ki pa ni statistično značilen. Zopet je treba opozoriti na izrazit cikel z maksimumi in minimumi v enakem obdobju kot dogodki z nad 150 mm padavin. Leta 2002 sta bila zabeležena le dva dogodka z nad 120 mm padavin, kar je minimum v obravnavanem obdobju. Samo dva taka dogodka sta bila zabeležena še leta 1971 in 1982.

Grafi 9.4.2.1: **Pogostost dogodkov, ko je bilo na katerikoli postaji v Sloveniji zabeleženo več kot 120 mm padavin v 24 urah.** Rdeča krivulja predstavlja 9-letno drseče povprečje, rdeča linija pa izračunan trend na drsečem povprečju

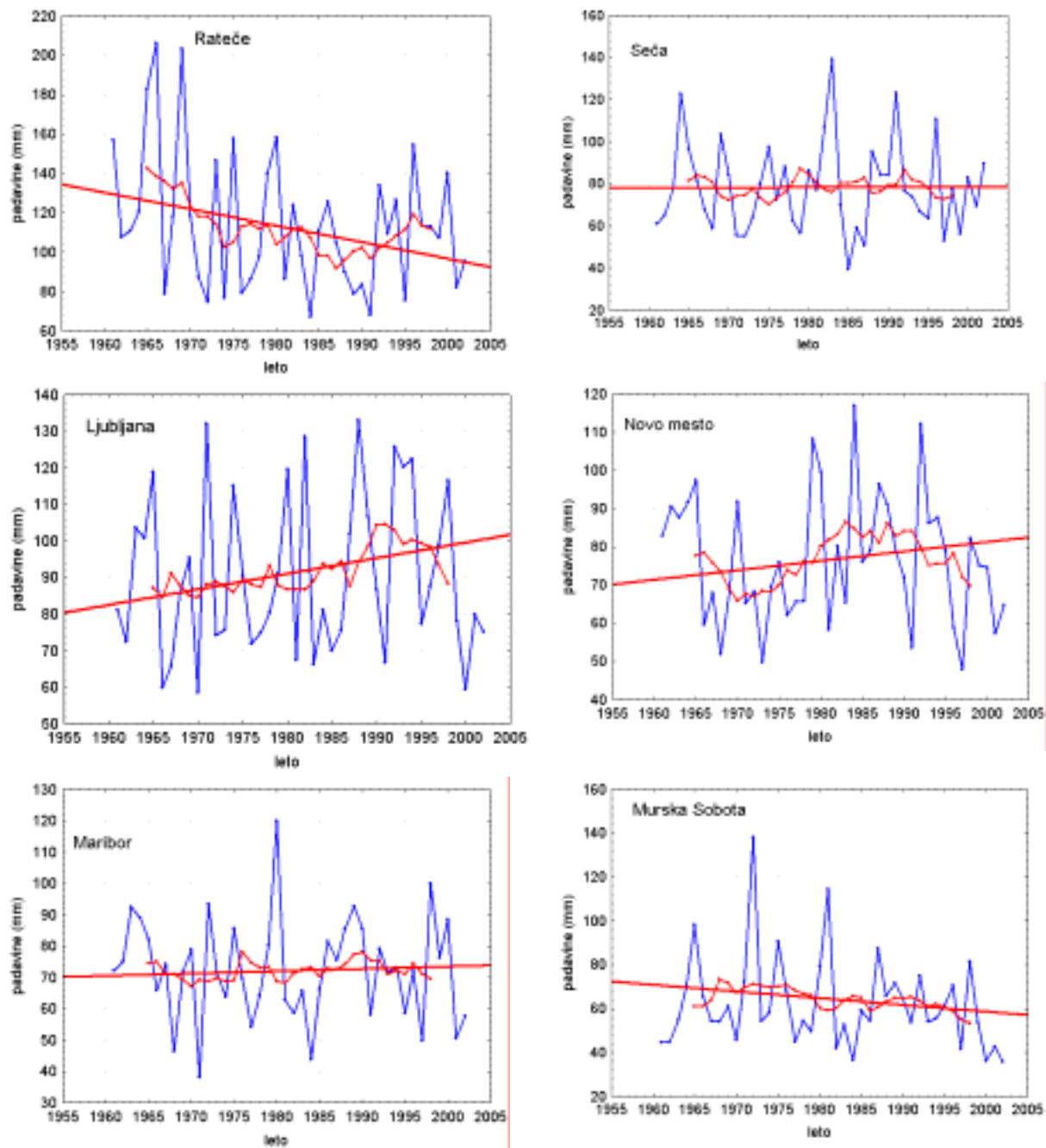


Več kot 100 mm dnevnih padavin lahko izmerimo skoraj na vseh padavinskih postajah po Sloveniji, čeprav so ti dogodki pogosti v severozahodni Sloveniji in zelo redki v severovzhodni Sloveniji, kjer lahko pade toliko padavin le med dlje trajajočo močno nevihto ali več močnimi nevihtami v obdobju ene meritve. Tudi za te dogodke je opaziti pozitiven trend, ki pa statistično ni značilen. Zelo izrazit je cikel z maksimumom v začetku 60-ih let, z minimumom v 70-ih letih in naslednjim maksimumom v začetku 90-ih let. Največ (21) takih dogodkov je bilo zabeleženih leta 1961, samo 5 pa leta 1971 in 1974.

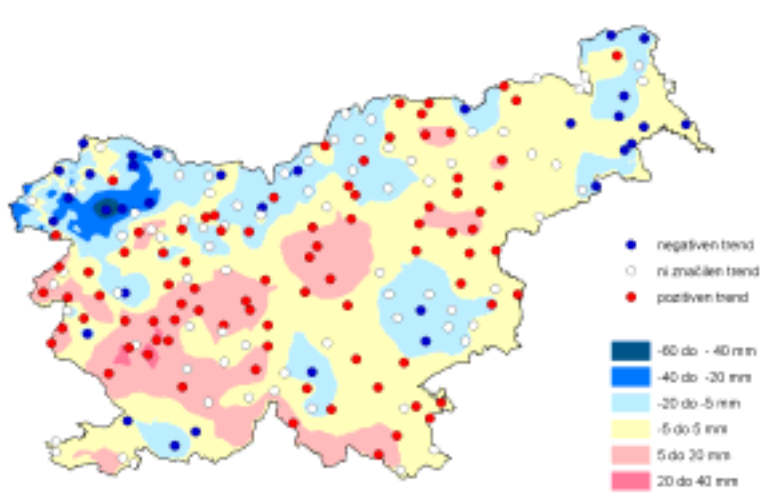
Glede na analize ekstremnih dnevnih padavin nad določenimi mejami (100 mm, 120 mm, 150 mm in 180 mm) po celi Sloveniji lahko rečemo, da v številu ekstremnih dogodkov ni zaznati statistično značilnega trenda. Zelo izraziti so cikli z maksimumom v 60-ih in začetku 90-ih let ter minimumom v 70-ih letih (grafi 9.4.2.1). V zadnjih dveh letih je opaziti upad števila ekstremnih dnevnih padavin, vendar je to lahko posledica cikla.

V intenziteti ekstremov 2-dnevnih padavin smo na nekaterih postajah zaznali statistično značilne trende, vendar je pri tem treba opozoriti na izrazite cikle, ki se pojavljajo na vseh postajah (grafi 9.4.2.2). Obdobja ciklov maksimumov in minimumov so primerljiva s tistimi, ki smo jih zaznali v frekvenci ekstremnih padavin: maksimum v začetku 60-ih, minimum v 70-ih in naslednji maksimum v začetku 90-ih. Na splošno lahko rečemo, da se v gorskem svetu intenziteta ekstremnih 2-dnevnih padavin zmanjšuje, v sredogorju se večja, ob obali in na ravninah v notranjosti pa spreminjanja v intenziteti ni zaznati. Intenziteta 2-dnevnih padavin v zadnjih letih se ujema z ugotovljenimi dolgoletnimi trendi. Tam, kjer so bili ugotovljeni negativni trendi, so bile v zadnjih letih izmerjene nižje ekstremne 2-dnevne padavine in obratno (slika 9.4.2.1).

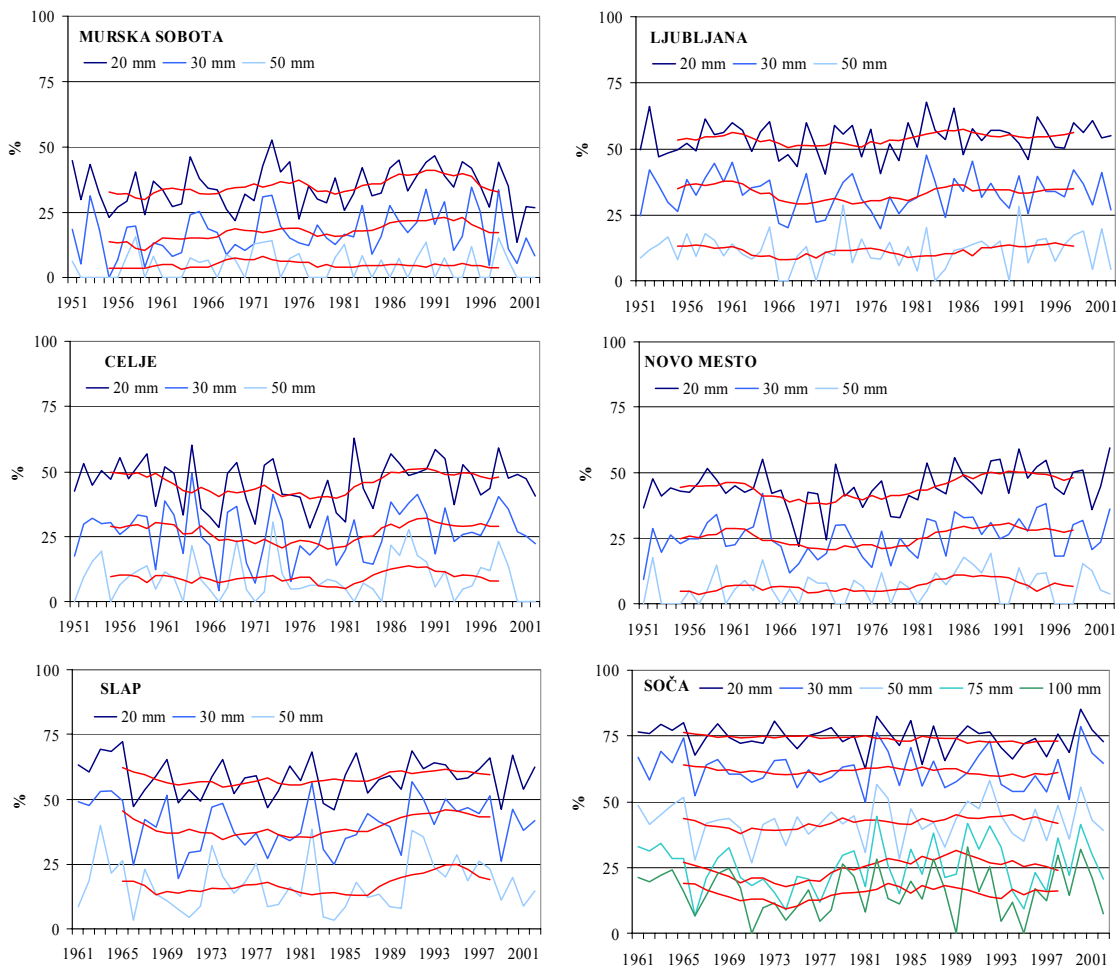
Grafi 9.4.2.2: **Absolutni letni maksimumi 2-dnevnih padavin.** Rdeča krivulja predstavlja 9-letno drseče povprečje, rdeča linija pa linearni trend, izračunan na drsečem povprečju.

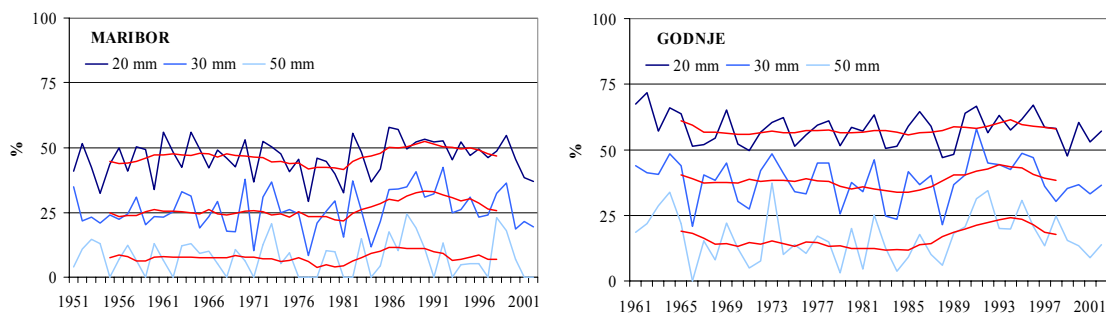


Slika 9.4.2.1: Karta razlik med povprečjem absolutnih letnih 2-dnevnih ekstremnih padavin v obdobju 1961-1990 in zadnjimi 12 leti (obdobje 1991 – 2002). Z rdečimi točkami so označene postaje, kjer je bil zaznan statistično značilen pozitiven trend, z modro postaje, kjer je bil zaznan negativen trend in z belo postaje, kjer trend ni bil statistično značilen.



Grafi 9.4.2.3: Delež padavinskih dni s količino nad izbranimi pragovi glede na vse padavine in devetletno drseče povprečje





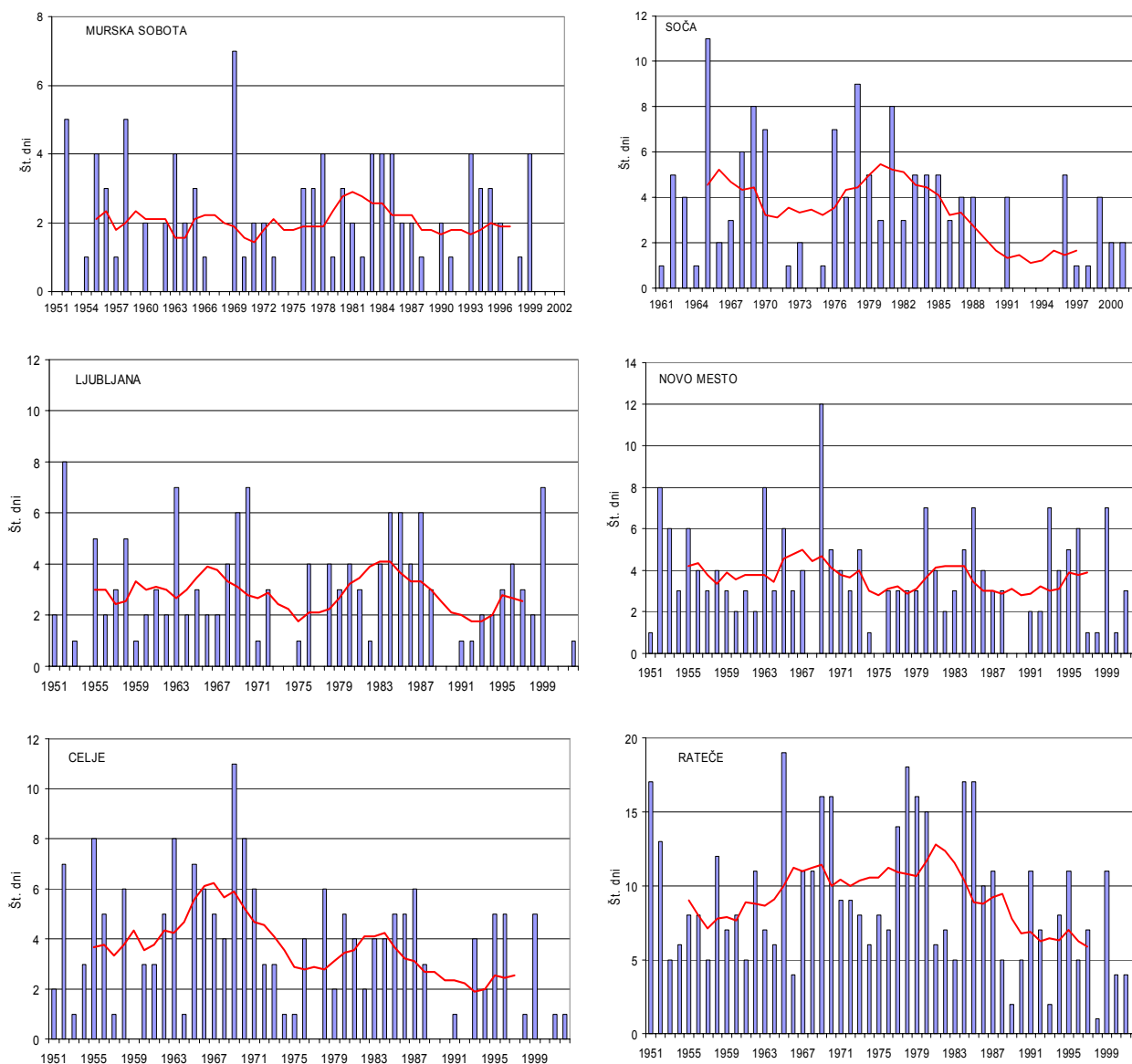
Analizirali smo tudi delež padavin, ki pade ob dnevih s padavinami nad izbranimi pragovi (grafi 9.4.2.3). Porast deleža obilnih padavin pomeni, da je njihov izkoristek za vegetacijo manjši, večja je erozijska moč meteorne vode. Taka porazdelitev je za vegetacijo bistveno manj ugodna od pogostejših, vendar manj intenzivnih padavin. Razlike po Sloveniji so precejšnje. V pretežnem delu države je smiselna analiza za prage do 50 mm dnevno, saj so obilnejše padavine izjemno redke. Drugače je v alpskem svetu, kjer je analiza smiselna tudi za višje prage, na primer 75 in 100 mm. V Posočju delež padavin, ki jih prispevajo dnevi s padavinami nad 50, 75 in 100 mm, v obdobju 1961-2002 narašča, delež padavin nad nižjimi pragi pa upada. Opazne so ciklične spremembe, tako je minimum deleža padavin za prag nad 75 in 100 mm v sedemdesetih letih. Ob obali so tendence slabo izražene, slabo izražena vrha sta ob koncu sedemdesetih in na začetku devetdesetih. Kras, Vipavska dolina in Notranjska kažejo ciklične spremembe z vrhom v zgodnjih šestdesetih in devetdesetih. Tendence je pozitivna za prage 20, 30 in 50 mm. V Prekmurju je tendenca za prag 20 in 30 mm pozitivna, obilnejše padavine pa so tam preredke, da bi lahko delali zaključke. Na Dolenjskem so tendence za pragove 20, 30 in 50 mm pozitivne, tudi tu opazimo ciklične spremembe. V Zgornjesavski dolini poleg šibko izraženega cikla opazimo šibko tendenco k upadu deleža padavin nad pragom 20, 30, 50 in 75 mm. Drugod po državi opazimo stagnacijo ali šibko naraščanje. Zaključimo lahko, da delež intenzivnih padavin po Sloveniji narašča ali stagnira, po večini je prisotno tudi ciklično spreminjanje.

## 9.5 NOVOZAPADLI SNEG

Analizirali smo pogostost dni z vsaj 10 cm novozapadlega snega. Takih dogodkov ni prav veliko, podnebne spremembe pa naj bi se odražale tudi na njihovi pogostosti. Razlike na ozemlju Slovenije so velike, saj so razlike velike tudi v številu dni s sneženjem in v količini padavin. Nabor postaj, ki smo jih uporabili v analizi, in metodologija za njihov izbor sta taka kot pri analizi padavin.



Grafi 9.5.1: Letno število dni z novozapadlim snegom vsaj 10 cm in devetletno drseče povprečje



Večinoma je bolj ali manj prisoten trend upadanja, le v Prekmurju stagnira, vendar je tam tako obilnih snežnih padavin resnično malo. Cikli so tu močno poudarjeni, predvsem minimum ob koncu osemdesetih in v začetku devetdesetih let, veliko postaj ima izražen minimum tudi v sedemdesetih letih. Vrh v začetku osemdesetih let opazimo povsod.

## 9.6 NEURJA

Za neurja in kratkotrajne nalive je značilna izjemna intenzivnost, ki se razvije v zelo kratkem času, tudi traja zelo kratek čas in je običajno omejena na majhno območje. Zaradi teh razlogov z mrežo meteoroloških postaj te dogodke težje zabeležimo, oz. ne moremo zabeležiti vseh dogodkov, zato zelo težko ocenimo njihovo maksimalno intenzivnost. Druga težava je, da za oceno prisotnosti in intenzivnosti pojavov, kot so toča, vihar, nevihta, nimamo objektivnih meril, ampak so ta opazovanja obremenjena z včasih precej visoko subjektivno napako opazovalca in so v večini primerov med sabo slabo primerljiva.

Ker nismo imeli na voljo daljših homogenih nizov podatkov o pogostosti neurij, toče in močnih viharjev, smo v analizo vzeli le zadnja leta, za katera imamo homogen niz podatkov, pridobljenega tudi s pomočjo ocene in prijave škode, ki so jih pojavi povzročili. Ti nizi so kljub vloženim naporom delno pomanjkljivi, saj na nenaseljenih območjih zaradi prostorske omejenosti pojava včasih ne zaznamo.

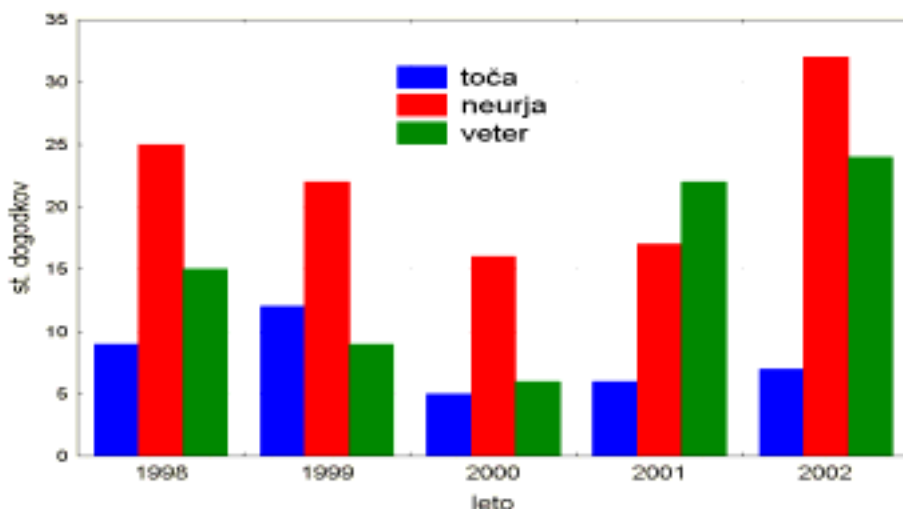
### 9.6.1 REZULTATI

Za neurja smo imeli na voljo homogen niz podatkov od leta 1998 dalje. Povprečje tega kratkega 5-letnega niza je 22.4 hujših neurij na leto. Najmanj (16) jih je bilo leta 2000, največ, kar 32, pa leta 2002. Ker je niz izredno kratek, o variabilnosti in spremembah ne moremo govoriti.

Za točo smo imeli homogen niz od leta 1993 dalje. Na osnov teh podatkov ugotavljamo, da je v Sloveniji v povprečju 8.6 dogodkov z močnejšo točo letno. Največ (12) jih je bilo v letih 1995 in 1999, najmanj (5) pa leta 2000. Seveda so ti rezultati le orientacijski, saj je za določnejše zaključke časovni niz prekratek.

Prav tako kot za neurja, smo imeli za močne vetrove ob neurjih niz podatkov od leta 1998 dalje. Za te dogodke je značilna izjemna razpršenost. Najmanj rušilnih vetrov je bilo zabeleženih leta 2000 (5), največ pa v zadnjih dveh letih, leta 2002 kar 24. Iz podatkov zadnjih let izstopata dve leti: leto 2000 kot leto z izjemno majhnim številom ekstremnih dogodkov (neurja, toča, močan veter) in leto 2002 kot leto z izjemno velikim številom istih dogodkov.

Graf 9.6.1.1: Število zabeleženih primerov neurja, toče in rušilnega vetra v obdobju 1998-2002



Za boljšo analizo kratkotrajnih nalivov s točo in viharji bi bilo potrebno najprej homogenizirati (poenotiti) daljše nize podatkov. Precej možnosti za homogenizacijo je v uporabi daljinskega zaznavanja (radarske slike in meritev razelektritev), vendar je to časovno in strokovno zelo obsežna in zahtevna naloga, ki daleč presega časovni okvir izdelave tega poročila.

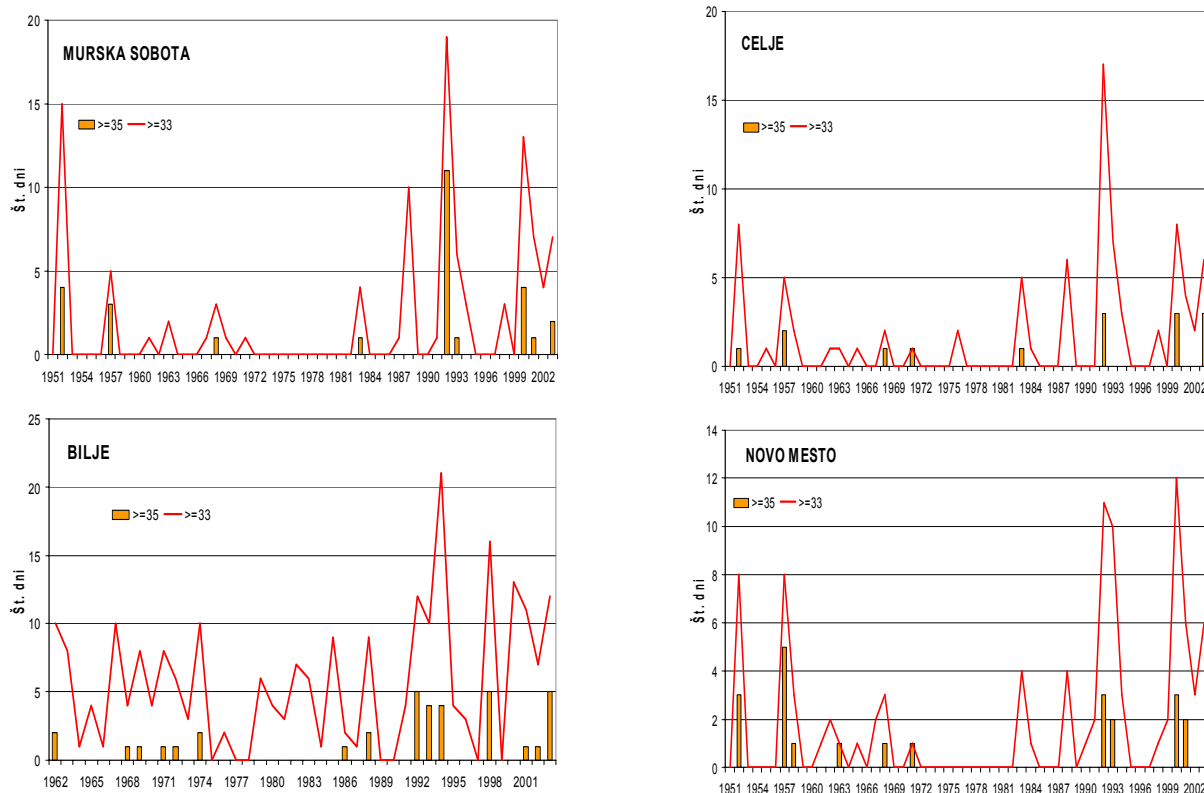
Čeprav so maksimalne hitrosti sunkov vetra ob burji primerljive s sunki vetra ob severnem fenu ali pa ob orkanskem južnem vetru, naj poudarimo, da je močna burja pogost pojav, ki se mu trajna vegetacija večinoma prilagodi, čeprav je pogosto na drevesih opazna značilna deformacija zaradi prevladujoče smeri močnega vetra. Čeprav je sunkovita, zanj niso značilni taki vrtinci, kot nastajajo ob orkanskem južnem ali severnem vetru, ki sta bistveno bolj redka, kot burja. Tako sposobnost vetroloma pripisujemo predvsem severnemu fenu in orkanskem južnemu vetru. Vetrolom lahko povzročijo tudi sunki vetra ob nevihtah, pojavijo

se lahko kjer koli v Sloveniji, po zajetem območju in trajanju so zelo omejeni, kar velja tudi za obliko vrtnčastega vetra ob nevihti.

## 9.7 EKSTREMNO VISOKE TEMPERATURE

Meteoroloških postaj, ki še delujejo in merijo temperaturo, je na ozemlju Slovenije le še 39, od tega jih je nekaj takih, ki so pomembno spremenile lokacijo ali mikrolokacijo. Tako je nabor možnih točk za študij frekvence ekstremno visoke temperature močno omejen. Princip homogenizacije je uporaben za povprečne vrednosti, za ekstreme pa neustrezen. Ena izmed značilnosti, ki je biološko relevantna je ta, da se v zadnjih letih prvi vročinski val pojavi že ob koncu koledarske pomladi. Za prikaz smo izbrali letno število dni, ko je bila za naše podnebne razmere dosežena ekstremno visoka temperatura zraka, izbrana praga sta 33 in 35°C. Tako visoka temperatura je pri nas redkost, od začetka devetdesetih opažamo porast števila tako vročih dni, v sedemdesetih letih so bili tako vroči dnevi zelo redki. Razlike med posameznimi leti so velike.

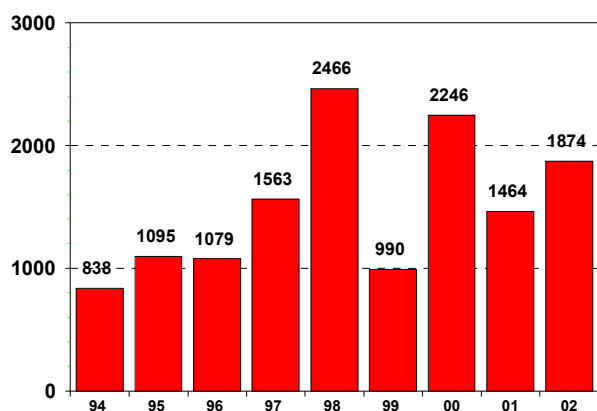
Grafi 9.7.1: Število dni s maksimalno temperaturo vsaj 33 in 35 °C



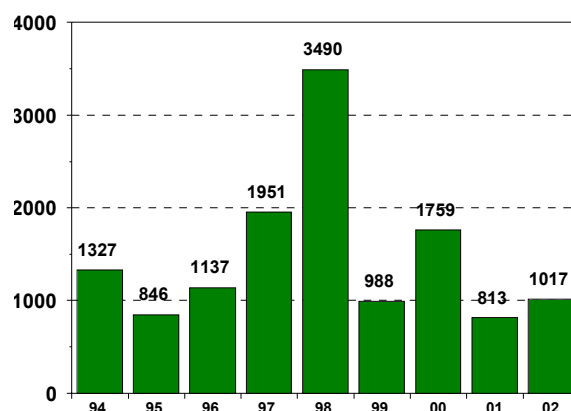
## 9.8 POŽARI V NARAVNEM OKOLJU

Požarna ogroženost naravnega okolja je deloma odvisna od podnebnih razmer na določenem območju, prevladujeta pa vpliva trenutnega vremena in razvojne stopnje rastlinstva. Jeseni in pozimi so podnebne razmere manj ugodne za nastanek požarov v naravi, saj je moč sončnih žarkov šibkejša, temperatura je nižja, tla pa so zaradi manjšega izhlapevanja običajno bolj vlažna. Največja požarna ogroženost naravnega okolja je pozno pozimi in zgodaj spomladi (februar in marec). Takrat temperatura že narašča, v naravi pa še vedno prevladuje suho, odmrlo rastlinstvo, ki je najbolj vnetljivo. V zadnjih letih so bila dolga obdobja toplega in suhega vremena pogosta. Spomladi je bilo zato več požarov v naravi, povečalo se je tudi število požarov poleti, še posebej avgusta. Vzrok za izbruh požara v naravi je največkrat posledica človekovega ravnanja.

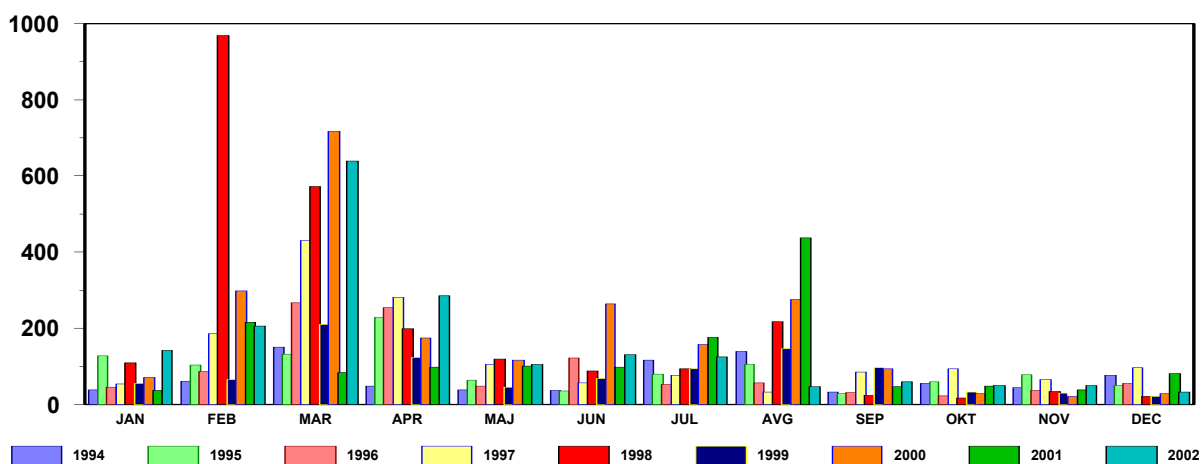
Graf 9.8.1: Število požarov v od leta 1994 do 2002 (vir: URSZR)



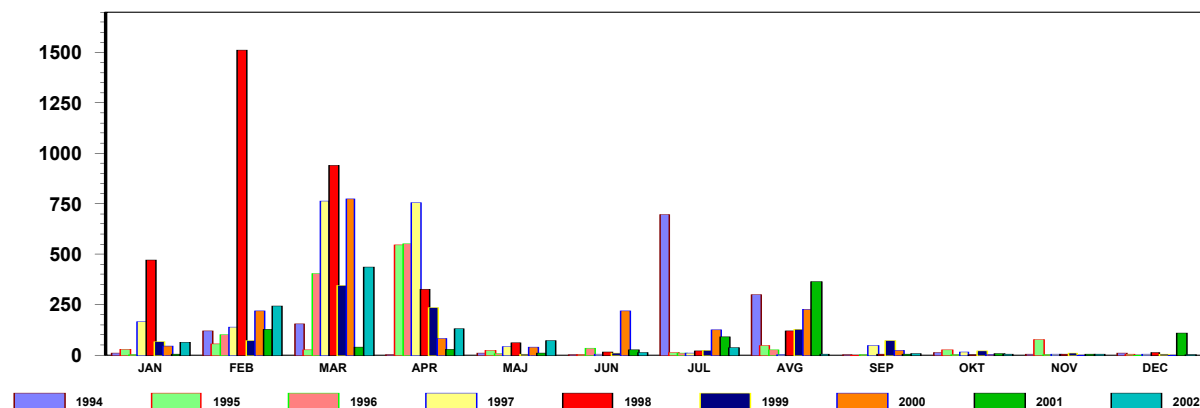
Graf 9.8.2: Površina v ha, ki so jo požari zajeli od leta 1994 do 2002 (vir: URSZR)



Graf 9.8.3: Število požarov po posameznih mesecih od leta 1994 do 2002 (vir: URSZR)



Graf 9.8.4: Površina v ha, ki so jo požari zajeli, po posameznih mesecih od leta 1994 do 2002 (vir: URSZR)



Število požarov se spreminja glede na vremenske razmere. V zadnjih letih je bilo po podatkih URSZR največ požarov leta 1998, ko jih je bilo 2466, zajeli so 3490 ha. Najmanj požarov je bilo leta 1994, ko jih je bilo le 838, zajeli pa so površino 1327 ha (grafa 9.8.1 in 9.8.2). V posameznem mesecu je bilo največ požarov februarja 1998, bilo jih je kar 969, kar je več od števila požarov v celem letu 1994. Zagorelo je na površini 1512 ha, kar je več kot v marsikaterem letu skupaj. Zaradi suhih in vročih poletij je bilo v zadnjih letih veliko požarov tudi poleti. Leta 2001 je bilo v avgustu zabeleženo 437 požarov na površini 364 ha, kar je največ do sedaj (grafa 9.8.3 in 9.8.4).

Ob še nadaljnjih spremembah podnebja se bo število požarov v prihodnosti še nekoliko povečalo. Še bolj verjetno pa se bo povečala zajeta površina požarov, saj bo zaradi dolgih obdobij suhega in vročega vremena predvsem poleti večja možnost za nastanek po obsegu večjih požarov, ki bodo lahko zajeli tudi več 100 ha površine. Takšni požari bodo lahko ogrozili tudi naseljena območja, za gašenje bodo potrebni veliki naporji in vsa razpoložljiva sredstva. Poleti bo zaradi pojavljanja močnih neviht med vzroki za nastanek požarov, večkrat kot doslej, strela. Požari se bodo zato pojavljali tudi v neobljudenih, običajno hribovitih delih Slovenije, kjer se bodo zaradi večjega naklona pobočja hitreje širili, zaradi težke dostopnosti in pomanjkanja vode pa bo gašenje zelo težko. V dolgem sušnem obdobju bodo kratkotrajne, pa čeprav močnejše padavine zaradi velike presušenosti tal le nekoliko zmanjšale požarno ogroženost naravnega okolja. Ob prehodnih padavinah se bodo že nastali požari le delno pogasili. Vršni požar bo zato lahko prešel v podtalni požar, iz katerega bo čez čas ob ugodnih vremenskih razmerah spet prešel v vršni požar.

## 9.9 POPLAVE

Večje spremembe v režimih voda v zadnjih letih pripisujemo spreminjanju podnebnih razmer. Proces je dolgotrajen in ga je težko dokazati, saj so sezonske spremembe neprimerno večje, kot pa so spremembe zaradi spreminjanja podnebja. Poleg naravnih sprememb v režimih voda vplivajo na režime tudi spremembe, ki jih s svojimi posegi v okolje povzroči človek. Ekstremnim vremenskim pojavom, povezanimi s padavinami, običajno sledijo ekstremne hidrološke razmere, ki jih najbolj občutimo kot dolgotrajne suše ali poplave večjih razsežnosti. Hidrološka suša običajno sledi agrometeorološki suši. Zaradi dolgotrajnega pomanjkanja padavin presahnejo prenekateri vodotoki, gladine podzemnih voda pa se močno znižajo zaradi prekinjenega napajanja.

V nasprotju s sušami so poplave v Sloveniji zaradi njenih hidrografskih značilnosti omejene na krajši čas. Preplavitev običajno traja le nekaj dni, razen območij s pogostimi poplavami na

območju krasa in ob rekah z manjšim strmcm, kot sta Krka in Mura. Slednjim se kmetijstvo zaradi pogostosti in splošnega poznavanja teh značilnosti laže prilagaja.

Trendi visokih voda v opazovanem obdobju kažejo, da se veliki pretoki rek na območju vzhodne in zahodne Slovenije povečujejo, medtem ko na ostalem območju stagnirajo, ali celo nekoliko upadajo. Pričakovan pa je pogostejši nastop in večanje jesenskih visokih voda. Prav tako se v zadnjem obdobju večkrat pojavljajo lokalne poplave, ki jih povzročajo predvsem hudourniki in manjše reke z veliko erozijsko sposobnostjo. Kameninski material, ki ga reke odlagajo na obdelovalne površine, zmanjšuje možnosti strojne obdelave kmetijskih površin.

**Slika 9.9.1: Odloženo plavje in naplavine na travniku v Zgornjesavski dolini (29. – 31. avgust 2003)**



Ukrepi za prilagajanje na pričakovane poplave bodo povezani predvsem s preprečevanjem erozije in kontroliranim odlaganjem plavja, medtem ko je preplavljanje kmetijskih zemljišč pogosto povezano s potrebnim prostorom za zadrževanje poplavnih valov (visokovodnih valov) in ga bo potrebno reševati v sklopu celostnega upravljanja z rečnimi bazeni. Vsekakor pa bodo za omilitev škode dobrodošli hidrološki poplavni prognostični sistemi, ki jih pripravljamo in bodo omogočali opozarjanje na nevarnost poplav do deset dni vnaprej.

## 9.10 UKREPI

Glede na dejstvo, da ekstremnih vremenskih dogodkov ne moremo preprečiti, nam ne preostane drugega, kot da se nanje pripravimo na različne načine: izbiramo vrste in dejavnosti, ki so manj ranljive, izbiramo območja, ki so manj izpostavljena, poskušamo z drugimi sredstvi preprečiti povzročanje škode. Odločitve za ukrepe so seveda težke, še posebej, ker ne moremo podati jasnih in natančnih odgovorov na ključna vprašanja, kot so spremembe v intenziteti in obsegu ter pogostosti pojava ekstremnih vremenskih dogodkov. Posledice ukrepov so večplastne, tako sociološke, kot tudi ekonomske. Preprostih odgovorov ni, gotovo pa je, da bi se med seboj morali prepletati kratkoročni, srednjeročni in dolgoročni ukrepi v kombinaciji, ki bi zagotavljala čim manj boleče in čim bolj učinkovito prilagajanje.

Prilagajanje spremenjenim podnebnim razmeram naj se začne z optimalnim prilagajanjem na obstoječo podnebno spremenljivost in pojavljanje ekstremnih dogodkov. Nesporni so vsi ukrepi, ki zmanjšujejo ranljivost na že prisotne vremenske ekstreme. Kratkoročni ukrepi temeljijo na izboljšanju predvidljivosti vremenskih ekstremov v vremenskih napovedih v časovni skali od nekaj ur do nekaj dni. V veliko pomoč bodo tudi izboljšane vremenske napovedi pojava ekstremnih vremenskih dogodkov. Za zdaj je to možno le za dogodke, ki so povezani z razmerami v ozračju v regionalni skali, vendar bo hiter razvoj numeričnih modelov in superračunalnikov kmalu omogočil tudi večjo prostorsko ločljivost in s tem upoštevanje pojavov manjše razsežnosti. Tudi le na osnovi rezultatov determinističnih modelov za napovedovanje vremena je možen marsikateri sklep o verjetnosti ekstremnih dogodkov. Veliko pričakujemo v naslednjih letih od razvoja mesečnih napovedi. Naslednja možnost, ki se zdi za naše območje sicer časovno nekoliko bolj oddaljena, so sezonske podnebne napovedi. Redno jih sestavljajo za obdobje treh mesecev, vendar izračuni segajo že do 6 mesecev. Njihova uporabnost je za pas zmernih geografskih širin še vprašljiva (poglavje 10.3.2)

## 9.11 PREDLOGI

Fizični zaščitni ukrepi so v veliko pomoč pri ogroženosti s poplavami (na primer: nasipi, poplavna območja, drenažni sistemi, primerno vzdrževanje strug rek potokov in hudournikov), sušo lahko omilijo zajetja vode in namakalni sistemi, proti toči lahko nekatere pridelke varujejo mreže, pred pozebo nas lahko obvarujejo oroševalni sistemi in izbor ugodnejših leg.

Ob koncu zapišimo, da moramo upoštevati tudi možnost, da se bo vzorec pojavljanja in frekvence ekstremnih vremenskih dogodkov, v povezavi s spremembo podnebja, spremenil. Ne vemo, kako bodo podnebne spremembe vplivale na zastopanost posameznih vremenskih tipov, ki v veliki meri določajo možnost za nastanek posameznega ekstremnega vremenskega dogodka in njegovo intenziteto. Ali se bomo v prihodnje srečevali s spremenjenimi vzorci zračnih tokov nad našimi kraji? Na to vprašanje je še nemogoče podati zanesljiv odgovor. Vsekakor pa je potrebno omeniti, da je suša povezana z vzpostavitvijo določenega vremenskega tipa oziroma zračnega toka nad Evropo in Sredozemljem, enako velja tudi za večdnevne obilne padavine, ki lahko ustvarijo ugodne razmere za poplave, proženje plazov razmočene zemlje. Tudi nastanek neviht in zelo močnega vetra rušilne jakosti je povezan z nekaterimi vremenskimi tipi. Tako se lahko zgodi, da se bomo v prihodnje pogosteje srečevali le z nekaterimi izmed vremenskih ekstremov (zgoščevanje se lahko pojavi tudi zgolj v posameznem letnem času), da se bo njihova jakost in pogostost močno povečala, nekateri drugi vremenski ekstremi pa bodo postali manj pogosti in ali manj izraziti.

Naslednja izmed možnosti povečanja ogroženosti je posledica kombinacije med učinki spremenjenih povprečnih razmer in ekstremnih dogodkov. Tako lahko postopna sprememba



podnebja vodi k spremembi poraščenosti, spremenjeni rabi zemljišča in s tem do sprememb v erozijskih učinkih vetra in vode, hitrosti odtekanja vode, ki jo prispevajo padavine, deleža vode, ki odteče v primerjavi z vodo, ki ponikne ali izhlapi.

Ker napovedi podnebnih sprememb še vedno vsebujejo veliko mero negotovosti, posebej, ko jih želimo uporabiti na našem ozemlju, bo potrebno v naslednjih letih pazljivo spremljati podnebno dogajanje na našem ozemlju in pri tem upoštevati, da se vse pokrajine ne odzivajo enako. V ta namen bo potrebno vzpostaviti mrežo referenčnih klimatoloških postaj, na katerih bomo po regijah lahko sproti spremljali, kaj nam prinaša podnebna variabilnost in sprememba. Za spremljanje trendov bo potrebno vpeljati natančnejše teste homogenosti podatkov in izpopolniti metabazo historičnih podatkov ter ovrednotiti vpliv morebitnih sprememb v mikrolokaciji merilnega mesta ter vpliv sprememb v načinu meritev ter v merilnem instrumentariju. Da bi v celoti lahko uporabili možnosti, ki nam jih daje daljinsko merjenje, bo potrebno razviti metode za vrednotenje teh podatkov in metodologijo, ki bo omogočala primerljivost med klasično pridobljenimi podatki in podatki, ki jih pridobimo z daljinskimi meritvami.

Posvetiti se bo potrebno tudi razumevanju podnebnega sistema v celoti in pojasniti mehanizme, ki povzročajo ciklične spremembe v pogostosti in intenziteti ekstremnih podnebnih in vremenskih dogodkov. V ta sklop prizadevanj sodi analiza pogostosti posameznih vremenskih tipov po letnih časih, spremembe v izrazitosti in prevladujočih vzorcih gibanja posameznih sinoptičnih entitet, njihovi vztrajnosti oziroma stabilnosti. Ta spoznanja bi lahko nato povezovali z drugimi pojavi, ki določajo podnebno variabilnost na večjih območjih.

Že uvodoma smo omenili izboljšanje kakovosti napovedi tako kratkoročnih, kot tudi srednjeročnih, mesečnih, sezonskih in letnih. Vendar sam napredek in razvoj prognostičnih metodologij brez vključevanja uporabnikov ne bo dovolj. V sam proces bo potrebno aktivno vključiti uporabnike teh produktov na vseh nivojih, od neposrednega uporabnika na polju, do uporabnika, ki načrtuje ukrepe ali pa snuje usmeritve kmetijske politike. Mesečne in sezonske napovedi ter indeksi ekstremnih vremenskih dogodkov niso več deterministične napovedi, ki jim lahko zaupaš ali ne, izražajo se z verjetnostjo in za njihovo optimalno rabo morajo biti izdelani sistemi vrednotenja njihove uporabnosti. Razmerje med dobičkom, ki ga lahko prinesejo in izgubami, ki jih dejavnost utрпи, če je napoved napačna, mora biti natančno ovrednoteno in vedno znova preverjeno. Potrebe uporabnika morajo biti v središču sistema, zato je nujno razviti ustrezno komunikacijo, ki bo omogočila pravilno razumevanje in optimalni izkoristek informacije.

Vse navedene informacije so nam lahko v oporo pri načrtovanju. V prihodnje bo potrebno nameniti več pozornosti interdisciplinarnim študijam posledic ekstremnih vremenskih dogodkov tako na gozdarstvo kot tudi na kmetijstvo in v ta namen prepričati v potrebnost sodelovanja prav vse, ki lahko kakorkoli prispevajo k rezultatom podrobne analize.

## 9.12 VIRI

- Carter, R., 2003, Is Spring Coming Earlier to the Southwest. News from the Climas El Nino-Drought Initiative, The University of Arizona
- Commission for Agricultural Meteorology, WMO-No. 951, 2003. Abridged Report with resolutions and recommendation, Thirteenth Session, Ljubljana, 10-18 October 2002, p. 24-25
- Contribution to EU policies. [www.dow.wau.nl/msa/epr/Eupolicies.htm](http://www.dow.wau.nl/msa/epr/Eupolicies.htm)
- Črepinšek, 2002. Napovedovanje fenološkega razvoja rastlin na osnovi agrometeoroloških spremenljivk v Sloveniji. Doktorska disertacija, Ljubljana 2002, str. 135
- Inouye, D. Climate Change Shifts Frosts Seasons&Plant Growth. Science Daily 17.10.2000/[www.sciencedaily.com/releases/](http://www.sciencedaily.com/releases/)



- Gerjevič, M., 2000 Analiza pojavljanja zadnjih pomladanskih in prvih jesenskih negativnih temperatur v Sloveniji. Razprave/Papers, letnih 32 številka 1-2 strani 7-11.
- Global Environment. Early Warming Signs: Spring Comes Earlier ([www.ucsusa.org/global\\_environment](http://www.ucsusa.org/global_environment))
- Kajfež-Bogataj, L., 2000. Vpliv globalnega ogrevanja na trajanje vegetacijskega obdobja in temperature vsote. Novi izzivi v poljedelstvu 2000. Zbornik simpozija, Ljubljana 2000, s. 54 – 60
- Smith, B., 2001. Adaptation to climate Change. Climate Change in Agriculture Workshop. Ottawa, April 28-29, 2001
- Kajfež-Bogataj, L., Bergant, K. 1999. Comparisson of predicting full flowering dates of apple tree (*Malus domestica* Borkh.) and plum tree (*Prunus domestica* L.) in Ljubljana. Razprave-Papers, posebna številka s:32-39)
- Meteorološki arhiv Agencije RS za okolje
- O'Brien, T., Cutforth, H.W., Rickwood, R., 1999. Climate change on Canadian prairie: frost free duration. CSSS'99, Canadian Society Soil Science Annual Meeting, Charlottetown, prince Edward Island, August 8-11, 1999
- Rakovec in sod. 1999 Spremembe in trendi v Sloveniji izmerjenih meteoroloških in fenoloških količin ter priprava scenarijev spremembe podnebja. Fakulteta za matematiko in fiziko. str. 140
- Sakai, A., Larcher, W., Frost Survival of Plants. Responses and Adaptation to Freezing Stress. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio. str.266.

# 10 SMERNICE ZA NADALJNJE DELO

## IZVLEČEK

V tem poročilu je podrobno obdelana problematika sprememb podnebja, ki jih pričakujemo v prihodnjih desetletjih ali pa so se (kot kažejo nekatere analize) že zgodile. Dostopni podatki so obdelani in prikazani z metodami in orodji, ki jih trenutno obvladujemo. V tem poglavju pa predstavljamo naš pogled naprej. Opisujemo predvsem tisto delo, ki bi si ga lahko zadali že sedaj ali pa v bližnji prihodnosti, nekaj v obliki rednega dela pristojnih ustanov, nekaj pa v obliki projektov ali ciljnih raziskovalnih programov.

Ena od glavnih nalog je posodobitev agrometeorološkega informacijskega sistema za uporabnike. Tudi informacije iz aktualnih sistemov za monitoring bi potrebovale udobnejšo pot do uporabnikov, ob razvoju novih produktov bo posodobitev poti za posredovanje postala še bolj potrebna.

Precej prostora je namenjenega opisu uporabe analiz in napovedi vremena v veliki prostorski skali. Gre pač za aktualno področje, ki se je s projekti ponovnih analiz in tudi s statusom Slovenije kot sodelujoče države v Evropskem centru za srednjeročne prognoze vremena (ECMWF) "odprlo". Dobili smo dostop do velike količine podatkov o vremenu in podnebjju v preteklih 50 letih in tudi nekaj novih produktov – npr. mesečne in nekajmesečne (sezonske) napovedi vremena. Gre za informacije v veliki prostorski skali, zato je najprej potreben osnoven pregled možnosti za njihovo uporabo v konkretnih aplikacijah. V ta sklop sodi tudi spremljanje in interpretacija scenarijev podnebnih sprememb, ki je ciklična, nikoli zaključena naloga.

Posebna pozornost je posvečena uporabi meritev, pridobljenih s sistemi daljinskega zaznavanja. V ta sklop sodi meteorološki radar, s katerim upravlja Agencija RS za okolje in ki je v meteorološke aplikacije že dodobra vpet. Tudi na področju uporabe satelitskih meritev se s statusom sodelujoče države, ki ga ima Slovenija v medvladni organizaciji EUMETSAT, odpirajo nove možnosti.

Nenazadnje pa omenimo še specifične agrometeorološke aplikacije, kot je npr. simuliranje rasti in razvoja rastlin v določenih (analiziranih ali napovedanih) vremenskih razmerah. Na raziskovalnem področju je bil pri teh modelih dosežen določen napredek, sedaj obstajajo možnosti za uporabo teh izračunov v vsakdanji agrometeorološki praksi.

## 10.1 OZADJE

Analize, izdelane in predstavljene v tem poročilu, pretežno slonijo na podatkih iz glavnih meteoroloških postaj. To je načelno dobro; na glavnih postajah opazujejo šolani opazovalci, podatki so kvalitetni in nizi dokaj popolni. Vendar se s tem ne moremo zadovoljiti iz (vsaj) dveh razlogov:

- analize za celotne regije temeljijo na nekaj (tipično 2-3) točkah. Točkovne meritve pa so močno obremenjene z mikrolego in običajno niso reprezentativne za celotno regijo. To zlasti velja za glavne meteorološke postaje, ki so večinoma v bližini večjih krajev.
- v prihodnosti lahko pričakujemo, da se bo merilna mreža spremenila. Zaradi teženj po zmanjševanju števila zaposlenih v državni uporabi (kamor sodijo tudi profesionalni opazovalci) se bo število glavnih meteoroloških postaj najverjetneje zmanjševalo. Ker regionalne analize temeljijo na nekaj prostorskih točkah, se z ukinitvijo vsakega od teh "stebrov" lahko precej zamajejo.

Zato je vsaj srednjeročno nujen pogled naprej. Nadaljnje delo vidimo predvsem na treh segmentih:

- Ureditev podatkovnih tokov in uporaba sodobnih informacijskih tehnologij za posredovanje informacij in obstoječih analiz uporabnikom.

- Preučevanje točkovnim meritvam alternativnih podatkovnih virov za izdelavo analiz.

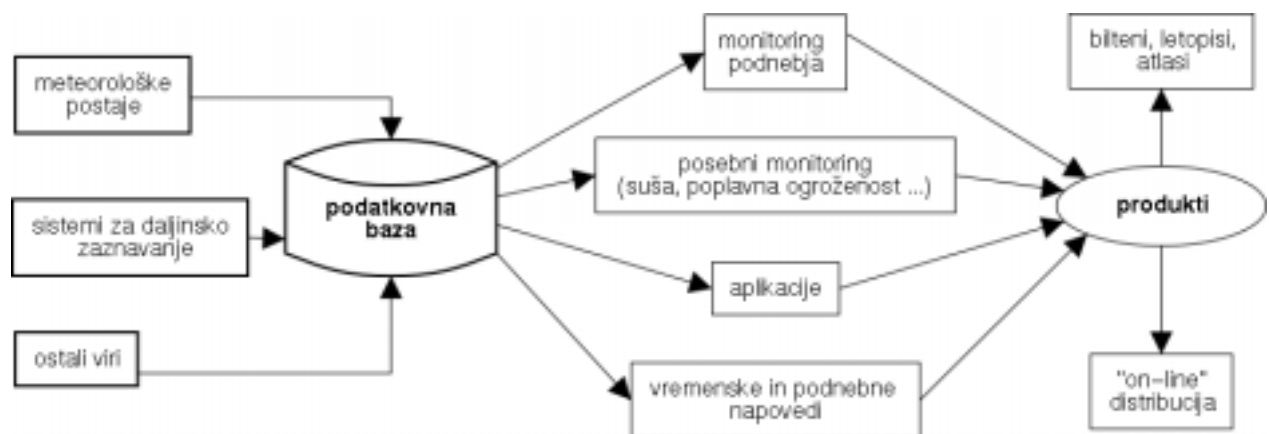
Izdelava oz. implementacija metod za povezavo med meteorološkimi napovedmi (kratkoročnimi, srednjeročnimi, dolgoročnimi in klimatskimi) in agrometeorološkimi parametri.

- Večja vloga podatkov, pridobljenih s sistemi daljinskega zaznavanja.

## 10.2 AGROMETEOROLOŠKE INFORMACIJE ZA UPORABNIKE

Agrometeorološke informacije, tudi če so pridobljene po najsodobnejši metodologiji, nimajo velike vrednosti, če niso ustrezno podane, ovrednotene in posredovane vsem zainteresiranim uporabnikom. Tudi izvedba v tem poglavju predlaganih aplikacij ne bi prinesla željenega učinka, če se prej ne posodobijo komunikacijski kanali.

Slika 10.2.1: Tok podatkov od virov do končnih uporabnikov



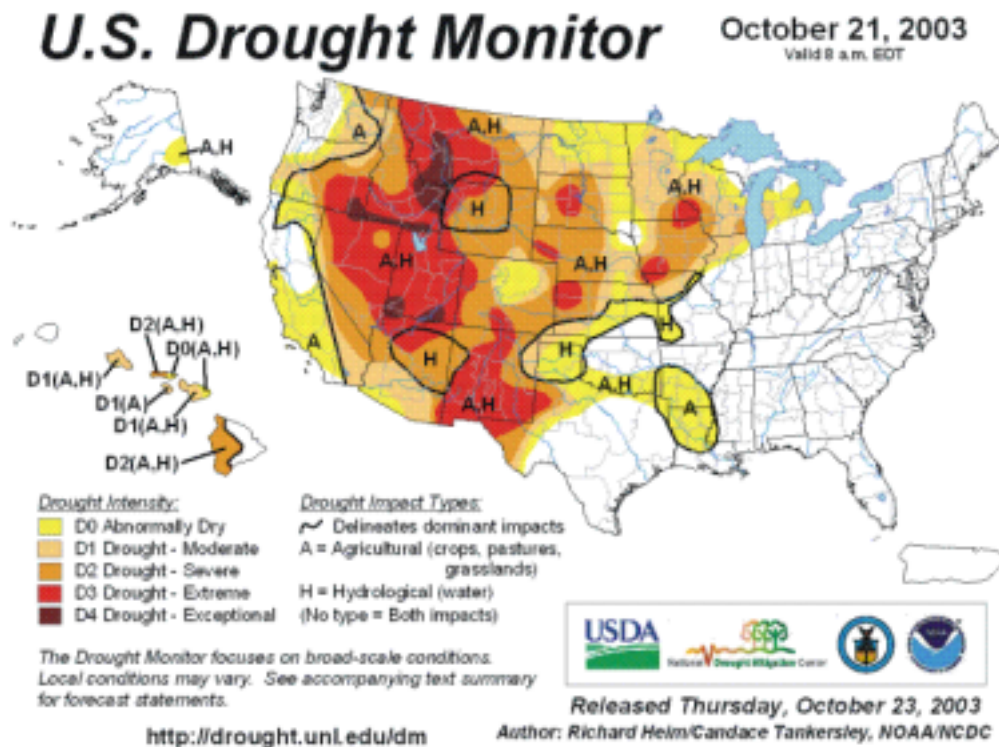
Na Agenciji RS za okolje že tečejo projekti posodobitve posameznih tokov podatkov, ki so skicirani na sliki 10.2.1. Posodablja se tudi sama podatkovna baza in nekateri monitoringi ter aplikacije. V tem poglavju so opisane še mnoge možne izboljšave in predlogi za nadaljnje delo na področju monitoringa in aplikacij. Seveda pa je potrebno uporabnikom teh produktov (npr. kmetovalcem) ponuditi ustrezen način dostopa. Na tem področju so se ob suši v letu 2003 pokazale precejšnje pomankljivosti. Suša je pri podnebnih ekstremih nasploh poseben fenomen, saj nastopa počasi, lahko bi rekli da se "priplazi" (Wilhite in Svoboda, 2000). Zato imamo pri suši ( za razliko od drugih ekstremnih dogodkov, povezanih z vremenom in podnebjem) večja časa in se s pomočjo sodobnega monitoringa lahko ustrezno pripravimo.

Primer ustrezne prezentacije produktov je ameriški monitoring suše (slika 10.2.2). Informacija o stopnji suše je podana v razredih po predhodno opravljeni klasifikaciji. Označena so prizadeta območja ter tip suše (agrometeorološka, hidrološka). S podobnim produktom bi pri nas lahko rešili kar nekaj težav:

- ugotavljanje stopnje prizadetosti po področjih in njihovo združevanje v cone bi bilo na voljo sproti in se ne bi izdelovalo (običajno v naglici) po posredovani zahtevi;
- s pomočjo informacijske tehnologije bi lahko k monitoringu prispevali vsi, ki posedujejo ustrezno znanje in podatke. Tako bi dobili neke vrste "konsenzualni produkt";

-z uporabo primerih tehnologij (najprimernejši je svetovni splet) bi zagotovili primerno dostopnost najširšemu krogu uporabnikov.

Slika 10.2.2: Ameriški monitorinj suše: stanje za 21. oktober 2003



## 10.3 UPORABA VREMENSKIH IN PODNEBNIH ANALIZ IN NAPOVEDI V VELIKI PROSTORSKI SKALI

### 10.3.1 OBČUTLJIVOST NA VZORCE SINOPTIČNIH STANJ VRE MENA

Pojavi v ozračju, ki vplivajo na vrednosti meteoroloških spremenljivk pri tleh, imajo različne horizontalne razsežnosti, ki segajo od nekaj metrov do več tisoč kilometrov (Rakovec in Vrhovec, 2000). Pri obravnavi odvisnosti oziroma ranljivosti človekovih dejavnosti (med drugimi tudi kmetijstva) od vremena in podnebja pa nas zanima predvsem skupen vpliv pojavov vseh velikosti v lokalni skali, v vsaki od točk na obravnavanem področju. Logičen sklep bi bil, da nas pojavi z dimenzijami nad nekaj kilometri ne zanimajo. Razloga, ki temu sklepu nasprotujeta, sta (vsaj) dva:

- 1. Gostota merilne mreže.** Če bi imeli v vsaki od obravnavanih točk (npr. na vsakem kmetijskem območju) merilno postajo s kvalitetnim in dolgim nizom podatkov, potem za obravnavo pretekle variabilnosti vremena drugih virov podatkov ne bi potrebovali. S takšno količino podatkov ne razpolagamo, zato je potrebno pri vsaki računski obravnavi variabilnosti vremena uporabiti eno od tehnik prostorske interpolacije meteoroloških spremenljivk, ki "prevajajo" podatke iz merilnih točk na točke brez meritev. Pri tem se (hote ali nehote) predpostavi tudi poznavanje procesov večjih razsežnosti – vsaj z razdaljo do najbližje merilne točke. Konkretno v Sloveniji to pomeni nekaj 10 km.

**2. Klimatske napovedi in trendi.** Poleg pretekle nas zanima tudi bodoča variabilnost vremena in podnebja. Dolgoročne napovedi vremena in scenariji klimatskih sprememb pa so večinoma podane kot vzorci vremenskih stanj v veliki (makro ali sinoptični) skali. Na voljo je veliko tehnik prilagajanja vremenskih stanj velikih razsežnosti na manjšo, tudi lokalno skalo ("downscaling"). Precejšen del tega poročila se ukvarja s to problematiko. Grobo pa lahko problematiko "downscalinga" kritiziramo takole: "downscaling" je lahko preprost in pretežno linearno "prevaja" pojave velikih razsežnosti v lokalno (mikro) skalo ter s tem mnoge procese zelo grobo poenostavi; lahko pa je kompleksen in z nelinearnostjo (npr. z mnogimi "stikali") toku informacij med veliko in manjšo skalo dodaja šum in s tem povečuje delež nepojasnjene variance.

Mnenja o downscalingu so sicer deljena. Mnoge inštitucije posvečajo razvoju metod za downscaling veliko pozornost. Velike skepse pa je downscaling deležen zlasti med klimatologi, ki se ukvarjajo z dolgoročnimi napovedmi variabilnosti vremena. Za kompleksnejše metode, kot je uporaba numeričnih meteoroloških modelov nad omejenim območjem, po njihovem mnenju ne dodajajo nobene dodatne vrednosti napovedim procesov večjih razsežnosti (Harrison, 2001). Alternativa, ki jo ponujajo, je nasproten proces, torej "upscaling". Priporočajo, da uporabniki, ki jih zanima odvisnost njihove dejavnosti od vremena in podnebja, svoje podatke prevedejo iz lokalne oz. mikro skale "navzgor" ali pa razvijejo metode, ki bi jim omogočale neposredno povezavo med procesi v večjih razsežnosti in njihovo dejavnostjo. Poskus izdelave takšne metodologije je opisan v tem poročilu.

### **Sinoptični vremenski sistemi**

Planetarni pas zahodnih vetrov, ki razmejuje polarne in subtropske zračne mase, opredeljuje tako vreme kot podnebje na zmernih geografskih širinah (torej tudi v Sloveniji). Hitrost zračnega toka običajno narašča z višino in je največja na višini okoli 10 km. V bližini tal, do višine nekaj km (manj nad ravninami in oceani, več nad goratimi območji) tok "čuti" vpliv tal in je posledično bolj "dojemljiv" za pojave v manjših skalah. Poleg tega so v zračnem toku tudi območja horizontalnega stekanja in raztekanja zraka, ki so najšibkejša na višini okoli 5 km. Ta višina je torej najprimernejša za obravnavo sinoptičnih pojavov v toku. Tradicionalno pa se pojavi ne obravnavajo pri določeni višini, temveč pri določenem (konstantnem) tlaku. Referenčni tlak je 500 hPa, ki se v pasu zmernih geografskih širin giblje med višinama okoli 5200 m in 5900 m. Zračni tok pri tem tlaku je predmet naše obravnave.

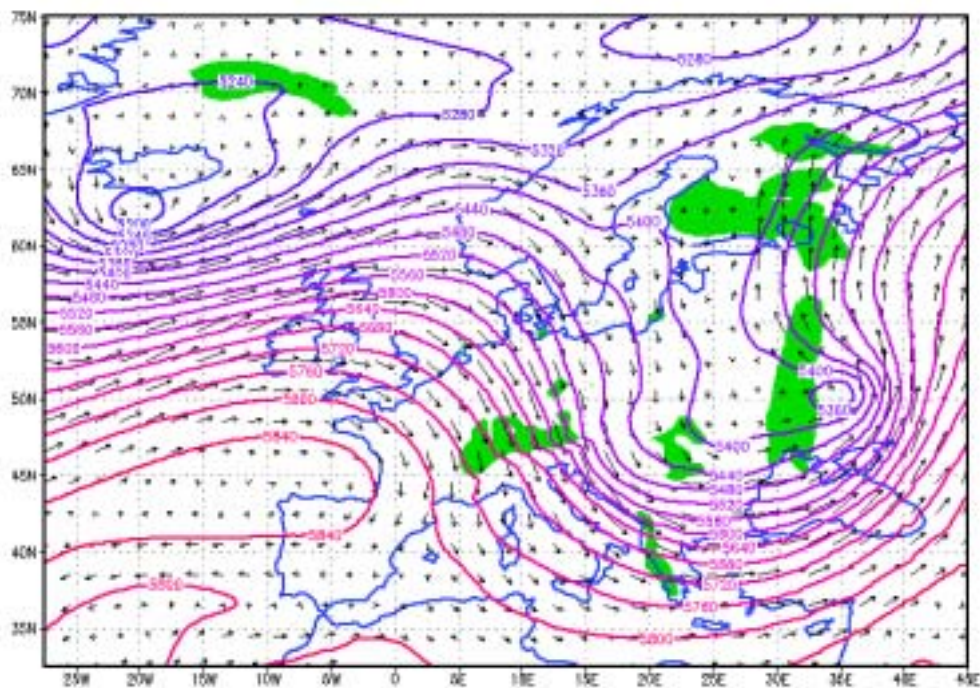
Dejstvo, da zračni tok ni zgolj longitudinalen, temveč da niha v meridionalni smeri in da se motnje gibljejo (tok torej valuje), povzroča vreme kakršnega imamo pri nas. Motnje oziroma valovi v tem toku pa so pojav v kontinentalni oz. **sinoptični** skali. Ločimo dva tipa motenj: **dolina** je odklon toka in posledično prodor polarnega zraka proti jugu (na severni zemeljski polobli). Pri tem se tok krivi v nasprotni smeri urinih kazalcev, kar povzroča v nižjih plasteh gibanje zraka navzgor in posledično padavine. Zlasti na vzhodnem robu doline je velika možnost tvorbe padavinskih sistemov, tam se v nižjih plasteh ozračja najpogosteje tvorijo cikloni s frontalnimi sistemi. **Greben** pa je odklon toka in posledično prodor subtropskega zraka proti severu. Tok se krivi v smeri urinih kazalcev, kar povzroča spuščanje zraka in posledično stabilizacijo vremena. Če v toku ni nobene motnje, govorimo o nemotenem ali **zonalnem toku**.

Na sliki 10.3.1.1 je primer sinoptične situacije na tlačni ploskvi 500 hPa nad Evropo. Greben povzroča nad zahodno in jugozahodno Evropo stabilno in suho vreme, medtem ko so padavinski sistemi nad srednjo in vzhodno Evropo povezani z obširno dolino. Jasno je, da se vse variabilnosti padavinskih sistemov ne da opisati zgolj s tokom pri tlaku 500 hPa, saj so padavinski sistemi pojav v srednji meteorološki skali. Poseben pojav je padavinsko območje na severni strani Alp, ki delno sega že v greben. To padavinsko območje ni povezano z dinamičnim nastankom padavinskih sistemov v sinoptičnih sistemih, povzroča ga zastoj

oziroma prisilni dvig severozahodnega toka zraka čez Alpe. Takšnih padavinskih sistemov zgolj s poznavanjem sinoptične situacije ni mogoče pojasniti.

Po drugi strani pa je sam zračni tok zelo dobro opredeljen s poljem izohips tlačne ploskve. Veter v tem toku piha v galvnem vzporedno z izohipsami tako, da se tlačna ploskev dviga v smeri desno od toka (**geostrofski veter**). Polja vetra torej ni potrebno vključiti v obravnavo, dovolj je že polje višine tlačne ploskve.

Slika 10.3.1.1: **Primer sinoptične karte pri tlaku 500 hPa. izohipse označujejo višino tlačne ploskve, puščice orisujejo zračni tok na tej ploskvi, z zeleno barvo so označena območja intenzivnejših padavin (> 1 mm/h)**



## Opis metodologije

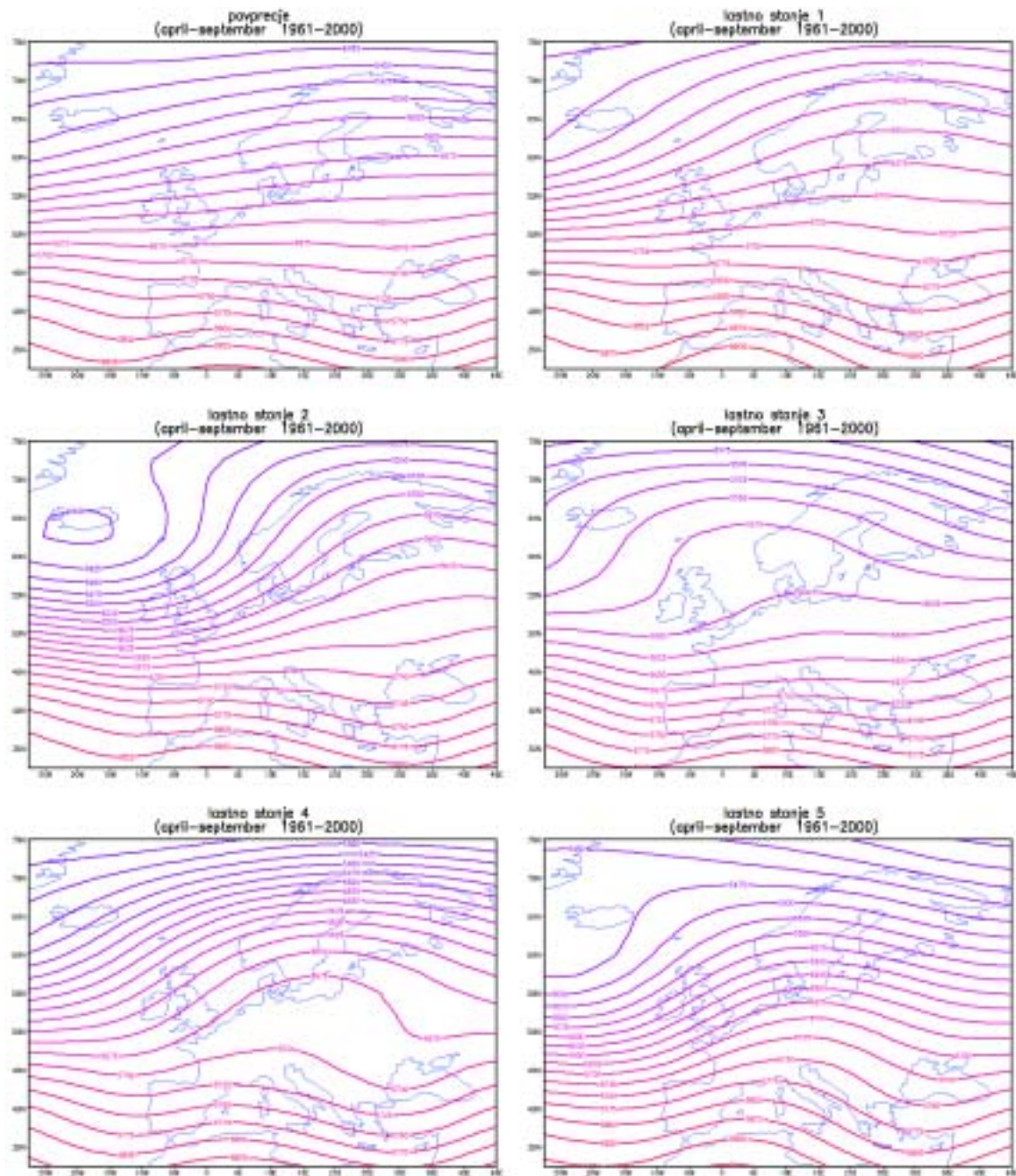
Cilj je statistična obdelava dnevni sinoptičnih situacij za tople polovice let (april-september) v obdobju 1961-2000; razpolagamo torej z okoli 7 300 polji višine tlačne ploskve 500 hPa kakršno je na sliki 10.3.1.1. Najprimernejša metoda za določanje značilnih vzorcev je t.i. **analiza glavnih komponent**. Na kratko lahko to metodo opišemo takole:

- Vse podatke zberemo v matriko, v kateri so vrstice posamezna polja višine tlačne ploskve, stolpci pa (posledično) časovne vrste višine tlačne ploskve nad posamezno lokacijo. Pred tem odštejemo povprečje.
- Dobljeno matriko množimo z njej transponirano matriko; tako dobimo kvadratno kovariančno matriko, ki ima dimenzije enake številu lokacij oz. mrežnih točk.
- Poiščemo lastne vrednosti in lastne vektorje kovariančne matrike. Lastni vektorji so v literaturi (Hans von Storch, Francis W. Zwiers, 1999; Bjornsson in Venegas, 1997) imenovani z neprimernim imenom **empirične ortogonalne funkcije**, čeprav dejansko ne gre za funkcije. V tem poročilu uporabljamo izraz **lastna stanja**. Lastna vrednost vsakega od lastnih stanj predstavlja varianco, zbrano v dimenziji, ki jo napolnijo lastna stanja. Vsota vseh lastnih vrednosti je torej celotna varianca.
- Originalna polja rekonstruiramo tako, da jih zapišemo kot linearne kombinacije lastnih stanj. Dobljene koeficiente pred lastnimi stanji imenujemo **glavne komponente**. Običajno jih

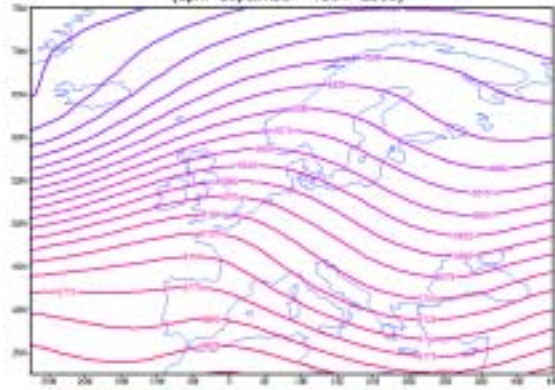


normiramo tako, da je njihova varianca enaka 1. Glavne komponente predstavljajo uteži, s katerimi je vsako od lastnih stanj zastopano v konkretni situaciji, njihov značilni razpon je med  $-2$  in  $2$ .

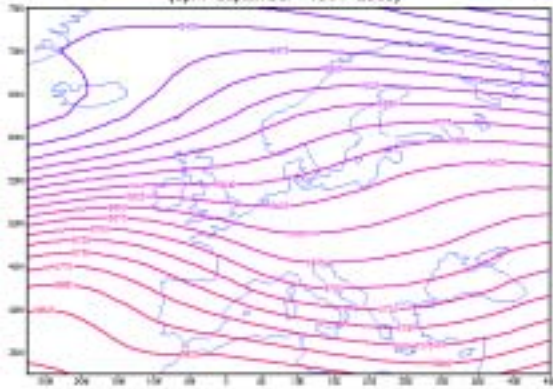
Slike 10.3.1.2: Povprečno polje geopotenciala pri tlaku 500 hPa nad Evropo za toplo polovico leta (april-september) v obdobju 1961-2000 in prvih 10 lastnih stanj (vir podatkov: ponovne analize ECMWF)



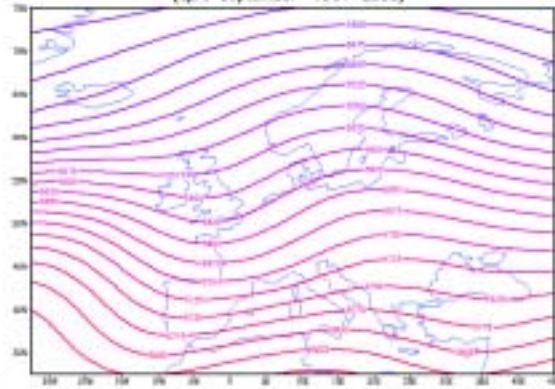
izotno stanje 5  
(april-september 1961-2000)



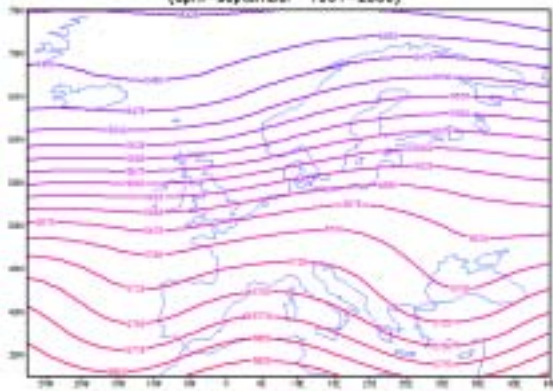
izotno stanje 7  
(april-september 1961-2000)



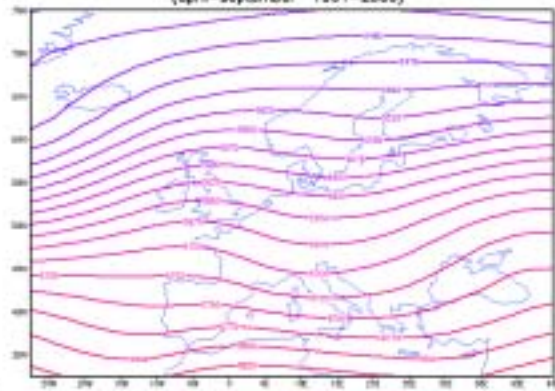
izotno stanje 8  
(april-september 1961-2000)



izotno stanje 9  
(april-september 1961-2000)

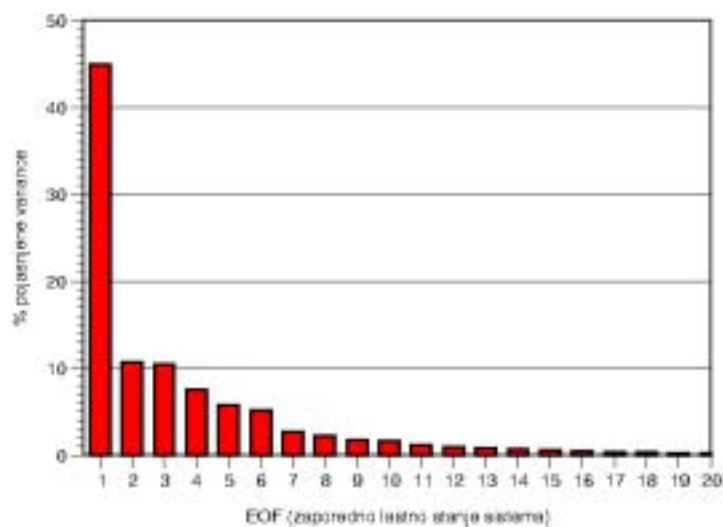


izotno stanje 10  
(april-september 1961-2000)





Graf 10.3.1.1: Stopnja pojasnjene variance posameznih stanj

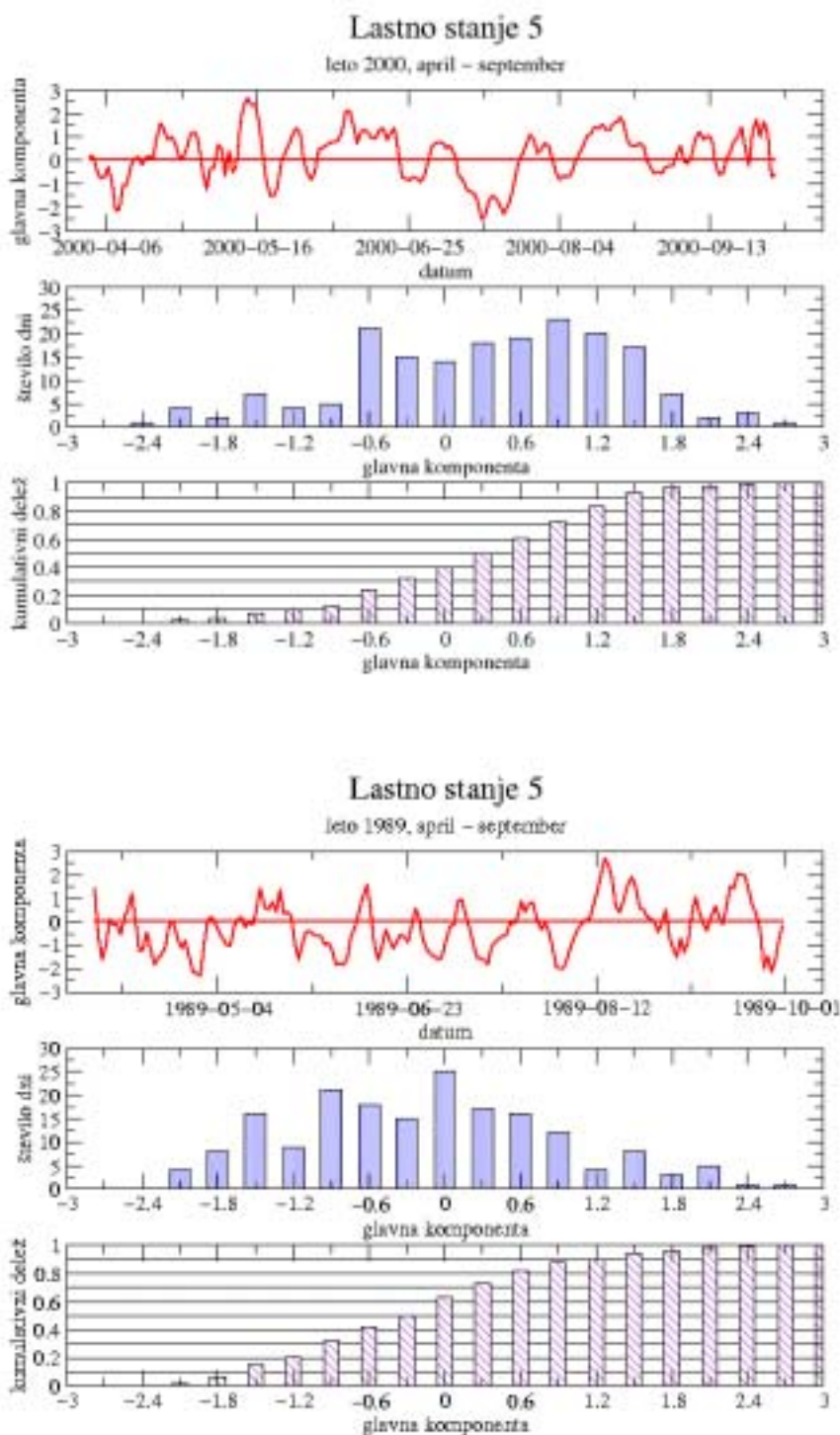


Na sliki 10.3.1.2 je narisano povprečno polje višine tlačne ploskve 500 hPa za omenjeno obdobje in prvih pet lastnih stanj, na grafu 10.3.1.1 pa delež variance posameznega lastnega stanja v celotni varianci. Daleč največ variance pojasnjuje že prvo lastno stanje (44,8%), s prvimi petimi lastnimi stanji je pojasnjene že 79,4% celotne variance, s prvimi desetimi lastnimi stanji pa že 92,6%. Preostalih 530 lastnih stanj (toliko je namreč mrežnih točk) pojasni le nekaj preostalih odstotkov variance. Poudariti pa je potrebno, da je neposredna interpretacija lastnih stanj kot nekakšnih notranjih fizikalnih lastnosti ozračja problematično. Metoda glavnih komponent izlušči med seboj nekorelirane komponente ter prostorske vzorce (lastna stanja), ki so ortogonalni drug na drugega. V naravi pa različni dejavniki, ki krojijo sinoptično situacijo, niso vedno ortogonalni. Zato ima običajno zares smiselno fizikalno razlago le prvo lastno stanje, ostala pa so obremenjena z ortogonalnostjo, kar povzroča mešanje signalov (Kim in Wu, 1999). Posameznih lastnih stanj torej ne moremo obravnavati ločeno od drugih.

Povprečno stanje (slika 10.3.1.2 levo zgoraj) je po pričakovanju precej zonalno, zaznavni sta le dolini nad južnim Atlantikom in Črnim morjem ter greben nad Sredozemljem). Prvo lastno stanje z daleč največjim deležem pojasnjene variance odstopa od povprečja v pozitivni smeri nad celotno Evropo, najbolj je greben izrazit nad Skandinavijo. Nad Slovenijo je neizrazit zonalni tok. Drugo lastno stanje predstavlja dolino nad severnim Atlantikom in greben nad severovzhodno Evropo. Tudi v tem primeru je nad Slovenijo zonalni tok, tokrat je rahlo nakazana jugozahodna smer zaradi vpliva atlantske doline. Tretje in četrto lastno stanje predstavljata greben, v prvem primeru nad Severnim morjem, v drugem pa nad srednjo Evropo. (v tem primeru je njegov vpliv rahlo zaznaven tudi nad Slovenijo) Šele v petem lastnem stanju lahko nad kontinentalno Evropo ugotovimo razvit greben, kakršen je značilen za obdobja stabilnega, poleti tudi vročega vremena. Intuitivno lahko sklepamo, da je prav večja pozitivna uteženost petega lastnega stanja signal za suho, nepadavinsko vreme.

Zdaj lahko gornje intuitivno sklepanje o 5. lastnem stanju preverimo na primerih. Izbrani sta dve leti, in sicer zadnje "mokro" leto (1989) in zadnje "suho" leto (2000). Poteka glavnih komponent za 5. lastno stanje in njihovi porazdelitvi sta na grafih 10.3.1.2.

Grafi 10.3.1.2: Poteka glavnih komponent za 5. lastno stanje ter njuni porazdelitvi za leti 1989 in 2000



Če graf 10.3.1.2 interpretiramo kot potek vremenskih situacij oziroma njihovo projekcijo na 5. lastno stanje, lahko ugotovimo, da smo "izluščili" dokaj prepoznaven signal v obeh obravnavanih letih. V letu 2000 je 5. glavna komponenta pretežen del leta pozitivna, z izjemo nekaj pomladnih prodorov in daljšega obdobja nestabilnega vremena v juliju, ko je glavna komponenta negativna. Negativna glavna komponenta namreč pomeni negativno anomalijo

lastnega stanja glede na povprečje (ki je pretežno zonalno) – torej namesto grebena dobimo nad srednjo Evropo in Sredozemljem dolino.

Obratno pa je v “mokrem” letu 1989 le nekaj obdobj stabilnega vremena, malo daljša stabilizacija nastopi šele v drugi polovici avgusta. Tudi v porazdelitvi glavnih komponent 5. lastnega stanja je v letu 1989 pri ničli že nekakšen “eksponenten rep”, medtem ko je v letu 2000 precej jasen maksimum pri vrednosti okoli 1.0

Lahko torej zaključimo, da smo pri raziskovanju povezave med tipizacijo vremena s pomočjo lastnih stanj zračnega toka pri 500 hPa in vodno bilanco zaznali signal. To je predvsem vspodbuda za nadaljnjem preverjanju vpliva pričakovane podnebne spremembe na vreme in podnebje v Sloveniji.

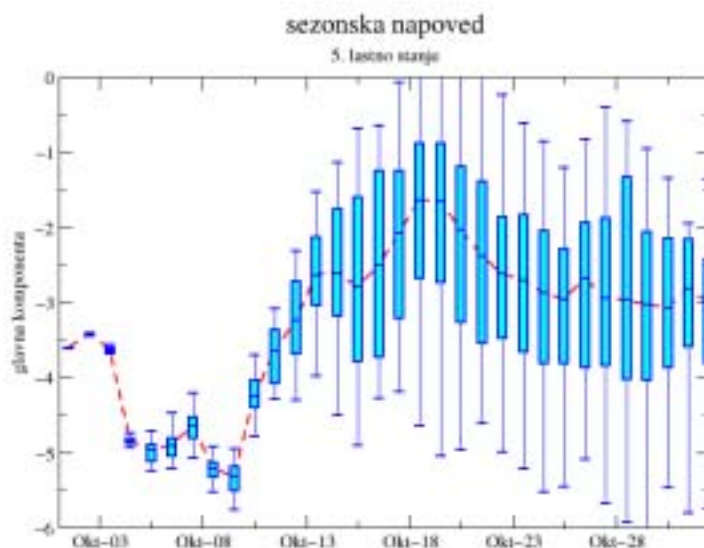
### 10.3.2 SEZONSKE NAPOVEDI VREMENA

Od sredine 60-ih let dalje meteorologi vemo, da je napovedljivost vremena zelo omejena. Zaradi kaotičnosti ima atmosfera precej “kratek spomin”; informacija o tem, kakšno je trenutno stanje, po približno 15 dneh izgubi vso vrednost in iz nje ni več mogoče napovedovati vremena. Na prvi pogled sezonsko (tj. trimesečno) napovedovanje vremena ni mogoče.

Sistem sezonskega napovedovanja vremena sloni predvsem na informacijah, ki jih nosi površje Zemlje – temperatura površja oceanov, snežna odeja in vsebnost vode v tleh. Vir teh informacij je v sistemu sezonskega napovedovanja vremena zagotovljen s sklopitvijo modelov, ki simulirajo morske tokove v oceanih, z atmosferskimi modeli ter z asimilacijo satelitskih slik (glej poglavje 10.4.3). Primer močnega signala in posledično dokaj uspešnih sezonskih napovedi je El Niño oziroma t.i. južna oscilacija v Pacifiku. Gre namreč za vremensko anomalijo, ki je tesno povezana s temperaturnimi anomalijami na površju Pacifika, zato je posledične vremenska odstopanja od običajnega režima (predvsem v tropskih predelih Pacifika) možno dokaj zanesljivo napovedati nekaj mesecev naprej.

Sezonske napovedi ni mogoče podati deterministično, kot zgolj en scenarij poteka vremena, temveč kot verjetnostno porazdelitev možnih vremenskih stanj. “Razpršenost” verjetnosti je odvisna od moči signala, ki vpliva na potek vremenskih stanj in je – žal – značilno manjša v zmernih geografskih širinah (predvsem v Evropi) kot v tropskih predelih.

**Graf 10.3.2.1: Poskus interpretacije sezonske napovedi (pojasnila so v besedilu)**



Sezonske napovedi je potrebno torej zelo pazljivo interpretirati. Prvi korak je obvezno t.i. kalibracija, torej preverba moči signala sezonskih napovedi za specifično aplikacijo na daljšem, vsaj 10-letnem nizu. Slovenija ima kot sodelujoča država v Evropskem centru za srednjeročne prognoze (ECMWF) dostop tako do obsežnega arhiva kot do aktualnih sezonskih napovedi in torej na podatkovni strani ne bi smelo biti težav. Dobro pa je potrebno razmisliti kako napovedi interpretiramo. Pri tem naletimo na podobne težave kot pri interpretaciji MSC (modelov splošne cirkulacije) pri scenarijih spreminjanja podnebja. V razmislek je ponujena metodologija, opisana v poglavju 10.3.2. Na grafu 10.3.2.1 je primer interpretacije sezonske napovedi za oktober 2003 z omenjeno metodologijo, torej kot porazdelitev glavnih komponent izbranega lastnega stanja, ki je povezano z določenim vremenskim tipom. Vsekakor je potrebno poiskati optimalen način interpretacije za vsako od ciljnih aplikacij in preveriti, če je moč signala za njihovo uvedbo zadovoljiva.

### **10.3.3 REGIONALNE PONOVNE ANALIZE PRETEKLEGA VREME- NA**

Ponovne analize vremena ter napovedi (srednjeročne, dolgoročne in podnebne) lahko interpretiramo s pomočjo lastnih vremenskih stanj sinoptičnih razsežnosti, lahko pa jih poskusimo prilagoditi na manjšo, lokalno ali regionalno skalo s pomočjo "downscalinga". Eden od načinov so regionalne ponovne analize, pridobljene z numeričnim meteorološkim modelom za omejeno področje. Globalne ponovne analize pri tem služijo kot robni in začetni pogoji.

S pomočjo regionalnih ponovnih analiz smo analizirali kumulativno razliko med evapotranspiracijo in padavinami v vegetacijskem obdobju leta 2001 na območju Slovenije oziroma modelske domene ALADIN/SI (slika 10.3.3.1). Izbrali smo leto, ko je bila količina padavin v toplem delu leta pod povprečjem. S tem smo negotovost modela pri izračunu količine padavin zmanjšali.

Rezultate razlik med evapotranspiracijo in padavinami za vegetacijsko obdobje leta 2001 dobljene s pomočjo modela smo primerjali z izračunanimi vrednostmi dobljenimi iz meritev na posamezni postaji (tabela 10.3.3.1). Vrednosti razlik med evapotranspiracijo in padavinami izračunanih iz meritev v polovici primerjanih točk padejo v razred dobljen s pomočjo modelskega izračuna. Moramo pa poudariti, da primerjava rezultatov na posameznih točkah ni merodajna. Potrebna je podrobnejša primerjava rezultatov, pridobljenih iz več virov (glavne meteorološke postaje, avtomatske postaje, sistemi za daljinsko zaznavanje ...).

Slika 10.3.3.1 : Razlika med evapotranspiracijo in padavinami na območju modelske domene ALADIN/SI za vegetacijsko obdobje leta 2001 dobljena s pomočjo regionalnih ponovnih analiz

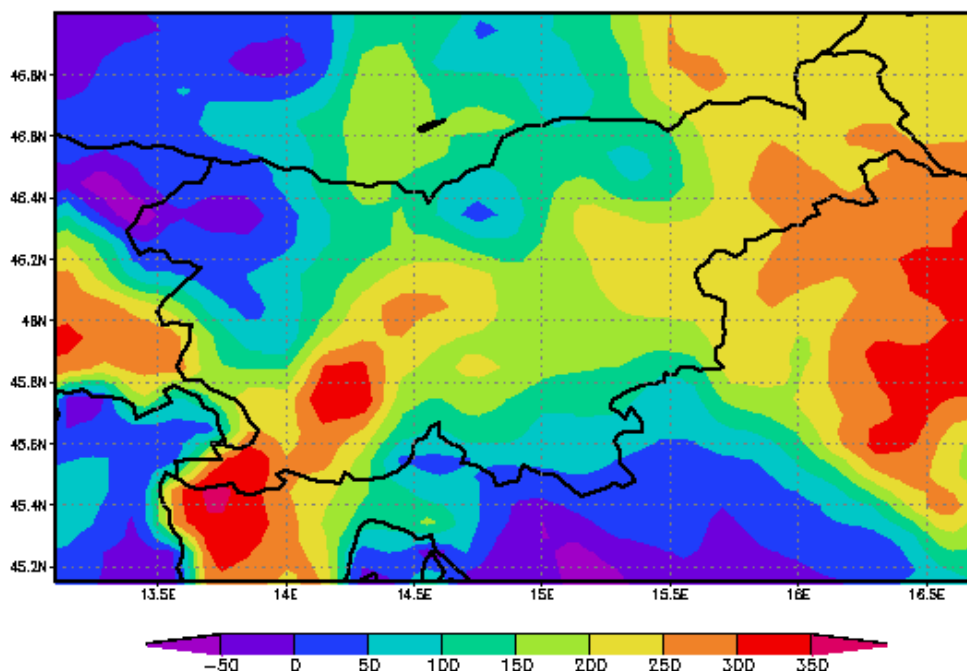


Tabela 10.3.3.1: Primerjava razlike med evapotranspiracijo in padavinami med izračunanimi vrednostmi dobljenimi iz meritev in modelskimi izračuni v šestih točkah v Sloveniji.

Ime postaje	Modelski izračun [mm]	Izračun iz meritev [mm]
Bilje pri Novi Gorici	150 do 200	180
Ljubljana	200 do 250	140
Novo mesto	150 do 200	240
Maribor	200 do 250	170
Murska Sobota	250 do 300	280
Obala	350 do 400	390

## 10.4 UPORABA PODATKOV, PRIDOBLENIH Z DALJINSKIM ZAZNAVANJEM

### 10.4.1 RADARSKE MERITVE

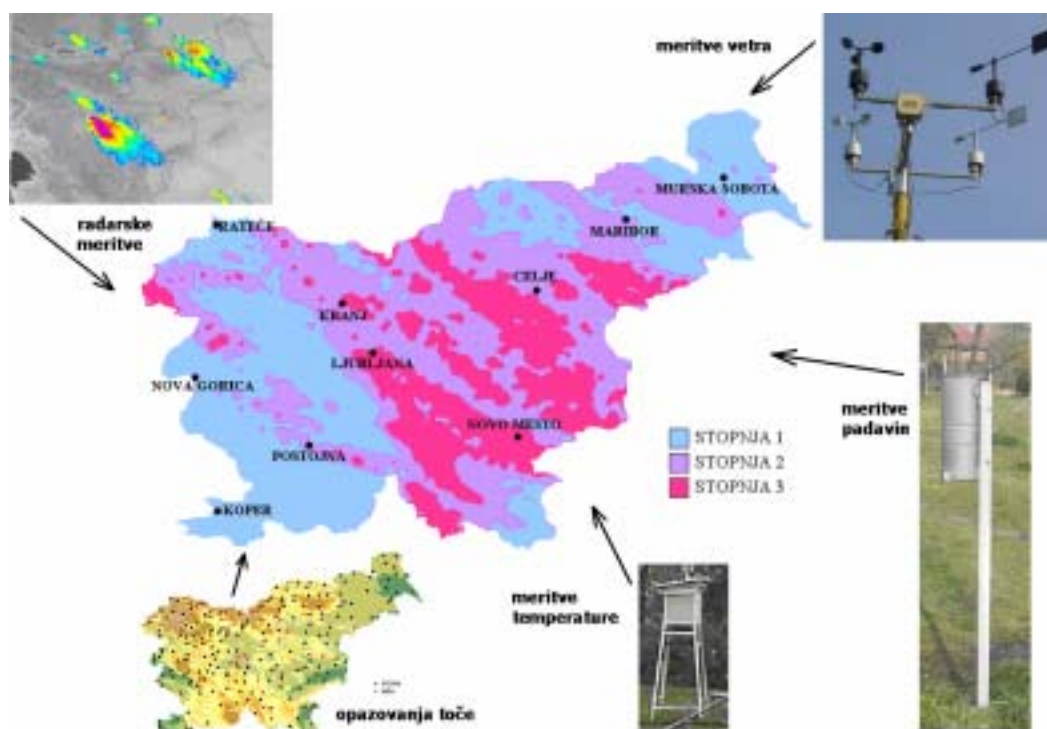
Radar se v meteorologiji uporablja predvsem za spremljanje padavinskih delcev v ozračju. Mikrovalovi, ki jih radar oddaja, se na padavinskih delcih sipljejo (tudi) nazaj proti radarju, ki nato izmeri energijo sipanega žarčenja. Le-ta je povezana z dimenzijami padavinskih delcev. Žal ni neposredno povezana z njihovo prostornino, tako da lahko količino padavinskih delcev zgolj posredno ocenjujemo. Poleg tega gre za padavinske delce v zraku, za izračun količine padavin pri tleh so potrebne dodatne predpostavke. Meteorološki radar je zato neprecenljivo orodje predvsem pri spremljanju nevihtnih in drugih padavinskih sistemov za potrebe analize vremena in zelo kratkoročne prognoze. Precej bolj pazljivi moramo biti pri uporabi radarskih meritev za oceno količine padavin.

Agencija RS z okolje trenutno upravlja z enim meteorološkim radarjem, nameščenim na Lisci. Ta radar dokaj dobro pokriva področje osrednje, jugovzhodne in severovzhodne Slovenije, precej slabše se odreže pri oceni količine padavin v severni in severozahodni Sloveniji ter v jugozahodni Sloveniji. Tam radar namreč »vidi« le vrhove oblakov, padavine pod bazo pa zakrivajo gorski grebeni. Tudi zato radarskih izmerkov za potrebe meteoroloških aplikacij ne kaže uporabljati neposredno, temveč posredno. Predlagamo dva načina:

## 1 Uporaba radarskih meritev pri prostorski interpolaciji padavin.

Za izdelavo padavinskih kart potrebujemo podatke o akumulacijah padavin v gosti, pravilni mreži prostorskih točk. Seveda ni mogoče pričakovati, da imamo v takšni mreži tudi na voljo izmerjene podatke, zato potrebujemo način preračuna količine padavin iz lokacij, kjer imamo podatke (meteorološke postaje) v pravilno mrežo točk – t.j. interpolacijo. Interpolacija je zlasti problematična pri nevihtnih padavinskih sistemih, ki so lokalno zelo omejeni. V takih primerih je mreža padavinskih postaj s povprečno razdaljo 5 km veliko prerodka, da bi lahko izmerili intenzivnost procesov; tedaj so v veliko pomoč radarske slike. Radarske slike predstavljajo dodatno informacijo, iz njih dobimo relativno prostorsko porazdelitev padavin z dovolj natančno horizontalno resolucijo. Na podlagi radarskih meritev lahko lokalno določimo prostorsko povezanost padavin (določimo variogram), nato pa s pomočjo klasičnih ombrometrskih meritev za vsako točko v prostoru določimo absolutno vrednost padavin. Natančnost izračunanih padavin s tako metodo je v največji meri odvisna od horizontalnih razsežnosti konvektivnih celic: manjše so konvektivne celice, manj je metoda natančna. Na podoben način kot prostorsko porazdelitev padavin lahko s pomočjo radarskih meritev določimo prostorske razsežnosti neurij in njihovo intenzivnost. Takšne klimatološke analize so nujna podlaga za ocene škode, ki nastane pri močnih neurjih. Za močna neurja so značilni močni nalivi ali toča, zelo močni sunki vetra in hitre znatne ohladitve. Če povežemo klasične meritve padavin, vetra, temperature in opazovanja toče z radarskimi meritvami, lahko dokaj natančno ocenimo območja, kjer so bila neurja najbolj intenzivna. Na sliki 10.4.1.1 so shematično prikazani viri podatkov pri izdelavi sintetične karte območij največjih škod, ki jih je povzročilo nevihtno neurje s točo v maju 2001.

Slika 10.4.1.1: Shematični prikaz virov pri izdelavi karte območij škode zaradi toče

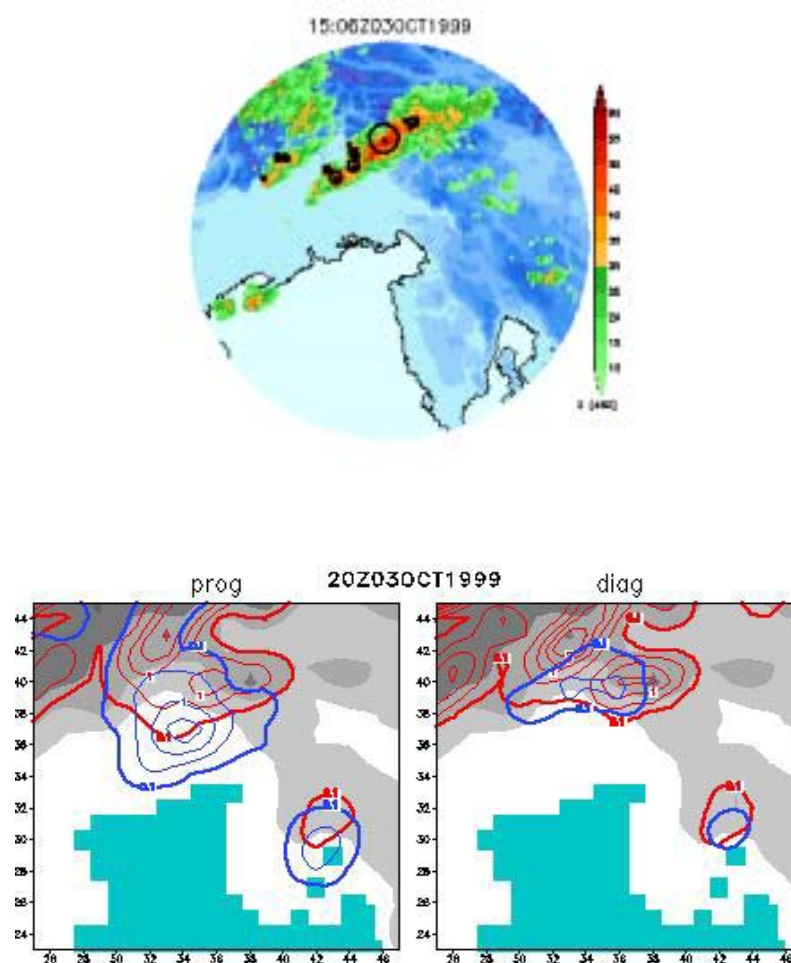




## 2 Uporaba radarskih meritev v meteoroloških numeričnih modelih.

Izračuni količine padavin so pri meteoroloških numeričnih modelih eno šibkejših področij. Značilna razsežnost padavinskih sistemov namreč sodi v srednjo meteorološko skalo, pogosto (npr. ob nevihtnih situacijah) v njen spodnji rob (glej poglavje 10.3.1). Radarske meritve lahko pri tem precej pomagajo – predvsem pri določevanju natančnejše lege in časa pojava padavinskih sistemov. Razvitih je bilo nekaj sistemov asimilacije radarskih meritev v numerične meteorološke modele (Jones in Macpherson, 1997; Haase in drugi, 2000; Gregorič, 2001).

Slike 10.4.1.2: Radarska slika nevihtnih celic nad severozahodno Slovenijo (zgoraj), modelska napoved nevihtnih padavin (modre izolinije, levo spodaj) ter asimilirana količina padavin (spodaj desno) (vir: Gregorič, 2001)



Na sliki 10.4.1.2 vidimo, kako lahko vključevanje radarskih slik v proces modelskega izračuna padavin izboljša prostorsko lociranje padavinskih sistemov. Ta metoda ima veliko potencialno uporabno vrednost pri uporabi modelskih izračunov za meteorološke aplikacije, saj lahko precej izboljša modelske ocene padavin. Aplikacije, kot so npr. izračun deficita pri vodni bilanci, bi precej pridobile na natančnosti (glej poglavje 10.3.3)

Oba projekta (uporaba radarskih meritev pri prostorski interpolaciji in asimilacija radarskih meritev v numerične modele) tečeta interno (v sodelovanju z Univerzo v Ljubljani) v Agenciji RS za okolje v okviru akcij COST-717 in COST-719 in ju finančno podpira Ministrstvo za znanost, šolstvo in šport.

## 10.4.2 SATELITSKE MERITVE – SATELITI LANDSAT

Meteorološki sateliti, katerih produkte trenutno uporabljajo na Agenciji RS za okolje za potrebe analize vremena, niso primerni za neposredno uporabo v meteoroloških aplikacijah, ki se tičejo samo površja Zemlje. Zaradi relativno majhnega števila kanalov je iz teh satelitskih slik mogoče nedvoumno določiti samo najvišjo oblačno plast v atmosferi (kar je pri analizi npr. ekstremnih padavinskih situacij zelo pomembno). Težave so že pri razločevanju med jasnimi področji in področji, ki so pokrita z nizko oblačnostjo.

Za aplikacije, ki potrebujejo večji nabor informacij in veliko prostorsko ločljivost (in morda ne potrebujejo dostopa do podatkov v realnem času), so primernejši sateliti na nižjih orbitah in s preciznejšimi multispektralnimi radiometri. To so (med drugimi) sateliti tipa LANDSAT, ki jih upravljata Ameriško geološko združenje (USGS) in Ameriška vesoljska agencija (NASA) in so namenjeni prav preučevanju površja Zemlje. Prostorska ločljivost slik iz najnovejšega, leta 1999 utirjenega satelita LANDSAT-7 je nekaj 10 (tipično 30) metrov, podatki so na voljo za 8 kanalov v vidnem in bližnjem infrardečem spektru, celotno površje Zemlje satelit prečeše v 16 dneh. Ob precizni kalibraciji je mogoče s kombinacijo signalov iz teh kanalov spremljati trende vsebnosti vode v vrhnji plasti tal, kar je odločilnega pomena pri spremljanju kmetijskih suš (namesto 200 podatkov iz meteoroloških postaj jih imamo potem na ozemlju Slovenije na voljo nekaj sto milijonov!).

Največ znanja o rokovanju s podatki satelitov LANDSAT je v Sloveniji zbranega v Geografskem inštitutu pri SAZU in na Fakulteti za gradbeništvo. Satelitske slike je potrebno tudi kupiti, gre namreč za komercialne produkte. Cena poskusne implementacije podatkov iz satelitov LANDSAT se po grobih ocenah giblje okoli 20 milijonov SIT.

## 10.4.3 SATELITSKE MERITVE – IMPLEMENTACIJA PRODUKTOV METEOROLOŠKIH SATELITOV NOVE GENERACIJE

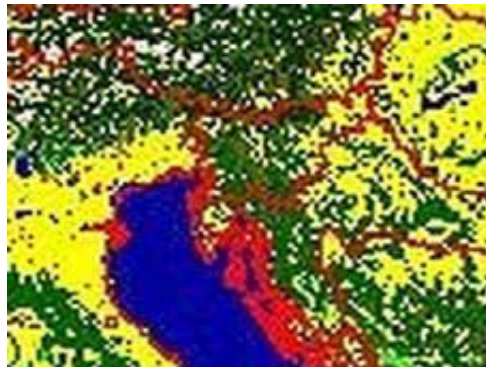
Evropska medvladna organizacija EUMETSAT, ki upravlja z evropskimi meteorološkimi sateliti, je v letu 2002 utirila prvi meteorološki satelit druge generacije, ti. MSG. Slovenija si je v letošnjem letu pridobila status sodelujoče države v tej organizaciji in ima tako dostop do vseh produktov (tudi) MSG v realnem času.

V okviru projekta MSG so predvideni tudi satelitski aplikativni produkti, t.i. SAF-i. Za aplikacije, povezane s kmetijstvom, sta zanimiva predvsem dva SAF-a:

- **klimatološki SAF** bo zagotavljal informacije o:
  - o *skupni oblačnosti*
  - o *sevalni bilanci (pri tleh in na vrhu atmosfere)*
  - o *satelitski analizi padavin*
- **Land SAF – aplikacija za monitoring površja Zemlje** pa bo (podobno kot LANDSAT) zagotavljal informacije o:
  - o *temperaturi površja Zemlje*
  - o *vlažnosti tal in pokritosti s snežno odejo*
  - o *evapotranspiraciji*
  - o *vegetacijskem indeksu*



Slika 10.4.3.1: Primer ciljnega produkta MSG: razločevanje med gozdno in obdelovalno površino na podlagi podatkov iz meteoroloških satelitov. (Vir: spletne strani EUMETSAT)



Produkti MSG bodo (ko bodo implementirani, predvidoma v letu 2005) pomenili velik korak naprej na področju daljinskega zaznavanja in bodo tako predstavljali izziv za nadaljnje izpopolnjevanje meteoroloških prognostičnih in aplikativnih modelov na naslednjih področjih:

- dnevno spremljanje vrednosti albeda. Od vrednosti albeda je odvisna razdelitev med absorbiranim in odbitim sončnim sevanjem, zato ima odločilen vpliv na energijsko bilanco površja Zemlje.
- dnevni izračun vegetacijskega indeksa. Absorbirani sevalni energijski tokovi se naprej delijo na tiste, ki se absorbirajo v tleh in tiste, ki s absorbirajo v rastlinskem pasu (fotosinteza). Tudi to razmerje bo mogoče ocenjevati s pomočjo produktov MSG.
- vsebnost vode v tleh ter snežna odeja. Tudi ta dva parametra sta bila pri izračunih dosedaj le grobo ocenjena, sta pa pomembna tako za aplikacije (npr. agrometeorološke) kot za dolgoročne napovedi (voda v tleh je eden bistvenih energijskih »rezervoarjev« in nosi velik del napovedljivosti vremenske variabilnosti v časovni skali okoli 1 mesec).

Meteorološke aplikacije, ki za izračune potrebujejo t.i. SVAT modele (izračun energijskih tokov pri interakciji med tlemi, rastlinsko plastjo in ozračjem) bodo tako lahko delovale na povsem novi osnovi. Z izdatnejšo asimilacijo in bolj realističnim SVAT modulom se bodo izboljšali tudi numerični modeli za napovedovanje vremena – postali pa bodo tudi bolj uporabni za specifične (npr. agrometeorološke) aplikacije.

Slaba stran produktov MSG v primerjavi s produkti LANDSAT je predvsem prostorska ločljivost. Le-ta je prilagojena prostorski ločljivosti geostacionarnih satelitov in bo značilno znašala okoli 10 km (na sliki 10.4.3.1 je narisana vzorčni primer za produkte MSG).

## 10.5 PRENOVA KLIMATSKIH SCENARIJEV

V poglavju 6 (izdelava scenarijev podnebnih sprememb v Sloveniji) je v uvodu obsežen opis problematike izdelave scenarijev podnebnih sprememb za posamezne regije. Pričakovane spremembe podnebja so namreč globalne; tudi modeli splošne cirkulacije, ki so uporabljeni za oceno pričakovane spremembe podnebja, so globalni. Za oceno spremembe podnebja nad manjšim območjem (Slovenija v MSC predstavlja kvečjemu eno samo točko!) potrebujemo posebna orodja za zmanjševanje skale (»downscaling«). Pri zmanjševanju skale vedno obstaja dvom, ali v manjšo skalo prevajamo signal ali zgolj povzročamo šum. Izbira orodij za zmanjševanje skale je zato še kako pomembna. V poročilu so sicer uporabljena sodobna orodja za zmanjševanje skale, vendar pa lahko v prihodnjih letih zaradi intenzivnih raziskav na tem področju pričakujemo novosti.

Pričakovane novosti pa ne bodo zgolj na področju zmanjševanja skale pričakovanih sprememb podnebja, temveč tudi pri samih izračunih globalnih sprememb. Izvedba

izračunov je namreč vedno kompromis med tem, kar znamo narediti, in tem, kar (npr. zaradi omejene računske moči dostopnih računalnikov) lahko naredimo. To velja tako za razmere v Sloveniji kot tudi v svetovnih klimatoloških centrih. V prihodnjih letih lahko pričakujemo spremembe na obeh polih klimatskih raziskav – tako na strani morebitnih novih povratnih zvez med podnebjem in površjem Zemlje (ki še zdaleč niso dokončno dorečene) kot na novih, obsežnejših izračunih. Praksa IPCC kaže, da je potrebno narediti obsežnejšo revizijo pričakovanih podnebnih sprememb približno vsakih 5 let.

## **10.6 VKLJUČEVANJE MREŽ ZA POSEBNE OBRATOVALNE MONITORINGE V SKUPEN METEOROLOŠKI INFORMACIJSKI SISTEM**

Gostota mreže meteoroloških opazovalnic in obseg meritev na posameznih merilnih mestih na območju Slovenije sta usklajena s priporočili Svetovne meteorološke organizacije. Standarizirana merila upoštevajo podnebne značilnosti in relief. Za območje Slovenije je tako priporočena razdalja med merilnimi mesti za padavine 10-15 km, za ostale meteorološke elemente pa 30 km. Na izrazito goratem svetu je zaradi določitve vertikalnih gradientov priporočena še večja gostota postaj. Za potrebe poznavanje podnebnja je pomembno tudi kontinuirano merjenje spremenljivk na določeni lokaciji v daljšem časovnem obdobju. Število meteoroloških merilnih mest Agencije RS za okolje na območju Slovenije zadošča navedenim merilom. Poleg meritev je zagotovljena tudi potrebna kalibracija instrumentov, redno vzdrževanje mreže in kakovostna kontrola merilnikov ter samih podatkov.

Za natančnejše regijsko spremljanje stanja vremena in potrebnih meteoroloških spremenljivk za potrebe kmetijske pridelave dosednji monitoring omogoča le prostorsko interpretacijo na širši regijski prostor. Za specifične analize (vodna bilanca kmetijskih rastlin, fitopatološki modeli, minimalne temperature), ki so vezane na kmetijsko pridelavo, je obstoječa mreža pregroba. Natančnejšo analizo nam bi omogočala tudi gostejša in s specifičnimi merilniki opremljena mreža standariziranih agrometeoroloških postaj, predvsem v kmetijskih regijah.

Menimo, da bi principe izvedbe meteorološkega obratovalnega monitoringa morali pri svojem delovanju upoštevati tudi pri začetnem vzpostavljanju posebnih monitoringov za specifične namene pri Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Izkušnje namreč kažejo, da se začetna večja investicija v kvalitetno meteorološko postajo dolgoročno najbolj izplača. Meteorološke postaje nižjih kvalitetnih razredov sčasoma izgubljajo na kvaliteti, če ne izvajamo rednih vzdrževalnih del in tekoče kontrole merjenih podatkov.

Primer sodelovanja na tem področju je tudi vzpostavitev enotnega agrometeorološkega sistema za napovedi in signalizacijo za potrebe varstva rastlin pred boleznimi, škodljivci in pleveli (ADCON sistem), ki poteka na MKGP. Izkazalo se je, da za tak monitoring potrebne dobre osnove in strokovna pomoč meteorološke stroke, saj brez potrebnega vzdrževanja tovrstnih mrež kvaliteta delovanja in podatkov postane sčasoma vprašljiva.

### **10.6.1 AGROMETEOROLOŠKO MODELIRANJE**

Del raziskav v agrometeorologiji se usmerja v modeliranje mehanizmov in procesov v okolju in rastlini in interakcij med njima, ki temeljijo na vzorčnih posledicah (Kajfež-Bogataj, Hočevar, 1999). Na področju agrometeorologije so tehnike modeliranja omogočile doseči pomembne rezultate pri integraciji znanj o poznavanju sistema rastlina-okolje. Številni modeli in metode nam omogočajo analizo razmerij med vremenskimi parametri, biotskimi in abiotskimi dejavniki ter izboljšujejo razumevanje zapletenih sistemov ter predstavljajo

primerno orodje ciljnemu uporabniku pri vodenju pridelave. V skupini CYW modelov (crop-yield-weather models) je podskupina simulacijskih modelov, ki simulirajo medsebojne povezave med rastlinami in okoljem, ki temeljijo na kemičnih, fizikalnih, bioloških zakonih in so uporabno raziskovalno orodje pri proučevanju odziva rastline na parametre okolja (CropSyst, WOFOST, EPIC, CERES, DSSAT, AGROS, PLASMO, IRRFIB, SWAP,...) (Gommes, 1999).

## 10.6.2 IZOBRAŽEVANJE IN OZAVEŠČANJE

Prihodnost in prilagajanje variabilnosti in spremembam podnebja je v veliki meri odvisno tudi od ozaveščenja državljanov, ki spoznavajo vlogo meteorologije v takih razmerah. To poziva k večji ozaveščenosti uporabnikov. Številni problemi vezani na obravnavana področja zahtevajo izobraževanje na področju:

dolgoročnega planiranja, ki vključuje analize klimatskih tveganj, vplive podnebne spremembe in variabilnosti,

- metodološka priporočila (management in kvaliteta vode, mikroklima,..),
- operativne odločitve (napoved pridelka, vodenje namakanja, kontrola bolezni in škodljivcev,..)

Zelo pomembno je, da se ljudje tako odločevalci v kmetijstvu in tudi v drugih gospodarskih panogah seznanijo s problematiko spreminjanja podnebja. Le na ta način bomo lahko sprejemali učinkovite ukrepe za preprečevanje oz. blažitev posledic podnebnih sprememb.

## 10.7 VIRI

- Bjornsson in Venegas, 1997: A manual for EOF and SVD analyses of climatic data. McGill university (<http://www.dcess.ku.dk/~silvia/eofsvd/eofsvd.html>, citirano 24.10.2003)
- Gommes, R., 1998: Crop-Yield Weather Modelling. WMO Roving Seminar, Ljubljana, s. 41-69.
- Gregorič, G. 2001: Asimilacija radarskih meritev globoke konvekcije v numerični model v mezo-beta skali. Fakulteta za matematiko in fiziko, doktorska disertacija (<http://meteo.ff.uni-lj.si/staff/grega/disertacija/tekst>, citirano 27.10.2003)
- Haase, G., Crewell, S., Simmer, C. in Wergen, W. 2000: Assimilation of radar data in mesoscale models: physical initialization and latent heat nudging. Physics and Chemistry of the Earth (B), 25, s 1237-1242.
- Harrison, Mike. 2001: The development of seasonal and inter-annual climate forecasting. Spletne strani CLIPS ([http://www.wmo.ch/web/wcp/clips2001/html/otros\\_html/forecast\\_models\\_verifications.htm](http://www.wmo.ch/web/wcp/clips2001/html/otros_html/forecast_models_verifications.htm), citirano 22.10.2003)
- Jones, C. D. in Macpherson, B. 1997: A latent heat nudging scheme for the assimilation of precipitation data into an operational mesoscale model. Meteorological Applications, 4, s 269-277.
- Kajfež-Bogataj, L. in Hočevar, A., 1999: Izbrana poglavja iz biometeorologije. Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, s. 57
- Kim, K.-Y. in Wu, Q. 1999: A Comparison study of EOF techniques: Analysis of nonstationary data with periodic statistics. Journal of Climate, 12, s 185-199.
- Rakovec, J., Vrhovec, T. 2000: Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike. Ljubljana, DMFA
- von Storch, H. in Zwiers, F. W. 1999: Statistical analysis in climate research. Cambridge university press.
- Wilhite, D. A. in Svoboda, M.D. 2000: Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation. V: Early warning systems for drought preparedness and drought management. WMO tech. doc. No. 1037, s 1-16