

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Andreja SUŠNIK

**ZASNOVE KAZALCEV SPREMLJANJA SUŠE NA KMETIJSKIH
POVRŠINAH**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**SCHEME OF INDICATORS FOR DROUGHT MONITORING ON
AGRICULTURAL LAND**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2014

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete in sklepa Senata Biotehniške fakultete in sklepa 26. seje Komisije za doktorski študij (po pooblastilu 30. seje Senata Univerze 20. 1. 2009) z dne 12. 11. 2009 je bilo potrjeno, da kandidatka izpolnjuje pogoje za opravljanje doktorata znanosti na doktorskem študiju Biološke in biotehniške znanosti s področja agronomije. Za mentorico je bila imenovana prof. dr. Lučka Kajfež Bogataj.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: prof. dr. Marina PINTAR, Univerza v Ljubljani,
Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

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

Član: doc. dr. Klemen BERGANT, Univerza v Novi Gorici,
Center za raziskave atmosfere

Datum zagovora: 31. 1. 2014

Doktorat je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svojega dela v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddala v elektronski obliki, identično tiskani obliki.

Andreja SUŠNIK

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)

- ŠD Dd
DK UDK 551.586:551.577.38:556.167 (043.3)
KG agrometeorologija/suša/kazalci/kmetijska suša/monitoring suše
KK AGRIS P40
AV SUŠNIK, Andreja, dipl. inž. kmet., mag. znanosti
SA KAJFEŽ BOGATAJ, Lučka (mentorica)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti, področje agronomije
LI 2014
IN ZASNOVE KAZALCEV SPREMLJANJA SUŠE NA KMETIJSKIH POVRŠINAH
TD Doktorska disertacija
OP XXV, 256, [4] str., 48 pregl., 107 sl., 357 vir.
IJ SI
JI sl/en
AI V zadnjem desetletju se je v Sloveniji povečalo število let s kmetijsko sušo, ki je kar petkrat po letu 2000 dosegla razsežnosti naravne nesreče. Pridelava na kmetijskih površinah je bila zaradi sušnih dogodkov motena in pogosto je prišlo tudi do večjih izpadov pridelka in gospodarske škode. Kmetijska suša je kompleksen pojav in v svetu ni enotnega kazalca za njeno spremljanje in ugotavljanje njene jakosti. Obstaja precejšnje število enostavnih kazalcev, vendar je njihova uporabnost za določanje kmetijske suše na posamezni kmetijski rastlini omejena. V delu smo analizirali enostavne kazalce kmetijske suše (odklon padavin od dolgoletnega povprečja, standardiziran indeks padavin – SPI, meteorološka vodna bilanca). Razvili smo kompleksen kazalec kmetijske suše – dekadni indeks sušnega stresa (DISS), ki omogoča integracijo lastnosti tal, rastline in podnebja neke lokacije. Kazalec je razvit na osnovi modela vodne bilance IRRFIB (verzija 03.1). Za obdobje 1961–2013 smo na desetih lokacijah v Sloveniji (Rateče, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana, Maribor, Novo mesto, Celje, Črnomelj, Murska Sobota, Bilje in Portorož) raziskovali lastnosti enostavnih in kompleksnega kazalca kmetijske suše in njihove spremembe v času in prostoru. Ugotavljali smo časovne trende kazalcev na vseh obravnavanih lokacijah. Analize kažejo na večjo pogostnost pojavljanja kmetijskih suš večje intenzivnosti. V raziskavi smo vzpostavili koncept za sledenje kmetijske suše v Sloveniji. Pri zasnovi kazalcev kmetijske suše v Sloveniji smo v študiji postavili metodologijo za zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo (faza 1), za izdajo opozoril na prve znake kmetijske suše (faza 2) in alarmiranje različnih stopenj kmetijske suše za različne kmetijske rastline (faza 3). Namen študije je vzpostavitev sistema za sledenje kmetijske suše od ocene potenciala za pojav kmetijske suše do ocene jakosti sušnega stresa na kmetijskih rastlinah na neki lokaciji. Omogoča tako sledenje eventualnega sušnega stresa v tekoči kmetijski proizvodnji kot tudi klimatološke analize preteklih suš. Z vključevanjem več kakovostnih vhodnih podatkov informacija postane kakovostnejša. Izbrani kazalci omogočajo določanje različnih faz v razvoju suše: osnova je najprej meteorološka suša v vegetacijski sezoni, ki jo ponazarjata delež povprečnih padavin v vegetacijski sezoni in SPI. S kazalcem vodna bilanca pridobimo informacijo o razliki med padavinami in izhlapevanjem površinskega sloja tal. Z uvedbo kazalca DISS pa določimo tudi začetek, konec in jakost suše za specifično kmetijsko rastlino na neki lokaciji. Ugotavljali smo tudi časovno in prostorsko dinamiko kazalcev ter ugotavljali njihovo spremenljivost. Klasifikacija sušnega stresa na ravni rastline je eden najpomembnejših korakov pri analizi stanja kmetijske suše. Je pomemben vhodni podatek za geografske informacijske sisteme, saj so pri obstoječih obravnavanih suš pogosto potrebni tudi podatki iz klimatoloških analiz na ravni izbranih prostorskih enot (GERK, občina). Pri klasifikaciji lahko z nadaljnji postopki analitično določamo tudi območja, kjer je navošč določen tip rabe tal. Podatke DISS lahko razširimo tudi v prostor za različne potrebe.

KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)

- DN Dd
DC UDC 551.586:551.577.38:556.167 (043.3)
CX agrometeorology/drought/indicators/agricultural drought/drought monitoring
CC AGRIS P40
AU SUŠNIK, Andreja
AA KAJFEŽ BOGATAJ, Lučka (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Postgraduate study of Biological and Biotechnical Sciences, Field: Agronomy
PY 2014
TI SCHEME OF INDICATORS FOR DROUGHT MONITORING ON AGRICULTURAL LAND
DT Doctoral Dissertation
NO XXV, 256, [4] p., 48 tab., 107 fig., 357 ref.
LA SI
AL sl/en
AB In Slovenia in the last decade the number of years with agricultural drought increased, and five times after the year 2000 attained the extension of natural disaster. The agricultural production on affected farmlands was hindered due to drought events and often resulted in major yield decrease and economic losses. Agricultural drought is a complex phenomenon and in the world there is no universal indicator for agricultural drought monitoring and determination of its intensity. There are plenty of simple indicators, but their applicability for agricultural drought determination for specific agricultural plant is limited. The study analyses of simple indicators of agricultural drought (decline of precipitation amount from long-term average, standardized precipitation index – SPI, meteorological water balance). A complex agricultural drought indicator was developed – a decadal index of drought stress (DISS), which enables integration of soil, plant and climate characteristics at a particular location. The indicator DISS is developed on the basis of water balance model IRRFIB (version 03.1). For the period 1961–2013 simple and complex indicators of agricultural drought and their variability in time and space were investigated on ten locations in Slovenia (Rateče, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana, Maribor, Novo mesto, Celje, Črnomelj, Murska Sobota, Bilje and Portorož). The time trend indicators on investigated locations were determined. Analyses indicated a higher frequency and severity of agricultural drought appearance. In the research the concept for agricultural drought monitoring was established. By the establishment of agricultural drought indicators in Slovenia the methodology for agricultural drought early warning (phase 1), alert for first signals of agricultural drought (phase 2) and alarm for different stages of agricultural drought on various agricultural plants (phase 3) were set. The purpose of the study is a restoration of the system for agricultural drought monitoring from the estimation of potential for agricultural drought to the estimation of the drought stress severity on agricultural plants at a particular location. It enables drought stress monitoring in the recent agricultural production as well as climatological analyses of previous droughts. By including more qualitative input data information could gain the quality. Selected indicators enable determination of different phases in drought development: firstly the foundation is a meteorological drought in the vegetation period, which is represented by share of average precipitation in the vegetation period and SPI. With the indicator of water balance information about the difference between precipitation and soil surface evapotranspiration is acquired. By introducing the DISS indicator, the start, the end and the severity of drought for specific agricultural plant on particular location are determined. Additionally, time and space dynamics of indicators and their variability were investigated. Crop drought stress classification is among the most important steps of agricultural drought analysis. It is a significant input data for geographical information systems, while the existing evaluations of drought often need derived data from the climatological analysis on the basis of selected space units (GERK, municipality). At this classification, areas where a certain type of soil is present, can be determined with further analytical procedures. The DISS data can be expanded in the space for different purposes.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	IX
KAZALO SLIK	XII
KAZALO PRILOG	XIX
OKRAJŠAVE IN FIZIKALNI SIMBOLI	XX
1 UVOD	1
1.1 NAMEN DELA IN UTEMELJITEV PREDLAGANE RAZISKAVE	5
1.2 DELOVNA HIPOTEZA	6
1.3 PRIČAKOVANI REZULTATI IN PRISPEVEK RAZISKAVE K RAZVOJU ZNANOSTI	6
2 GLOBALNA PROBLEMATIKA POMANJKANJA VODE IN SUŠ.....	8
2.1 POMANJKANJE VODE IN OSKRBA S HRANO	8
2.2 GLOBALNI POGLED NA INTENZIVNOST, TRAJANJE IN PROSTORSKO RAZŠIRJENOST SUŠE.....	16
2.3 SUŠA V EVROPI.....	24
2.4 SUŠA V SLOVENIJI	31
2.4.1 Škode po suši.....	35
2.4.2 Problematika zakonodaje o suši.....	35
2.4.2.1 Agrometeorološke analize za potrebe odprave posledic suše	41
2.5 SPREMLJANJE SUŠE V SVETU IN PRI NAS	42
2.5.1 Ameriški center za upravljanje suše.....	49
2.5.2 Evropski observatorij za sušo in lokalni monitoring suše v Evropi	51
2.5.3 Center za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi – DMCSEE	53
2.5.4 Sledenje kmetijske suše v Sloveniji.....	55
2.6 DEFINICIJE GLAVNIH POJMOV	61
2.6.1 Pomanjkanje vode in suša	61
2.6.2 Rastlinam dostopna voda v tleh	65
2.6.2.1 Vodnozadrževalne lastnosti tal v Sloveniji	69
2.6.3 Problematika fiziološke suše in sušnega stresa.....	70

2.6.3.1	Fiziološki aspekti sušnega stresa.....	72
2.6.3.2	Sušni stres pri izbranih rastlinah	76
2.6.4	Kmetijska suša	78
2.6.5	Kazalci kmetijske suše	81
2.6.5.1	Enostavni meteorološki kazalci za oceno kmetijske suše	83
2.6.5.1.1	Standardiziran padavinski indeks.....	84
2.6.5.1.2	Palmerjev indeks jakosti suše.....	89
2.6.5.1.3	Standardiziran padavinsko-evapotranspiracijski indeks	94
2.6.5.2	Kompleksnejši kazalci kmetijske suše	95
3	MATERIAL IN METODE.....	101
3.1	MATERIAL	101
3.1.1	Izbor lokacij.....	101
3.1.2	Podatki meteorološkega arhiva za obravnavane lokacije	103
3.1.2.1	Padavinski režim obravnavanih lokacij	106
3.1.2.1.1	Padavinski in suhi dnevi v vegetacijskem obdobju.....	109
3.1.2.2	Referenčna evapotranspiracija obravnavanih lokacij.....	110
3.1.2.3	Meteorološka vodna bilanca	114
3.1.3	Podatki agronomskega arhiva za obravnavane lokacije.....	115
3.1.3.1	Podatki fenološkega arhiva	115
3.1.3.2	Talne karakteristike	122
3.1.3.2.1	Vodnozadrževalne lastnosti tal.....	122
3.1.3.2.2	Efektivna poljska kapaciteta ali rastlinam dostopna voda	124
3.1.3.2.3	Raba tal.....	125
3.1.3.2.4	Meritve vode v tleh	126
3.1.3.3	Podatki o pridelkih in škodah zaradi kmetijske suše.....	128
3.2	METODE	128
3.2.1	Model IRRFIB.....	128
3.2.1.1	Razvoj modela in njegova funkcionalnost	128
3.2.1.2	Pogonske spremenljivke modela.....	130
3.2.1.3	Izhodne informacije in rezultati modela	135
3.2.1.4	Verifikacija modela	135
3.2.2	Metode izračuna kazalcev kmetijske suše	137
3.2.2.1	Metode izračuna enostavnih kazalcev kmetijske suše	137
3.2.2.1.1	Odklon padavin od dolgoletnega povprečja in kumulativne padavine	137

3.2.2.1.2	Standardiziran padavinski indeks	138
3.2.2.1.3	Meteorološka vodna bilanca.....	139
3.2.2.2	Metoda izračuna kompleksnega kazalca kmetijske suše – dekadnega indeksa kmetijske suše	139
3.2.3	Statistične metode, tipizacija in interpolacija kazalca kmetijske suše	141
3.2.3.1	Osnovne statistike.....	141
3.2.3.2	Analiza časovnih vrst	142
3.2.3.3	Tipizacija kmetijske suše.....	143
3.2.3.4	Prostorska interpolacija kazalca kmetijske suše.....	144
4	REZULTATI Z DISKUSIJO	146
4.1	KONCEPT ZASNOVE SLEDENJA KMETIJSKE SUŠE V SLOVENIJI.....	146
4.2	ENOSTAVNI KAZALCI ZA UGOTAVLJANJE KMETIJSKE SUŠE	149
4.2.1	Delež kumulativnih padavin glede na dolgoletno povprečje.....	149
4.2.1.1	Primerjava kumulativnih padavin v vegetacijskem obdobju trave, koruze in ozimne pšenice v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013	155
4.2.1.2	Linearni trendi kumulativnih padavin v vegetacijskem obdobju trave, koruze in ozimne pšenice v obdobju 1961–2013	157
4.2.2	Standardiziran padavinski indeks	160
4.2.3	Meteorološka vodna bilanca.....	168
4.2.3.1	Spremenljivost kmetijske suše glede na meteorološko vodno bilanco poleti	172
4.2.3.2	Prostorska ocena kmetijske suše na osnovi meteorološke vodne bilance v letih 2003, 2006 in 2013	174
4.3	KOMPLEKSNI KAZALEC DISS ZA UGOTAVLJANJE KMETIJSKE SUŠE ...	177
4.3.1	Operativno sledenje kmetijske suše z DISS v tekoči vegetacijski sezoni ...	178
4.3.2	Klimatologija suše z uporabo DISS_k na primeru trave	179
4.3.3	Analiza DISS_k v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012.....	185
4.3.4	Tipizacija suše.....	187
4.3.5	Meje jakosti suše.....	198
4.3.6	Vpliv tal na verjetnost pojava različnih jakosti suše	201
4.3.7	Prostorski prikaz suš z DISS_k za koruzo v obdobju 2003–2013	205
4.3.7.1	Prostorski prikaz DISS na primeru suše 2006.....	205
4.3.7.2	Karte suš 2000–2013 z uporabo metodologije prostorskega prikaza DISS	207
4.3.7.3	Pogostnost pojava suše na izbranih lokacijah v obdobju 2000–2012 ...	207
4.4	PREVERJANJE KAZALCEV SUŠE	212

4.4.1	Zmanjšanje pridelka koruze	212
4.4.2	Izjemni sušni dogodki v Sloveniji in arhivski zapisi o sušah	213
4.4.3	Poškodovanost rastlin po suši leta 2006	214
4.5	PREDNOSTI IN SLABOSTI KAZALCEV	216
4.6	NEGOTOVOSTI.....	218
4.7	ZAKLJUČKI.....	219
5	SKLEPI	226
6	POVZETEK (SUMMARY).....	227
6.1	POVZETEK	227
6.2	SUMMARY	230
7	VIRI.....	233
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Deset najpomembnejših sušnih nesreč v obdobju 1900–2012 razvrščenih glede na ekonomsko škodo na ravni države (Disaster profiles ..., 2012).	3
Preglednica 2: Regionalne opazovane spremembe sušnosti od leta 1950, z uporabo referenčnih vrednosti 20. stoletja, na splošno 1961–1990 v Evropi (Special report ..., 2012: 192).	17
Preglednica 3: Projekcije regionalnih sprememb sušnosti v Evropi za konec 21. stoletja glede na konec 20. stoletja (na primer 1961–1990 ali 1980–2000 glede na 2071–2100 ali 2080–2100) in za A2/A1B scenarij emisij (razen če ni označeno drugače). Za referenčne vrednosti so uporabljene ekstremne vrednosti ob koncu 20. stoletja, na splošno 1961–1990 ali ~ 1980–2000. Kode za evidenco modelov splošne globalne cirkulacije (GCM) so: G: multipli GCM; R: posamezen GCM, siljen s posameznim GCM; R: posamezen RCM; R: multipli RCM, siljeni s posameznim GCM (Special report ..., 2012: 198).	23
Preglednica 4: Pregled sušnih dogodkov v Evropi: po evropskih porečjih (Rodriguez in Monreal, 2000: 40–41), dopolnjeno s sušnimi dogodki, opisanimi v raziskavah Lloyd-Hughes in Saunders (2002), označenimi z *, in Sepulcre-Canto in sod. (2012), označenimi z **.	25
Preglednica 5: Kazalci suše, uporabljeni v sklopu Evropskega observatorija za sušo (Factsheets of EDO..., 2013).	51
Preglednica 6: Vodni potencial (Taiz in Zeiger, 2010; Vodni potencial ..., 2013).	66
Preglednica 7: Pomembnejše točke vodnega potenciala v tleh (Allen in sod., 1998; Rojec, 2009; Vodnik, 2013).	68
Preglednica 8: Nespecifični kazalci stresa (Larcher, 1995, povzeto po Šuštaršič, 2012). ..	76
Preglednica 9: Kazalci kmetijske suše v Evropi (Cloppet, 2011: 84–85).	82
Preglednica 10: Razvrstitev suše z vrednostjo standardiziranega padavinskega indeksa s spremljajočo verjetnostjo pojava (McKee in sod., 1993; Factsheets of EDO ..., 2013).	85
Preglednica 11: Izbor zavarovanih poljščin in obdobje zavarovanja (Triglav, 2013).	89
Preglednica 12: Razvrstitev stopnje suše glede na vrednost Palmerjevega indeksa jakosti suše (Alley, 1984).	90
Preglednica 13: Razredi klimatske vodne bilance glede na rastlino in tla, ki ponazarjajo sušne razmere (Crop and soils ..., 2013). Opomba: Podatki so podani v pozitivnih vrednostih, izražajo pa negativno vodno bilanco.	97
Preglednica 14: Razvrstitev po podnebnih tipih in nekatere geografske lastnosti meteoroloških postaj (Ogrin, 2002; Meteorološki podatki ..., 2013).	102
Preglednica 15: Povprečna vsota padavin v letu in v vegetacijskem obdobju (mm), delež padavin v vegetacijskem obdobju glede na letno količino padavin ter delež suhih in padavinskih (> 0,0 mm) dni v vegetacijskem obdobju za izbrane meteorološke postaje v Sloveniji v obdobju 1961–2012.	107
Preglednica 16: Referenčna evapotranspiracija (ET_o) (mm) v letu, v vegetacijskem obdobju in delež evapotranspiracije v vegetacijskem obdobju glede na letno količino za izbrane meteorološke postaje v Sloveniji.	112
Preglednica 17: Fenološki standardi za sledenje kmetijske suše (Fenološki podatki, 2013).	116

Preglednica 18: Povprečni datumi nastopa faz fenoloških standardov, koeficienti rastlin in globina korenin (Fenološki podatki, 2013).	120
Preglednica 19: Tipi tal po vodnozadrževalni sposobnosti, uporabljeni pri izračunu kazalca kmetijske suše (Grčman in sod., 2009; Pintar in sod., 2010).	123
Preglednica 20: Skupna površina grafičnih enot rabe kmetijskega gospodarstva (GERK) z izbrano rabo glede na tri razrede talnih tipov z različno efektivno poljsko kapaciteto (mm) na razdalji 20 km na izbranih lokacijah (Digitalna karta ..., 2012).	126
Preglednica 21: Razponi maksimalne globine korenin in delež rastlini lahko dostopne vode v tleh za razmere brez stresa (Allen in sod., 1998).	133
Preglednica 22: Vhodni in izhodni podatki modula za nenamakane rastline modela IRRFIB (Sušnik in Habič, 2012).	135
Preglednica 23: Statistične povezave med modeloma IRRFIB in WinISAREG za Maribor (Valher in sod., 2011).	136
Preglednica 24: Modificirana Conrad-Chapmanova klasifikacija (Praćenje i ocjena ..., 2005: 5).	141
Preglednica 25: Tipizacija suše z dekadnim indeksom sušnega stresa (DISS).	143
Preglednica 26: Tristopenjski koncept sledenja kmetijske suše.	147
Preglednica 27: Delež padavin (%) v vegetacijski sezoni trave (od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra) v obdobju 2000–2013. V oranžnih okvirčkih so z * označena leta, ko je padlo ≤ 70 % padavin glede na povprečje 1971–2000.	153
Preglednica 28: Delež padavin (%) v vegetacijski sezoni koruze (3. dekada aprila–1. dekada oktobra) v obdobju 2000–2013. V oranžnih okvirčkih so z * označena leta, ko je padlo ≤ 70 % padavin glede na povprečje 1971–2000.	154
Preglednica 29: Delež padavin (%) v vegetacijski sezoni ozimne pšenice (2. dekada marca–2. dekada julija) v obdobju 2000–2013. V oranžnih okvirčkih so z * označena leta, ko je padlo ≤ 70 % padavin glede na povprečje 1971–2000.	154
Preglednica 30: Število let, ko je delež padavin manjši od 70 % povprečja 1971–2000 v vegetacijski sezoni trave (a), koruze (b) in ozimne pšenice (c) v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013.	156
Preglednica 31: Povprečna vsota padavin (mm) v vegetacijski sezoni trave (a), koruze (b) in ozimne pšenice (c) v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013 z razliko (v %).	156
Preglednica 32: Trendi vsote padavin v vegetacijski sezoni trave, koruze in ozimne pšenice v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije (z * so označeni statistično značilni trendi pri 95-odstotni stopnji zanesljivosti).	158
Preglednica 33: Leta z najnižjo količino padavin v vegetacijski sezoni trave, koruze in ozimne pšenice v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije (v oranžnih okvirčkih so označena leta v obdobju 1987–2013).	158
Preglednica 34: Standardiziran padavinski indeks za 3-mesečno obdobje v vegetacijski sezoni ozimne pšenice, izračunan na dan 15. junija v obdobju 2000–2013 (v rdečih okvirčkih so označena leta, ko je SPI3 < -1) za izbrane lokacije.	162
Preglednica 35: Standardiziran padavinski indeks za 4-mesečno obdobje v vegetacijski sezoni koruze in trave, izračunan na dan 1. septembra v obdobju 2000–2013 (v rdečih okvirčkih so označena leta, ko je SPI4 < -1) za izbrane lokacije.	165
Preglednica 36: Linearni trendi meteorološke vodne bilance v vegetacijski sezoni trave, koruze in ozimne pšenice v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije (statistično značilni trendi pri 90-, 95- in 99-odstotni stopnji zanesljivosti so označeni z *, ** in ***).	171

Preglednica 37: Povprečni kumulativni dekadni indeks sušnega stresa ($DISS_k$) za travo, koruzo in ozimno pšenico na tleh z dobro in slabo vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012 na izbranih lokacijah. Vrednosti so zaradi preglednosti zaokrožene na eno decimalko.	185
Preglednica 38: Relativna sprememba $DISS_k$ za travo, koruzo in ozimno pšenico v obdobju 1987–2012 glede na obdobje 1961–1986 v %.	186
Preglednica 39: Primerjava $DISS_k$ za travo za izbrana sušna leta v Murski Soboti, Ratečah in Ljubljani na tleh s slabo, srednje dobro in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo.	193
Preglednica 40: Percentilna analiza kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa $DISS_k$ za travo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2012 na desetih lokacijah in treh tipih tal z različno vodnozadrževalno sposobnostjo: ekstremno sušna (98. percentil), zelo sušna (90. percentil) in sušna (75. percentil) vegetacijska sezona. Vrednosti $DISS_k \geq DISS_{kpovp}$ so označene z *.	198
Preglednica 41: Percentilna analiza kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa $DISS_k$ za koruzo od 3. dekade aprila do 1. dekade oktobra v obdobju 1961–2012 na desetih lokacijah in treh tipih tal z različno vodnozadrževalno sposobnostjo: ekstremno sušna (98. percentil), zelo sušna (90. percentil) in sušna (75. percentil) vegetacijska sezona. Vrednosti $DISS_k \geq DISS_{kpovp}$ so označene z *.	199
Preglednica 42: Percentilna analiza kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa $DISS_k$ za ozimno pšenico od 1. dekade marca do 2. dekade julija v obdobju 1961–2012 na desetih lokacijah in treh tipih tal z različno vodnozadrževalno sposobnostjo: ekstremno sušna (98. percentil), zelo sušna (90. percentil) in sušna (75. percentil) vegetacijska sezona. Vrednosti $DISS_k \geq DISS_{kpovp}$ so označene z *.	200
Preglednica 43: Zasnova $DISS_k$ prostorske interpolacije.	206
Preglednica 44: Preverjanje kazalcev kmetijske suše s podatki o škodi po suši na koruzi v treh sušnih letih.	214
Preglednica 45: Povprečni $DISS_{kpov}$, preračunan na občine, povprečna škoda na koruzi, površina zemljišč s koruzo in škoda leta 2006 za izbrane lokacije (z oranžnimi okvirčki sta označeni lokaciji z največjo in najmanjšo škodo zaradi suše).	215
Preglednica 46: Lastnosti in uporabnost kazalcev kmetijske suše.	216
Preglednica 47: Čas dostopnosti izračuna kazalcev in obravnavano obdobje.	217
Preglednica 48: Seznam negotovosti ob uporabi kazalca $DISS_k$ za določanje stopnje kmetijske suše in njegovem preverjanju.	218

KAZALO SLIK

Slika 1: Delež sušnih dogodkov po kontinentih v obdobju 1900–2012 (Disaster profiles ..., 2012).....	2
Slika 2: Upadanje dostopnosti vode. Izraženo kot indeks dostopnosti vode na prebivalca (leto 1950 = 100) (Human development ..., 2006: 136).....	11
Slika 3: Sektorski odvzem vode v km ³ /leto (Human development ..., 2006: 138).	11
Slika 4: Raba vode v kmetijstvu z namakanjem in brez namakanja (Comprehensive assessment ..., 2007: 6).....	12
Slika 5: Razporeditev namakanih površin v svetu (v milijonih ha). Povzeto po ocenah FAO za 230 milijonov ha v 100 državah (Burke in Kuylenstierna, 2009: 5).	14
Slika 6: Področja potencialne medsektorske tekmovalnosti pri porabi vode, ki so pomembna za prilagajanje na podnebne spremembe (Regionalne podnebne ..., 2009: 11).....	15
Slika 7: Trendi v povprečni regijski količini vode v tleh za 21-letno tekoče povprečje (okno). Os x predstavlja povprečno obdobje za izračun trenda. Trendi, ki so statistično značilni pri stopnji 0,05, so osenčeni v temnejših odtenkih barv. Pozitivni (negativni) trendi so obarvani v toplih (hladnih) barvah. Vrednosti za »svet« so pomnožene s 3 zaradi lažjega prikaza (Sheffield in Wood, 2008: 449).....	18
Slika 8: Spomni se tistih, ki stradajo! Ruski poster iz leta 1921 (Post 1900 ..., 2012).	20
Slika 9: Delež s sušo prizadetih svetovnih površin (%), posejanih z glavnimi poljščinami, v obdobju 1961–2006. Ravne črte pomenijo linearne trende (Li in sod., 2009: 36).....	21
Slika 10: Porazdelitev meteorološke sušnosti/mokrosti ob koncu septembra 2010 z uporabo 6-mesečnega standardiziranega padavinskega indeksa (SPI). Karta s temno rdečo barvo označuje sušo v Rusiji in povezane gozdne požare in sušo v zahodni Braziliji, kjer je normalno humidno podnebje (Global assessment ..., 2011: 58).....	22
Slika 11: Suša v prihodnosti (Dai, 2012; cit. po Drought may ..., 2012).....	24
Slika 12: Glavni sušni dogodki v Evropi v obdobju 2000–2012 (Water scarcity ..., 2012: 123).....	28
Slika 13: Ocena finančnega vpliva suš v EU (v milijonih EUR) in povprečni letni delež prizadete površine EU (v %) v obdobju 1976–2006 po petletjih (Water scarcity ..., 2007: 50).	29
Slika 14: Opazovane sušne epizode v Evropi v obdobju 1971–2011 (Water scarcity ..., 2012).....	30
Slika 15: Relativna sprememba v najmanjšem pretoku rek s povratno dobo 20 let med prihodnjimi obdobji do a) 2020, b) 2050 in c) 2080 ter obdobjem 1961–1990 za scenarij SRES A1B (Data and maps ..., 2012).....	31
Slika 16: Letna količina vode za namakanje po vodnih virih (tisoč m ³) v Sloveniji v obdobju 2003–2012 (Namakanje ..., 2013).....	33
Slika 17: Skupna površina namakanih kmetijskih zemljišč (ha) v Sloveniji v obdobju 2003–2012 (Namakanje ..., 2013).....	34
Slika 18: Ocenjena škoda, ki so jo povzročile naravne nesreče (Ocenjena škoda ..., 2009).	35
Slika 19: Letni delež suše v ocenjeni škodi glede na vse naravne nesreče v Sloveniji v obdobju 1994–2008 (Ocenjena škoda ..., 2009).....	36

Slika 20: Odločanje o uporabi sredstev za odpravo posledic škode (Računsko sodišče, 2007).....	40
Slika 21: Karta vodne bilance (mm) v obdobju 20. junij–20. avgust 2012 (Predlog ustanovitve ..., 2012).	42
Slika 22: Trajnostna dodelitev vode ekosistemom in konkurenčnim porabnikom (Water scarcity ..., 2012: 8).	43
Slika 23: Sušni monitoring v Združenih državah Amerike (Archive. U.S. Drought ..., 2012).....	50
Slika 24: Prezentacija treh stadijev idealiziranega vzročno-posledičnega razmerja kmetijske suše, ki informira o konceptu kombiniranega sušnega kazalca (CDI) in povezanih stopenj opozarjanja na sušo, ki so izhodne spremenljivke CDI (Sepulcre-Canto in sod., 2011: 3521).....	52
Slika 25: Ključni elementi za definicijo pomanjkanja vode in suše.....	61
Slika 26: Vodni potencial tal v odvisnosti od volumske vsebnosti vode v tleh (Vodnik, 2013).....	67
Slika 27: Prikaz dostopnosti vode v tleh za rast in razvoj rastlin (Managing water ..., 2013).	69
Slika 28: Odziv rastline na vodni stres (de Oliviera in sod., 2013).....	71
Slika 29: Fiziološki mehanizmi, ki jih povzročata vodni stres (Zingaretti in sod., 2013: 153)	75
Slika 30: Pretvorba vsote poletnih padavin (v našem primeru 400 mm) v vrednost standardiziranega padavinskega indeksa. Gladka krivulja na levem grafu $H(x)$ pomeni izračunano kumulativno porazdelitev padavin, lomljena črta (ECDF) pa nam predstavlja empirično kumulativno porazdelitev (Ceglar in Kajfež Bogataj, 2008)...	87
Slika 31: Standardiziran padavinski indeks za 3-mesečno obdobje (SPI3) maj–julij 2012 (a) in enomesečni SPI1 za julij 2012 v Sloveniji (b), objavljen v Dekadnem biltenu vodnobilančnega stanja kmetijskih tal v Sloveniji (Bilteni vodnobilančnega ..., 2013). Jakost suše po SPI je opisana v preglednici 10.	88
Slika 32: Tedenski umerjeni Palmerjev indeks jakosti suše in 1-mesečni standardiziran padavinski indeks za meteorološko postajo Starše (efektivna poljska kapaciteta tal je 156 mm/m) (Trošt, 2011b).	92
Slika 33: Mesečni umerjeni Palmerjev indeks jakosti suše v obdobju 1990–2009 za štiri meteorološke postaje v Sloveniji (efektivna poljska kapaciteta tal je 100 mm/m) (Trošt, 2011b).	93
Slika 34: Karta ogroženosti zelenjave zaradi suše v letu 2011 na Poljskem (4. poročilo za obdobje 1. maj–30. junij 2011) (Crop and soils ..., 2013).....	97
Slika 35: Poenostavljen diagram modela WinISAREG (Paredes in Pereira, 2010a: 13)....	99
Slika 36: Lokacije izbranih meteoroloških postaj (digitalni relief Slovenije: SAZU, 2013), označene z rdečimi točkami.	102
Slika 37 (a–č): Fotografije izbranih meteoroloških postaj (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).....	103
Slika 38 (a–e): Fotografije izbranih meteoroloških postaj (Dokumentacija meteorološke..., 2013).....	104
Slika 39: Povprečne mesečne temperature zraka v °C (rdeče linije) in mesečno trajanje sončnega obsevanja v urah (rumeni stolpci) za izbrane meteorološke postaje v obdobju 1961–2012 (enota sekundarne osi pri grafih za Bilje in Portorož je določena na 350 ur).....	105

Slika 40: Povprečna letna vsota padavin (mm) za referenčno obdobje 1971–2000 (Dolinar, 2013).....	107
Slika 41: Povprečne mesečne vsote padavin (mm) in evapotranspiracije (mm) ter mesečno število dni z evapotranspiracijo nad 5 mm za izbrane meteorološke postaje v obdobju 1961–2012.....	108
Slika 42: Povprečne mesečne vsote padavin (mm) in evapotranspiracije (mm) ter mesečno število dni z evapotranspiracijo nad 5 mm za izbrane meteorološke postaje v obdobju 1961–2012.....	109
Slika 43: Povprečna letna potencialna evapotranspiracija za referenčno rastlino (mm) v obdobju 1971–2000 (Dolinar, 2013).....	113
Slika 44: Povprečna, maksimalna in minimalna meteorološka vodna bilanca (mm) v vegetacijskem obdobju za izbrane meteorološke postaje v obdobju 1961–2012.....	115
Slika 45: Latenje travniške latovke (a) in pasje trave (b) ter cvetenje lisičjega repa (c), ki so najbolj pogoste predstavnice slovenskih travniških habitatov (Fenološki podatki, 2013).....	116
Slika 46: Posplošena krivulja koeficienta rastline po enojnem pristopu (prirejeno po Allen in sod., 1998).....	117
Slika 47: Ozimna pšenica tik pred cvetenjem. V obdobju od klasenja do mlečne zrelosti ima visok koeficient rastline (Fenološki podatki, 2013).....	119
Slika 48: Vegetacijsko obdobje za travinje s štirimi odkosi (prirejeno po Allen in sod., 1998).....	121
Slika 49: Metličenje in svilanje – začetek obdobja največje porabe vode pri koruzi (foto: L. Rozman, 2013).....	121
Slika 50: Talna profila na lokacijah Murska Sobota in Bilje (Pintar in sod., 2010).....	122
Slika 51: Talni profil na lokaciji Spuhlja (foto: T. Kralj) (Grčman in sod., 2009).....	124
Slika 52: Digitalna karta učinkovite poljske kapacitete tal (Digitalna karta ..., 2012), prirejena na štiri razrede (mm/m tal).....	125
Slika 53: Merilnik za merjenje vsebnosti vode v tleh TRIME®-EZ (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).....	127
Slika 54: Meritve vsebnosti vode v tleh (vol. %) in padavin (mm) v Murski Soboti v obdobju 2012–2013 (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).....	127
Slika 55: Poenostavljen diagram modela modela IRRFIB 03.1.....	130
Slika 56: Poenostavljen linearni model rasti korenin (Allen in sod. 1998).....	131
Slika 57: Poenostavljen koeficient sušnega stresa (Allen in sod. 1998).....	132
Slika 58: Delež lahko dostopne vode za različne stopnje evapotranspiracije rastlin (Allen in sod., 1998).....	133
Slika 59: Merjene (merilnik TRIME) in simulirane (modela IRRFIB in SIMPEL) vsebnosti vode v tleh (vol %) v obdobju april–september 2009 v Murski Soboti (Bergant in sod., 2010).....	136
Slika 60: Simulirana vsebnost vode (ASW) v tleh za travinje, ocenjena z modeloma IRRFIB in WinISAREG za Maribor. Na sliki levo zgoraj so upoštevana vsa obravnavana leta, desno zgoraj sušna leta, na spodnji sliki pa samo leto 2003 (Valher in sod., 2011).....	137
Slika 61: Primer geometrijske določitve vrednosti učinkovite poljske kapacitete (mm) vsaki enoti kmetijskega zemljišča s prekrivanjem poligonov pedološke karte in središčne točke enote kmetijskega zemljišča v delu občine Lendava.....	145

Slika 62: Kumulativna vsota padavin (mm) v vegetacijskem obdobju leta 2013 v primerjavi z dolgoletnim povprečjem 1971–2000 za izbrane lokacije ter delež v %.	150
Slika 63: Kumulativna vsota padavin (mm) v obdobju zimskega mirovanja od 1. oktobra 2011 do 30. marca 2012 v primerjavi z dolgoletnim povprečjem 1971–2000 za izbrane lokacije ter delež v odstotkih.	151
Slika 64: Suša in vetrna erozija sta spomladi 2012 poškodovali pšenico na Primorskem (levo). Peščene sipine zaradi dolgotrajnega padavinskega primanjkljaja in močne burje na Primorskem (desno) (foto: D. Krapež).	152
Slika 65: Delež mesečnih kumulativnih padavin (%) v vegetacijski sezoni 2012 glede na dolgoletno povprečje 1971–2000 (Sušnik in Valher, 2013).	152
Slika 66: Vsota padavin (mm) v vegetacijski sezoni trave (1. dekada aprila–2. dekada septembra) v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije s statistično značilnim linearnim trendom.	159
Slika 67: Vsota padavin (mm) v vegetacijski sezoni ozimne pšenice (2. dekada marca–2. dekada julija) v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije s statistično značilnim linearnim trendom.	159
Slika 68: Standardiziran padavinski indeks za 2- in 3- mesečno obdobje v vegetacijski sezoni ozimne pšenice, izračunana na dan 15. junija v obdobju 1972–2013 v Murski Soboti.	160
Slika 69: Število let s standardiziranim padavinskim indeksom za 3-mesečno obdobje $SPI3 < -1$ v vegetacijski sezoni ozimne pšenice, izračunano na dan 15. junija v obdobjih 1972–1992 in 1993–2013 ter število ekstremno sušnih let s $SPI3 < -2$ v obeh obdobjih.	161
Slika 70: Karte standardiziranega padavinskega indeksa za 3-mesečno obdobje v vegetacijski sezoni ozimne pšenice ($SPI3$, izračunan na dan 15. junija) v letih od 2000 do 2013 za katastrske občine.	164
Slika 71: Število vseh let s standardiziranim padavinskim indeksom za 4- mesečno obdobje $SPI4 < -1$ v vegetacijski sezoni koruze in trave, izračunan na dan 1. septembra v obdobjih 1972–1992 in 1993–2013 ter število ekstremno sušnih let s $SPI4 < -2$ v obeh obdobjih.	165
Slika 72: Karte standardiziranega padavinskega indeksa za 4-mesečno obdobje v vegetacijski sezoni koruze in trave ($SPI4$, izračunan na dan 1. septembra) v obdobju 2000–2013 za katastrske občine.	167
Slika 73: Kumulativna vodna bilanca (mm) v obdobju 1. april–konec avgusta 2013 v primerjavi s povprečjem 1971–2000 ter percentilne meje (75. percentil – sušno, 95. percentil – zelo sušno in 98. percentil – ekstremno sušno) za Mursko Soboto, Portorož in Rateče.	169
Slika 74: Povprečna kumulativna vodna bilanca (mm) v vegetacijski sezoni trave (a), koruze (b) in ozimne pšenice (c) v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013.	170
Slika 75: Meteorološka vodna bilanca (mm) v vegetacijski sezoni koruze v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije s statistično značilnimi trendi.	172
Slika 76: Povprečna kumulativna poletna meteorološka vodna bilanca (mm) v obdobju 1963–2013 (rdeča črta pomeni 75. percentil – sušno) za 10 meteoroloških postaj v Sloveniji. Obseg suše je uvrščen kot: nacionalna suša (več kot 5 regij), regionalna suša (v 3 ali 4 regijah) in lokalna suša (v 1 ali 2 regijah).	173

Slika 77: Število let s kumulativno poletno meteorološko vodno bilanco ≤ -150 mm v obdobju 1963–2013 za 10 meteoroloških postaj v Sloveniji.	173
Slika 78: Kmetijska suša od marca do avgusta 2003, ocenjena z meteorološko vodno bilanco (mm).	175
Slika 79: Kmetijska suša od 1. junija do 31. julija 2006, ocenjena z meteorološko vodno bilanco (mm).	175
Slika 80: Kmetijska suša od 11. junija do 10. avgusta 2013, ocenjena z meteorološko vodno bilanco (mm).	175
Slika 81: Poškodbe na travinju zaradi poletne suše leta 2013 na Gorenjskem (foto: M. Kalan) (levo). Po suši poškodovana koruza na prodnatih tleh v Turnišču v poznem poletju 2012 (foto: A. Sušnik) (desno).	176
Slika 82: Dekadni indeks sušnega stresa (DISS) za travo na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekad aprila do 2. dekad septembra 2013 in primerjava z dolgoletnim povprečjem v obdobju 1961–2013 v Murski Soboti in Ratečah.	178
Slika 83: Dvajset let z največjim DISS _k za travo na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekad aprila do 2. dekad septembra v obdobju 1961–2013 v Murski Soboti v padajočem vrstnem redu.	179
Slika 84: Dvajset let z največjim DISS _k za travo na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekad aprila do 2. dekad septembra v obdobju 1961–2013 v Ratečah v padajočem vrstnem redu.	180
Slika 85: Dvajset let z največjim DISS _k za travo na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo od 2. dekad junija do 2. dekad avgusta v obdobju 1961–2013 v Murski Soboti (a) in Ratečah (b) v padajočem vrstnem redu.	181
Slika 86: Kumulativni dekadni indeks sušnega stresa (DISS _k) za vegetacijsko obdobje trave na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobju 1961–2012 v Ratečah, Murski Soboti, Biljah in Portorožu.	182
Slika 87: Kumulativni dekadni indeks sušnega stresa (DISS _k) v vegetacijskem obdobju trave na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobju 1961–2012 v Šmartnem pri Slovenj Gradcu, Ljubljani in Mariboru.	183
Slika 88: Kumulativni dekadni indeks sušnega stresa (DISS _k) v vegetacijskem obdobju trave na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobju 1961–2012 v Novem mestu, Celju in Črnomlju.	184
Slika 89: Povprečno povečanje kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa (DISS _k) za vegetacijsko obdobje trave, koruze in ozimne pšenice na tleh s slabo, srednje dobro in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012 za 10 lokacij v Sloveniji.	187
Slika 90: Razporeditev dekadnega indeksa sušnega stresa (DISS) v vegetacijskem obdobju trave na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012 v Murski Soboti.	188
Slika 91: Razporeditev dekadnega indeksa sušnega stresa (DISS) v vegetacijskem obdobju trave na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012 v Ratečah.	189
Slika 92: Delež tipov sušnega stresa pri travi na tleh s slabo (S), srednje dobro (SD) in dobro (D) vodnozadrževalno sposobnostjo na izbranih lokacijah glede na obdobje pojava v vegetacijski sezoni na osnovi DISS ≥ 1 v obdobju 1961–2013. Delež skupne	

površine GERK z izbrano rabo glede na tri tipe tal v odstotkih v razdalji 20 km od postaje.....	193
Slika 93: Tipizacija jakosti suše z DISS pri travi na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2013 v Murski Soboti. Obdobja blagega primanjkljaja, zmerne in močne suše v dekadi so obarvana rumeno, oranžno in rdeče.....	194
Slika 94: Tipizacija jakosti suše z DISS pri travi na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2013 v Ratečah. Obdobja blagega primanjkljaja, zmerne in močne suše v dekadi so obarvana rumeno, oranžno in rdeče.	195
Slika 95: Porazdelitev kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) (rdeči stolpci), trajanja sušnih intervalov v dekadah (modri stolpci) za travo na tleh s slabo (a), srednje dobro (b) in dobro (c) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2012 v Murski Soboti.	196
Slika 96: Porazdelitev kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) (rdeči stolpci), trajanja sušnih intervalov v dekadah (modri stolpci) za travo na tleh s slabo (a), srednje dobro (b) in dobro (c) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2012 v Ratečah.	197
Slika 97: Povprečne meje razredov suše za vegetacijske sezone trave, ozimne pšenice in koruze v Sloveniji (povprečje 10 lokacij) na treh tipih tal z različno vodnozadrževalno sposobnostjo (S/SD/D): ekstremno sušna (98. percentil), zelo sušna (90. percentil) in sušna (75. percentil) vegetacijska sezona.	201
Slika 98: Vrednosti kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) za travo na tleh s slabo (a) in dobro (b) zadrževalno sposobnostjo za vodo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2012 na 10 lokacijah v Sloveniji. Označene so meje za ekstremno sušna (2 %), zelo sušna (2–9 %) in sušna leta (9–25 %). Povprečne vrednosti percentilov za Slovenijo so označene s (povp).....	202
Slika 99: Vrednosti kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) za koruzo na tleh s slabo (a) in dobro (b) zadrževalno sposobnostjo za vodo od 3. dekade aprila do 1. dekade oktobra v obdobju 1961–2012 na 10 lokacijah v Sloveniji. Označene so meje za ekstremno sušna (2 %), zelo sušna (2–9 %) in sušna leta (9–25 %). Povprečne vrednosti percentilov za Slovenijo so označene s (povp).....	203
Slika 100: Vrednosti kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) za ozimno pšenico na tleh s slabo (a) in dobro (b) zadrževalno sposobnostjo za vodo od 1. dekade marca do 2. dekade julija v obdobju 1961–2012 na 10 lokacijah v Sloveniji. Označene so meje za ekstremno sušna (2 %), zelo sušna (2–9 %) in sušna leta (9–25 %). Povprečne vrednosti percentilov za Slovenijo so označene s (povp).	204
Slika 101: Povprečen $DISS_k$ za koruzo v letu 2006, preračunan na vse GERK-e s kmetijsko rabo – njiva.	206
Slika 102: Povprečen $DISS_k$ za koruzo v letu 2006, preračunan samo na tiste GERK-e, kjer so površine s koruzo registrirane v katalogih AJDA in/ali Agencije RS za kmetijske trge.	206
Slika 103: Povprečen $DISS_k$ za koruzo v obdobju 2003–2013, preračunan na vse GERK-e s kmetijsko rabo – njiva. Uporabljeni so bili podatki iz kataloga GERK v letu 2010.	209
Slika 104: Delež površine občine z $DISS_k$ za koruzo nad povprečnim pragom (75. percentil – sušno /a/, 90. percentil – zelo sušno /b/ in 98. percentil – ekstremno sušno /c/) v	

obdobju 2003–2012, preračunan na vse GERK-e s kmetijsko rabo – njiva za občine Radovljica, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana, Maribor in Novo mesto.....	210
Slika 105: Delež površine občine z $DISS_k$ za koruzo nad povprečnim pragom (75. percentil – sušno /a/, 90. percentil – zelo sušno /b/ in 98. percentil – ekstremno sušno /c/) v obdobju 2003–2012, preračunan na vse GERK-e s kmetijsko rabo – njiva za občine Celje, Črnomelj, Murska Sobota, Nova Gorica in Piran.....	211
Slika 106: Povprečna višina pridelka koruze za zrnje (hibrid Furio) v posameznih letih na poskusnih poljih v Murski Soboti,(povzeto po Ceglar, 2011) v obdobju 1995–2008 in hibrida koruze za zrnje (C1200) v obdobju 1991–2012 v Sloveniji (Pridelava poljščin ..., 2013), navedena v tonah na hektar, in kumulativni dekadni indeks sušnega stresa ($DISS_k$) za koruzo od 3. dekade aprila do 1. dekade oktobra na tleh s slabo zadrževalno sposobnostjo v Murski Soboti v obdobju 1992–2012.....	213
Slika 107: Korelacija med $DISS_k$ koruze in škodo po suši na koruzi za 50 občin (škoda > 30 %) leta 2006.	216

KAZALO PRILOG

PRILOGA A – Mreža padavinskih postaj (Meteorološki podatki ..., 2013)

PRILOGA B – Mreža agrometeoroloških postaj (Meteorološki podatki ..., 2013)

PRILOGA C – Mreža fenoloških postaj (Meteorološki podatki ..., 2013)

OKRAJŠAVE IN FIZIKALNI SIMBOLI

ABA	abscizinska kislina
ADMS	sistem monitoringa kmetijske suše
AMS	Ameriško meteorološko društvo (American Meteorological Society)
APX	askorbat peroksidaza (encim)
ARSKTRP	Agencija RS za kmetijske trge in razvoj podeželja
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
ASCE	Ameriško društvo za civilni inženiring (American Society of Civil Engineers)
AWC	lokalno dostopna voda v tleh
AWS	projekt Upravljanje vodnih virov v alpskem prostoru (Alp Water Scarce)
A_x	avksin (hormon)
BDP	bruto družbeni proizvod
BI	Bilje
BR	brasinosteroidi
BRIC	države Brazilija, Ruska federacija, Indija in Kitajska
CAT	katalaza (encim)
CBD	Konvencija o biološki raznovrstnosti (Convention on Biological Diversity)
CDD	zaporedni sušni dnevi
CDI	kombiniran sušni kazalec
CE	Celje Medlog
C_k	citokinini (hormoni)
CMI	indeks vlažnosti poljščin
CMI	indeks omočenosti poljščine
CO_2	ogljikov dioksid
CSDI	sušni indeks, specifičen za posamezno rastlino
CWB	klimatska vodna bilanca
CWD	vodni primanjkljaj
ČR	Črnomelj Dobliče
DIR	poročevalec o vplivu suše
DKP	delež kumulativnih padavin
DM-indeks	sušne razmere in čezmerna namočenost
DMCSEE	Center za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi (Drought Management Center for South Eastern Europe)
D	tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo
DNA	deoksiribonukleinska kislina
DWD	Nemška meteorološka služba (Deutscher Wetterdienst)
EC	Evropska komisija (European Commission)
ECDF	funkcija empirične kumulativne porazdelitve
EDC	Evropski center za sušo (European Drought Center)
EDO	Evropski observatorij za sušo (European Drought Observatory)
EEA	Evropska agencija za okolje (European Environmental Agency)
EFAS	Evropski sistem za opozarjanje o poplavah (European Flood Awareness System)

ESA	Evropska vesoljska agencija (European Space Agency)
ETI	etilen
EU	Evropska unija
EUMETSAT	Evropska organizacija za uporabo meteoroloških satelitov (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites)
EuroGEOSS	Evropski globalni opazovalni sistem za zemeljsko površje (European Environment Earth Observation System)
FAO	Organizacija za prehrano in kmetijstvo (Food and Agriculture Organization of the United Nations)
fAPAR	delež absorbiranega fotosintetičnega aktivnega sončnega sevanja
G	proteini
GA	giberelini
GCM/RCM	modeli splošne globalne cirkulacije
GERK	grafična enota rabe kmetijskega gospodarstva
GFCS	globalni okvir za klimatske storitve
GMES	Evropski program globalnega spremljanja okolja in varnosti (Global Monitoring for Environment and Security)
GPCC	Globalni center za klimatologijo padavin (Global Precipitation Climatology Centre)
GR	glutation reduktaza (encim)
GrADS	orodje za dostop, upravljanje in prikaz okoljskih podatkov (Grid Analysis and Display System)
HMNDP	visoki politični sestanek o nacionalni politiki o suši (High-level Meeting on National Drought Policy)
ICID	Mednarodna komisija za namakanje (International Commission on Irrigation and Drainage)
IEEP	Inštitut za evropsko okoljsko politiko (Institute for European Environmental Policy)
IPCC	Medvladni forum o podnebnih spremembah (Intergovernmental Panel for Climate Change)
IUNG-PIB	Inštitut za tloznanstvo in pridelavo rastlin (The Institute of Soil Science and Plant Cultivation)
IWMI	Mednarodni inštitut za vodni management (International Water Management Institute)
JA	jasmonska kislina
KBDI	Keetch-Byramov sušni indeks
KGM-MID	identifikacijska številka kmetijskega gospodarstva
KGZ	Kmetijsko gozdarski zavod
LJ	Ljubljana Bežigrad
MB	Maribor Tabor
Meteo AM	Meteorološka služba aeronavtične obrambe (Meteo Aeronautica Militare)
MID	multi indeks suše
MKO	Ministrstvo za kmetijstvo in okolje
MOP	Ministrstvo za okolje in prostor
MS	Murska Sobota Rakičan
NCAR	Ameriški nacionalni center za atmosferske raziskave (National Center for Atmospheric Research)

NCDC	Nacionalni center za klimatske podatke (National Climatic Data Center)
NDMC	Nacionalni center za mitigacijo suše (National Drought Mitigation Center)
NDWI	normaliziran indeks spremembe vode
NIR	neto potrebe po namakanju
NM	Novo mesto
NOAA	Ameriška državna uprava za oceane in atmosfero (National Oceanic and Atmospheric Administration)
NUP	načrti upravljanja povodij
NWS	Nacionalna meteorološka služba (National Weather Service)
OECD	Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj (Organisation for Economic Co-operation and Development)
PaDI	Palfajjev indeks suše
PDSI	Palmerjev indeks jakosti suše
PHDI	Palmerjev indeks hidrološke suše
PM	Penman-Monteithova metoda
PO	Postojna
Pp	poznopoletna suša
RA	Rateče
RAW	lahko dostopna voda v tleh
RDI	indeks prepoznavanja suše
RI	nacionalni padavinski indeks
ROS	reaktivne oblike kisika
RR _{kum}	kumulativna vsota padavin
RS	Republika Slovenija
rSPI	relativni standardiziran indeks padavin
rubisco	encim ribuloza-1,5-bifosfat karboksilaza/oksigenaza
P	pomladanska suša
S	tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo
S _{AgMIS}	agrometeorološki informacijski sistem
SAZU	Slovenska akademija znanosti in umetnosti
SC-PDSI	umerjeni Palmerjev indeks jakosti suše
SD	tla s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo
Si	sušni indeks
SKP	Skupna kmetijska politika
SMA	anomalija simulirane vode v tleh
SMD	Slovensko meteorološko društvo
SMI	indeks vode v tleh
SNOTEL	podatki o podnebnih anomalijah
SOD	superoksidna dismutaza (encim)
SPEI	standardiziran padavinsko-evapotranspiracijski indeks
SPI	standardiziran padavinski indeks
SRES	scenariji emisij
SRI	standardiziran indeks odtoka
SSPI	standardiziran indeks snežne zaloge
SURS	Statistični urad Republike Slovenije
SWI	indeks vode v tleh

ŠSG	Šmartno pri Slovenj Gradcu
TCP	Program za čezmejno sodelovanje (Transnational Cooperation Program)
TDR	merilnik vsebnosti vode v tleh na osnovi dielektrične upornosti (Time Domain Reflectometry)
U.S.	Združene države
UN	Združeni narodi (United Nations)
UNCCC	Okvirna konvencija Združenih narodov o spremembi podnebja (United Nations Framework Convention on Climate Change)
UNCCD	Konvencija Združenih narodov o boju proti dezertifikaciji/degradaciji tal (United Nations Convention to Combat Desertification)
UNDP	Program Združenih narodov za razvoj (United Nations Development Programme)
UNESCO	Organizacija Združenih narodov za izobraževanje, znanost in kulturo (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)
UN ISDR	mednarodna strategija Združenih narodov za zmanjševanje nesreč (United Nations International Strategy for Disaster Reduction)
URSZR	Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje
USDAFS	Ameriška služba za kmetijstvo in gozdarstvo (United States Department of Agriculture Forest Service)
VegDRI	indeks odziva vegetacije
WEI+	indeks eksploatacije/porabe vode plus
WMO	Svetovna meteorološka organizacija (World Meteorological Organisation)
WPLM	uteženi Palmerjev indeks jakosti suše
ZDA	Združene države Amerike
ZIND	Palmer Z-index ali Palmerjev indeks odstopanja vlažnosti
Z-indeks	Palmerjev indeks anomalije vlažnosti
ZN	Združeni narodi
ZOPNN	Zakon o odpravi posledic naravnih nesreč
zp	zgodnjepoletna suša
ZV-1	Zakon o vodah
ZVNDN	Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami

OKRAJŠAVE MATEMATIČNIH SPREMENLJIVK

Δ	utežnostna konstanta, odvisna od temperature [$\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$]
A	površinska napetost vode [$7,28 \times 10^{-8} \text{ MPam}$]
B	dnevna vodna bilanca
B_{max}	bilanca začetnega dne
BPS	spodnja meja rastlini dostopne vode
c_s	osmolalnost raztopine [molm^{-3}]
D	globina korenin [m]
D_{max}	največja globina korenin
D_{min}	najmanjša globina korenin
d	dan v letu
d_n	premik ničelne višine zaradi vegetacije [m]
$DISS$	dekadni indeks sušnega stresa
$DISS_k$	kumulativni indeks sušnega stresa
DZ	delež rastlini lahko dostopne vode v tleh
EPK	efektivna poljska kapaciteta [mmm^{-1}]
e_s, e_a	nasičen in dejanski parni tlak [kPa]
ETP	evapotranspiracija
ET_0	potencialna evapotranspiracija referenčne rastline
ET_c	potencialna evapotranspiracija rastline
F	fenološka faza
G	tok toplote iz površja [$\text{MJm}^{-2}\text{dan}^{-1}$]
h	višina rastline [m]
k	von Karmanova konstanta [0,41]
K_1	konstanta 0,408 [$0,408 \text{ mmm}^2\text{MJ}^{-1}$]
K_2	konstanta 900 [$900 \text{ mm}^\circ\text{Csdan}^{-1}\text{m}^{-1}\text{kPa}^{-1}$]
K_3	konstanta [273,3 °C]
K_4	konstanta [$0,34 \text{ sm}^{-1}$]
K_c	koeficient rastline
K_s	koeficient stresa
LAI	indeks listne površine [m^2m^{-2}]
n	trajanje sončnega sevanja [ure]
N_{dek}	število dni v dekadi
p	percentil
PD	povratna doba
PK	poljska kapaciteta
PS	prag sušnega stresa
r_a	upornost mejne plasti ali aerodinamična upornost [sm^{-1}]
r_s	površinska upornost [sm^{-1}]
r_v	polmer meniskov, ki jih oblikuje voda [m]
pF	sila vezave vode (potential force)

R	plinska konstanta [$8,31 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}\text{m}^{-3}$]
RDV	rastlini dostopna voda [mmm^{-1}]
RH	relativna vlaga zraka na dveh metrih [%]
R_n	neto obsevanje površin rastlin [$\text{MJm}^{-2}\text{dan}^{-1}$]
RR	padavine [mm]
r^2	determinacijski koeficient
r_l	stomatalna upornost dobro osvetljenega lista [sm^{-1}]
T	povprečna dnevna temperatura zraka na višini 2 m [$^{\circ}\text{C}$]
T_{abs}	absolutna temperatura [K]
T_{max}	maksimalna temperatura zraka na višini 2 m [$^{\circ}\text{C}$]
T_{min}	minimalna temperatura zraka na višini 2 m [$^{\circ}\text{C}$]
TV	točka venenja
u_z	hitrost vetra na višini z
u_2	hitrost vetra na višini 2 m [ms^{-1}]
VB	vodna bilanca
Y	številska spremenljivka
z_{0h}	parameter hrapavosti za prenos toplote in vodne pare [m]
z_{0m}	parameter hrapavosti za tok [m]
z_h	višina meritev temperature in vlažnosti [m]
z_m	višina meritev vetra [m]
α	parameter enostavnega linearnega modela
β	parameter enostavnega linearnega modela
γ	psihrometrična konstanta [$\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$]
ε	slučajne spremenljivke
Φ_{PK}	vsebnost vode v tleh pri poljski kapaciteti [m^3m^{-3}]
Φ_{TV}	vsebnost vode v tleh pri točki venenja [m^3m^{-3}]
Ψ_g	gravitacijski potencial
Ψ_m	matrični potencial
Ψ_p	hidrostatični potencial tal oziroma potencial tlaka
Ψ_s	osmotski potencial oziroma potencial raztopine
Ψ_w	vodni potencial tal

1 UVOD

Kmetijstvo je zelo kompleksen proces, v katerem obstajajo številna tveganja. Mnoga med njimi so povezana s pridelavo, pridelkom in trgom. Navadno imajo tveganja tudi institucionalni in finančni značaj. Med najpomembnejšimi vzvodi za tvegano kmetijsko pridelavo sta vreme in podnebje, še posebno kadar s svojimi izrednimi pojavi, ki močno odstopajo od povprečnega stanja, vplivata oziroma omejitata kmetijsko pridelavo. Kadar takšni vremenski dogodki povzročijo veliko škodo in prizadenejo večja območja in prebivalstvo na njem, jih prištevamo med **naravne nesreče**. Mednje sodi tudi **kmetijska suša**.

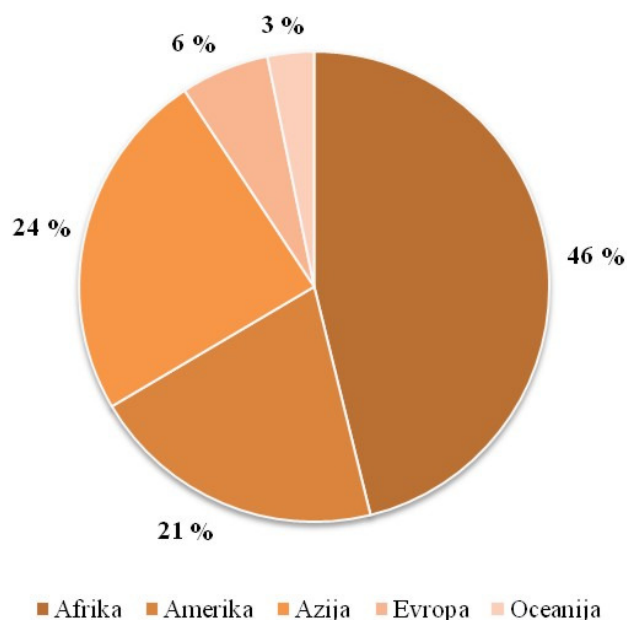
Suša je opredeljena kot meteorološki dogodek, ki temelji na pomanjkanju padavin v nekem obdobju. Pojavlja se kot rezultat podnebnih izrednih dogodkov, ki so povzročeni z naravno spremenljivostjo, poslabšujejo pa jih tudi antropogeni vplivi (Sheffield in Wood, 2008). Glede na trajanje in jakost suša ne vpliva le na kmetijsko pridelavo, temveč tudi na vodotoke, vodo v tleh, podzemno vodo itn. Vpliva tudi na naravne habitate, ekosisteme in številna ekonomska in družbena področja (Heim, 2002). Predvsem pa ogrozi vodno varnost in varnost hrane (MacDonald, 2010; Moonen in sod., 2002). Izjemen je tudi njen vpliv na naravno prilagoditev ekosistemov na nekem območju ter posredno in neposredno vpliva na prostorsko porazdelitev večine kmetijskih sistemov.

Suša je bila nadloga številnim civilizacijam, ne le v davno pretekli zgodovini, tudi v polpretekli zgodovini in danes je pogost pojav. Po podatkih Mednarodne baze naravnih nesreč (Disaster profiles ..., 2012) je bilo v svetu v obdobju 1900–2012 zabeleženih 624 sušnih dogodkov (Disaster profiles ..., 2012). Mnogi med njimi so terjali ali ogrozili številna življenja. Poročajo o najmanj 11 milijonih žrtev in o 2 milijardah ogroženih življenj. Za reševanje stanja je bila pogosto potrebna mednarodna pomoč. Zdaleč najbolj ogrožena zaradi suše so območja v Afriki, še zlasti izstopa podsaharski del, sledijo Amerika, Azija in Oceanija (slika 1, preglednica 1). Tudi število žrtev je največje v deželah v razvoju (Special report ..., 2012), še toliko bolj, ker je na teh območjih reševanje posledic naravnih nesreč pogosto povezano s konflikti na različnih ravneh, zato pa so posledice suše lahko še hujše in težje obvladljive.

Ne le dežele v razvoju oziroma regionalno najbolj ogrožena območja, tudi Evropa se vse pogosteje sooča s težavami s sušo. Tudi na tem prostoru si v prihodnjih desetletjih ne moremo obetati ugodnejših razmer, še posebno ne v jugovzhodni Evropi, za katero projekcije podnebja za prihodnost kažejo na zmanjšanje padavin v topli polovici leta, kar bo nedvomno še povečalo težave v kmetijstvu in vodooskrbi, posredno pa tudi v drugih gospodarskih in družbenih dejavnostih (Kajfež Bogataj in Sušnik, 2007; Special report ..., 2012; Impacts of Europe's ..., 2008).

Čeprav se v novejšem času umrljivost zaradi suše postopno zmanjšuje zaradi kombinacije reform politik, tehnoloških izboljšav, sprememb življenjskih okolij, spremenjenih prehranskih navad ter ekonomskega razvoja, suša ostaja ena od naravnih nesreč, ki je tako glede na prostorsko razširjenost kot na dolgotrajnost družbenoekonomskih in okoljskih posledic povezana z ogromnimi stroški za reševanje stanja (Brown in sod., 2008). Ovira

doseganje ciljev trajnostnega razvoja, nedvomno najbolj v najrevnejših državah na svetu. Vsako leto prizadene več kot polovico kopnega in povzroča milijone ton izgub pridelka na najrodovitnejših zemljiščih (Kogan, 1997).



Slika 1: Delež sušnih dogodkov po kontinentih v obdobju 1900–2012 (Disaster profiles ..., 2012).
Figure 1: Share of droughts events sorted by continents from year 1900 to 2012 (Disaster profiles ..., 2012).

Posledice suše niso le izguba pridelka zaradi pomanjkanja vode, temveč tudi skrb vzbujajoča dezertifikacija (zapuščavljanje) in degradacija tal (Sušnik, 2007a; Sušnik 2007b), ki nosita odgovornost za dolgoročne posledice suše na kmetijskih površinah in povečanje območij z omejenimi pogoji pridelave (Sušnik in Žust, 2008). Mednarodna skupnost je v luči zavedanja o tem naraščajočem in vse težje obvladljivem problemu sprejela Konvencijo o boju proti dezertifikaciji in sušam (UNCCD). Njeni cilji so usmerjeni v boj proti dezertifikaciji oziroma degradaciji tal in sušam, ki jih povzročajo spremembe v podnebnju in človekov vpliv. Konvencija se še posebno ukvarja z aridnimi, semiaridnimi in sušnimi subhumidnimi predeli. Slovenija je podpisnica konvencije od leta 1991.

Kar se tiče suše, Slovenija ni med najbolj ranljivimi regijami, vendar je zmotno misliti, da težav s sušo v Sloveniji ni. Doslej povzročena gospodarska škoda po suši je precejšnja. V preteklosti je bilo pogosto slišati, da suša glede na slovensko vodno bogastvo ne bi smela biti problem (Gregorič in Sušnik, 2008). Ozemlje države se namreč uvršča med dobro namočena območja, vendar je obdobjno pomanjkanje vode in suše v Sloveniji kljub vsemu pereč problem, predvsem v kmetijstvu. Skupne količine padavin so sicer velike, a zaradi njihove neugodne razporeditve ter neučinkovitega upravljanja z vodami posledice suše ogrožajo kakovostno in stalno kmetijsko pridelavo, oskrbo s pitno vodo, proizvodnjo električne energije in drugo.

Podnebne spremembe so danes znanstveno potrjene in so izziv strokovni in splošni javnosti za razmislek o tem, kaj lahko pričakujemo v prihodnosti. Projekcije podnebnja za

prihodnost kažejo, da se bo število ekstremnih vremenskih dogodkov, ki botrujejo suši, še povečalo. Zlasti antropogeno povzročene podnebne spremembe bodo povzročile nadaljnjo rast padavinskih ekstremov, in sicer obojega, povečevanja obilnih padavin in daljšanja suš (Climate change ..., 2007; The Copenhagen diagnosis, 2009). Projekcije podnebnih sprememb do leta 2100 kažejo na daljše in intenzivnejše suše v nekaterih predelih sveta: v južni Evropi in na Mediteranu, v osrednji Evropi, osrednji Severni Ameriki, Srednji Ameriki in Mehiki, severovzhodni Braziliji in južni Afriki.

Preglednica 1: Deset najpomembnejših sušnih nesreč v obdobju 1900–2012 razvrščenih glede na ekonomsko škodo na ravni države (Disaster profiles ..., 2012).

Table 1: Top 10 most important drought disasters in the period from year 1900 to 2012 sorted by economic damage costs at the country level (Disaster profiles ..., 2012).

Država	Leto	Škoda (000 USD)
Kitajska	1994	13,755.200
Združene države Amerike	2011	8,000.000
Avstralija	1981	6,000.000
Španija	1990	4,500.000
Kitajska	2009	3,600.000
Iran	1999	3,300.000
Združene države Amerike	2002	3,300.000
Španija	1999	3,200.000
Kanada	1977	3,000.000
Kitajska	2006	2,910.000

Tudi v Sloveniji se bomo morali soočiti s posledicami podnebnih sprememb. Projekcije podnebja do leta 2050 kažejo na večjo količino padavin jeseni in manjšo v drugih letnih časih, pričakuje se tudi manj novega snega in krajše trajanja snežne odeje (Dolinar in sod., 2010). Vse to bo vplivalo tudi na oskrbo kmetijskih površin z vodo. Spremembe padavinskega režima bodo nedvomno vplivale tudi na pretoke slovenskih rek (Kobold, 2007).

Tako tudi ozemlje Slovenije postaja vse bolj ranljivo za sušo. Suša povzroča precejšnjo gospodarsko škodo, še zlasti ker zaradi prepričanja, da imamo vode dovolj, z njo ravnamo zelo slabo. Že v preteklih letih je bila škoda zaradi suše precejšnja; navadno ji je v strukturi škod po različnih naravnih nesrečah odmerjen največji delež; na primer leta 2003, ko je država doživela najhujšo sušo v preteklih petdesetih letih, je bil ta delež kar 80 %, prizadeto pa je bilo skoraj vse ozemlje Slovenije. Huda suša z razsežnostmi naravne nesreče je vladala tudi v letih 2012 in 2013.

Upravljanje suše zahteva ažurno sledenje oziroma monitoring suše. Pri tem je nujna ustrezna strategija za upravljanje tveganja suše (Sivakumar in Motha, 2007). Odlašanje z ukrepi namreč prinaša le večje stroške zaradi vse hujših posledic suše na kmetijskih površinah.

Monitoringu suše so bile namenjene že številne raziskave (Archive. U.S. Drought ..., 2012; EDO, 2012; DMCSEE, 2012). V zadnjem desetletju je zaradi velikih ekonomskih škod, ki jih je povzročila suša, že kar nekaj držav izdelalo **akcijske načrte za upravljanje**

suše in zgodnje opozarjanje nanjo (Wilhite in Svoboda, 2000; Wilhite in sod., 2000; Svoboda in sod., 2002; Wells, 2003; Gregorič in Ceglar, 2007; Gregorič in Sušnik, 2008; Badripour, 2007; Wilhite, 2009). Leta 2013 smo tudi v Sloveniji začeli pripravljati akcijski načrt za upravljanje suše.

Spodbudno je, da je novejšem času vse več iniciativ za iskanje novih rešitev pri upravljanju suše, tako globalno kakor tudi na regionalni in lokalni ravni. V svetu uspešno deluje že več centrov za upravljanje suše. Naraščajoča ogroženost jugovzhodne Evrope zaradi suše je privedla tudi do ustanovitve Centra za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi, ki ima sedež v Ljubljani na Agenciji za okolje Republike Slovenije (Gregorič in Sušnik, 2008).

Za uspešno analizo podatkov in tudi posredno za načrtovanje ukrepov v kmetijstvu moramo zgodaj in s primernimi kazalci slediti pojavu suše. V zadnjem stoletju je bilo razvito veliko število kazalcev **kmetijske suše**. Globalno dogovorjen kazalec, ki bi bil primeren za merilo kompleksnih medsebojnih povezav med različnimi komponentami hidrološkega cikla in vplivov nanj, pa še ne obstaja (Sivakumar, 2011). A stvari se premikajo tudi na tem področju, saj je Svetovna meteorološka organizacija dosegla priporočilo o globalnem kazalcu meteorološke suše (Lincoln declaration, 2009). Za zdaj precej več obetajo aktivnosti na regionalni ravni, z razvojem **standardiziranih kazalcev pojava suše**. Izkušnje večjih centrov za upravljanje suše namreč kažejo, da nam regionalni pregled prikaže nove dimenzije njenega pojava (Gregorič in Ceglar, 2007).

Razvoj različnih orodij oziroma kazalcev za sledenje suše in izboljšanje njihove natančnosti ter zmogljivosti bosta nedvomno prispevala k boljšemu opisu suše v kvantitativnem smislu, najprej z opisom pojava meteorološke suše ter z njeno prostorsko razprostranjenostjo in njenim prehodom v kmetijsko oziroma hidrološko sušo. Opisi suše temeljijo na zgodovinskih razmerah, kjer je nabor odzivov že znan, zato bo za razvoj orodij treba premostiti težave z dostopnostjo podatkov z dolgimi časovnimi nizi. Za natančno spremljanje suše pa so potrebni tudi drugi relevantni podatki, ki omogočajo natančnejše sledenje kmetijske suše, od razvoja kmetijskih kultur, lastnosti tal do vrste kmetijskih praks, kolobarja in sortimenta. Ti podatki v Sloveniji niso sistematično zbrani, zato so tudi ocene lahko negotove. Geografska opredelitev kmetijske suše v praksi zelo pogosto poteka na osnovi administrativnih mej ali na osnovi razporeditve glavnih kmetijskih kultur v posamezni regiji. Veliko je tudi subjektivnosti v ocenah poškodovanosti kmetijskih kultur. Izvaja se coniranje kmetijske suše zaradi ocene škode po suši in povračilnih shem škode, ki jih ima Slovenija integrirane v zakonodajo.

V obstoječi praksi v Sloveniji večji del ocenjevanja suše še vedno poteka po nastali škodi, premalo pa se razvijajo preventivni ukrepi in zgodnje opozarjanje na sušo.

Zato smo v pričujočem delu poskušali vzpostaviti **modelsko zasnovo spremljanja primanjkljaja vode in kmetijske suše na izbranih kmetijskih rastlinah v Sloveniji od zgodnjega opozarjanja do alarma zaradi kmetijske suše**. Rezultati bodo lahko pripomogli k oblikovanju kratkoročne in dolgoročne strategije za ublažitev posledic kmetijske suše v Sloveniji.

1.1 NAMEN DELA IN UTEMELJITEV PREDLAGANE RAZISKAVE

Namen študije je najprej pregled raziskav o globalni problematiki suše in njenih spremembah s posebnim poudarkom na stanju v Sloveniji. Podan je pregled monitoringov suše v svetu in njihovih metodoloških pristopov s primeri dobre prakse. Vsebuje tudi pregled pojmovnika pri analizah kmetijske suše.

Z raziskavo želimo na podlagi izkušenj in dostopnih informacij o obstoječih monitoringih v svetu izdelati kazalce kmetijske suše v Sloveniji, ki bodo osnova za določitev pojavnosti suše na izbranih lokacijah. Z analizo bomo opredelili optimalen nabor podatkovnih virov in izdelali izhodišča za monitoring kmetijske suše. Kompleksen pristop in uporaba raznovrstnih podatkovnih virov pri monitoringu suše je v slovenskem prostoru novost; do zdaj so sušne razmere v glavnem ugotavljali na podlagi lokalnih virov podatkov in subjektivnih ocen.

Dosedanje analize kmetijske suše so namreč potekale na osnovi enostavnih kazalcev, ki niso vključevali lastnosti rastline, podatke o tleh pa le v manjši meri. Ker je v analizah kmetijske suše še posebno zahtevno določiti obravnavano obdobje, z novim kazalcem želimo v analize vključiti razvojni krog pomembnejših kmetijskih rastlin, ki so pod vplivom suše.

Glavni namen dela je preverjanje največkrat uporabljenih kazalcev suše za slovenske razmere in oblikovanje novega kvantitativnega kazalca za pojav kmetijske suše, ki bo ustrezal naslednjim kriterijem:

- določanje termina zgodnjega opozarjanja na kmetijsko sušo;
- odkrivanje prvih signalov kmetijske suše;
- določanje začetka, trajanja in jakosti sušnega stresa na kmetijskih rastlinah;
- sledenje suše na kmetijskih rastlinah v prostoru in opozarjanje na različne stopnje kmetijske suše;
- prostorske ocene jakosti kmetijske suše na površinah z izbranimi kmetijskimi rastlinami.

Kazalci so bili uporabljeni na merjenih podatkih v preteklosti (obdobje 1961–2013) v Sloveniji.

Problem pri raziskovanju ranljivosti in tveganja suše je podoben kot pri raziskovanju samega pojava suše – merljivih parametrov, ki bi določali stopnjo ranljivosti, ni. V bolj kompleksnih družbenih okoljih se tudi ranljivost in tveganje za pojav suše s časom spreminjata. Razvoj infrastrukture in socialnih mehanizmov, ki blažijo posledice suše v primeru njenega pojava v specifičnem sektorju na omejenem območju, zmanjšuje družbeno ranljivost in tveganje za pojav suše. Z ekonomskim razvojem pa prihajajo novi uporabniki, ki z obstoječimi tekmujejo za naravne vire (v tem primeru vodo).

Tako kot ranljivost tudi druga neznanka – verjetnost pojava suše – ni časovna konstanta. Naravna variabilnost podnebja, zlasti pa prihajajoče podnebne spremembe lahko povečajo verjetnost pojava suše, čeprav je naša ranljivost enaka ali pa jo s preventivnimi ukrepi celo zmanjšamo. Najslabše pa je, če sta trenda obeh spremenljivk pozitivna. Tak primer je južno Sredozemlje – naraščajoča poseljenost, velika odvisnost od omejenih vodnih virov in

zelo neugodne projekcije podnebnih sprememb bodo brez blažilnih ukrepov hitro povečevale tveganje za pogostejše katastrofalne sušne dogodke. Tudi Slovenija pri tem ni izjema.

1.2 DELOVNA HIPOTEZA

V nalogi želimo preveriti hipoteze:

- Izbrani kazalci kmetijske suše so primerni za sledljivost kmetijske suše na obravnavanih lokacijah v prostoru in času v Sloveniji.
- Oblikovati je moč nov kazalec suše, ki bo omogočal natančnejšo oceno kmetijske suše v Sloveniji.
- Spreminja se tipologija in jakost kmetijske suše v Sloveniji.
- Tveganje za kmetijsko sušo se v Sloveniji povečuje.
- Škode zaradi kmetijske suše se povečujejo.
- Zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo zmanjšuje škodo zaradi suše.
- Določitev stopnje tveganja za kmetijsko sušo v izbranih regijah je osnova za prilagajanje na podnebne spremembe.

Delovne hipoteze bomo preverjali s kombinacijo različnih kazalcev suše in večstopenjskim pristopom z uporabo enostavnih kazalcev, ki potrebujejo meteorološke ali agrometeorološke spremenljivke: padavinske kazalce in kazalce, ki združujejo padavine, potencialno evapotranspiracijo (standardiziran padavinski indeks, meteorološka vodna bilanca) ter kompleksnega kazalca, ki vključuje modelske ocene vodne bilance kmetijskih rastlin in upošteva lastnosti in fenologijo rastlin, lastnosti tal in referenčno evapotranspiracijo (model IRRFIB).

Kazalce bomo preverjali z dodatnimi podatki o stanju vode v tleh, podatkih o škodah v kmetijstvu in izpadi pridelka.

Kazalce bomo uporabili pri zaznavanju suše v sušnih letih v Sloveniji v sklopu monitoringa kmetijske suše in identifikaciji stopnje tveganja za kmetijsko sušo na obravnavanih lokacijah. Ugotavljali bomo tudi njihovo spremenljivost in z njimi analizirali glavne sušne dogodke v Sloveniji.

1.3 PRIČAKOVANI REZULTATI IN PRISPEVEK RAZISKAVE K RAZVOJU ZNANOSTI

Zasnova novih kazalcev za kmetijsko sušo je v Sloveniji novost. Objektivni in regionalno primerljiv sistem za indikacijo kmetijske suše bo osnova za trajnostno upravljanje kmetijske suše in njenih posledic na referenčnih točkah v Sloveniji.

V raziskavi bo vzpostavljen koncept za slednje kmetijske suše v Sloveniji. V ta namen bodo zasnovani kazalci kmetijske suše in metodologija za zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo. To lahko pripomore k večji preventivi in s tem manjšim škodam po suši in je tudi osnova za adaptacije na podnebne spremembe.

Uporabljena metodologija in nov kazalec kmetijske suše bosta osnova za raziskovanje kmetijske suše v prihodnosti, saj vsebujeta več informacij kot do zdaj uporabljeni kazalci kmetijske suše v Sloveniji. Te informacije so tudi bolj verodostojne.

Izsledki raziskave bodo tudi strokovna podpora delovanju Centra za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi.

2 GLOBALNA PROBLEMATIKA POMANJKANJA VODE IN SUŠ

2.1 POMANJKANJE VODE IN OSKRBA S HRANO

Voda je naravni kapital in potreben pogoj za preživetje in razvoj človeštva, zdravje ljudi in ekosistemov (OECD work ..., 2012). Voda je eden od naših najdragocenejših naravnih virov. Vse manjša dostopnost in kakovost ter vse večje povpraševanje po sladki vodi nas postavljajo pred velike izzive (Poročilo komisije ..., 2010). Količina vode in njena pojavnost oblika ter časovna razporeditev vplivajo na raznovrstnost naravnih živalskih in rastlinskih vrst ter na življenje ljudi, njihovo blaginjo, življenjske vzorce, ter tudi na človekov odnos do voda in vodnega prostora.

Natančneje lahko pomen vode v grobem razdelimo na štiri primarne funkcije (Šeško, 2008):

- fiziološki pomen – osnova za delovanje organizmov;
- higienski pomen – sredstvo za vzdrževanje higiene;
- ekonomski pomen – uporaba v industriji, prometu, energetiki, kmetijstvu in drugih gospodarskih panogah (na primer oskrba prebivalstva z vodo, energetska neodvisnost gospodarstva, turistično rekreativna funkcija, pridelava kmetijskih rastlin in vzreja živali, transport);
- estetski pomen – naravna lepota vodnih teles, ki v neposredni bližini omogočajo večjo kakovost življenja.

Uvrščamo jo med obnovljive vire, ki se v primeru pretirane uporabe ne more več sprosti obnovljati, zato lahko postane neobnovljiv vir. Po ocenah Razvojnega programa Združenih narodov je za oskrbo ekosistemov in človeštva na voljo okrog 200.000 km³ sladke vode, kar je manj kot 1 % vseh sladkovodnih virov (Human development ..., 2006).

Če bi bile vse zaloge pitne vode enakomerno porazdeljene med globalno populacijo, bi bilo letno na voljo od 5000 do 6000 m³ vode za vsakega Zemljana. Meja, ki določa fizično pomanjkanje vode, je 1700 m³/osebo; globalna ocena sicer kaže na zadovoljivo količino vode na prebivalca. Vendar pravične razporeditve vode ni. Območja z najhujšim pomanjkanjem vode so tista, ki imajo tudi največjo gostoto prebivalcev in nizko dostopnost vodnih virov (Coping with ..., 2007). Ne gre samo za pomanjkanje vode po količini; dodatna težava je njena neenakomerna razporeditev. Vzrok je tudi v premalo razviti infrastrukturi, ki bi omogočala normalno oskrbo z vodo.

Na skromen delež razpoložljive vode na Zemljana pritiska še naraščajoča populacija. Poraba vode v zadnjem stoletju narašča hitreje in trend gre še vedno v isto smer. V zadnjem stoletju se je svetovna populacija početrila, poraba voda se je povečala za sedemkrat (Human development ..., 2006). Projekcije za prihodnost kažejo, da se bo vzorec porabe vode še spreminjal. Do leta 2050 bo potrebne 60 % več hrane za zadostitev potreb več kot 9 milijard ljudi, do 100 % več v državah v razvoju (Water and food ..., 2012).

Pomemben element intenzivnejše rabe vode je tudi dejstvo, da se je kar 5 milijard ljudi v zadnjih dveh desetletjih izklopalo iz revščine, to vpliva na razporeditev svetovnega blagostanja (Managing water ..., 2009).

Vzrok vse večje porabe vode je tudi dejstvo, da je svetovno prebivalstvo postalo bolj urbano kot ruralno. Življenje v mestih se je v marsičem odmaknilo od načel trajnostnega razvoja in s seboj prinaša številne težave, povezane z zagotavljanjem kakovostne pitne vode. Danes v mestih živi več kot polovica svetovnega prebivalstva. Na svetu je kar 19 mest z več kot 10 milijoni prebivalcev, 22 mest s 5 do 10 milijoni prebivalcev in 370 mest z 1 do 5 milijoni prebivalcev. Države Evropske unije so z 80 % urbanega prebivalstva najbolj urbanizirani del sveta, vendar imajo tudi razmeroma veliko srednjih in majhnih mest (22. marec, svetovni dan ..., 2011). Pogostokrat je vzrok za krizo vodnih virov poleg pomanjkanja ali nerazvitosti infrastrukture tudi napačno upravljanje vodnih virov.

Kakovost življenja je neposredno odvisna od kakovosti vode. Dobra kakovost vode vzdržuje zdrave ekosisteme in posledično vodi k večji blaginji človeštva. Slaba kakovost vode nasprotno slabo vpliva na okolje in na človekovo življenje. Bolezni, ki se prenašajo z vodo, na primer povzročijo več kakor 1,5 milijona otroških smrti na leto. Kakovost vodnih virov je vse bolj ogrožena zaradi onesnaženja. Človekova dejavnost v preteklih 50 letih je vzrok onesnaženja vodnih virov, kakršnega v zgodovini še ni bilo. Po sedanjih ocenah več kakor 2,5 milijarde ljudi po svetu ne živi v ustreznih zdravstvenih in higienskih razmerah.

Linearni gospodarski razvoj, zasnovan na predpostavki možnosti trajne količinske gospodarske rasti in povečevanja dobička, je v celotni zgodovini človeštva povzročal okoljske poškodbe in degradirano okolje. Izčrpavanje naravnih virov je povratno negativno vplivalo na gospodarstvo in kakovost življenja (Plut, 2008).

Pomanjkanje vode je lahko poglavitni vzrok lakote in podhranjenosti, še zlasti na območjih, na katerih so ljudje odvisni od lokalnega kmetijstva oziroma pridelave hrane in prihodka. Neredne padavine in sezonske razlike v razpoložljivosti vode lahko povzročijo začasno pomanjkanje hrane. Poplave in suše lahko privedejo do izrednih stanj v preskrbi s hrano. Podhranjena je skoraj 1 milijarda ljudi, 0,9 milijarde jih nima dostopa do neoporečne vode, 1,5 milijarde ljudi nima nikakršnega vira električne energije (The 2011/2012 ..., 2012). Zaradi rasti svetovnega prebivalstva in svetovne gospodarske rasti se pritiski na naravne vire še stopnjujejo. Povpraševanje po energiji in vodi naj bi se v primerjavi s sedanjimi razmerami do leta 2030 povečalo za 40 %, po hrani za 50 %. V povezanem svetu se ti pritiski še povečajo, kadar rešitve za omejenost virov na enem območju povzročajo dodatne obremenitve na drugem. Število kronično podhranjenih ljudi v deželah v razvoju se je začelo povečevati v devetdesetih letih prejšnjega stoletja; v obdobju 2001–2003 je bilo na svetu 854 milijonov nezadostno prehranjenega prebivalstva (Burke in Kuylenstierna, 2009).

Pomanjkanje vode ni samo fizičen pojav. Pomanjkanje vode je funkcija oskrbe in porabe. Je posledica čezmerne rabe dostopnih vodnih virov. Kar 1,4 milijarde ljudi živi na porečjih, kjer je poraba preseгла obnovo vodnih zalog; v nekaterih državah Srednjega vzhoda je odvzem za petkrat presegel letno napajanje vodnih zalog (Managing water ..., 2009). Obstajata dve definiciji vodnega stresa:

- prva določa mejo fizične dostopnosti vode, ki je 1700 m³/osebo/leto v državi/regiji; pod njo se povečuje vodni stres in doseže stopnjo pomanjkanja pri 1100 m³/osebo (severna Kitajska ima le 757 m³/osebo) in absolutno pomanjkanje vode pod 500 m³/osebo (Palestina ima 320 m³/osebo) (Managing water ..., 2009);
- druga upošteva tudi raznolikost ekonomskega, geografskega in kulturnega okolja (Human development ..., 2006) in predstavlja razmerje med skupnim odvzemom in letno dostopnostjo vode. Organizacija za gospodarsko sodelovanje in razvoj (OECD) uporablja kazalec vodnega stresa, ki je določen kot razmerje med skupno rabo vode in obnovljivo vodno oskrbo, ki upošteva naslednje meje zgornjega razmerja: pod 10 % je vodni stres nizek, med 10 in 20 % je zmeren vodni stres, nad 20 % srednji vodni stres, nad 40 % je visok vodni stres.

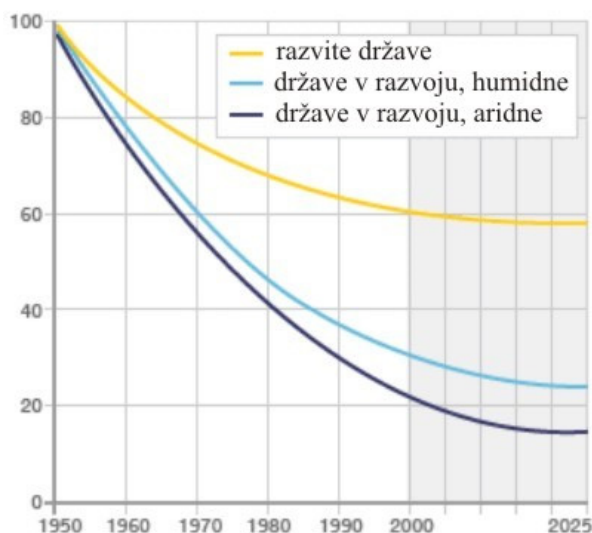
Do fizičnega pomanjkanja vode na lokalni ravni prihaja v delih Kitajske, Indije, Bližnjega vzhoda in Podsaharske Afrike. Pomanjkanje vode na Kitajskem ustvarja stroške, ki dosegajo približno 2,3 % BDP. Če ne bo vlaganj v razvoj vodnih virov, bo to lahko povzročilo velike stroške v prihodnosti. Tudi Afrika izgubi do 25 % BDP zaradi suš in poplav v prizadetih državah (The 2011/2012 ..., 2012).

Razlike v dostopnosti vode znotraj posameznih regij in med njimi nakazuje drug del problema – porazdelitev vodnih virov. Na primer: z 31 % globalnih zalog sladke vode ima Latinska Amerika 12-krat več vode na osebo kot južna Azija (Human development ..., 2006). Naslednji pomemben element pri pomanjkanju vode je čas oskrbe. Za države, katerih vodna oskrba je odvisna od monsumov ali kratkotrajnih deževnih obdobij, ko na primer večji del Azije dobi skoraj 90 % letnih padavin v manj kot 100 urah, kar pomeni tveganje kratkih, intenzivnih poplav v nekaterih delih leta ali podaljšanih suš v preostalem delu leta. Dejanska dostopnost do vode med letom je odvisna ne le od količine padavin, pač pa tudi od kapacitete shranjevanja. Poleg vprašanj razporeditve vode se v državah zelo razlikuje količina vode, ki jo potrebujejo za volumen proizvoda, za upravljanje okolja in za porabo prebivalstva.

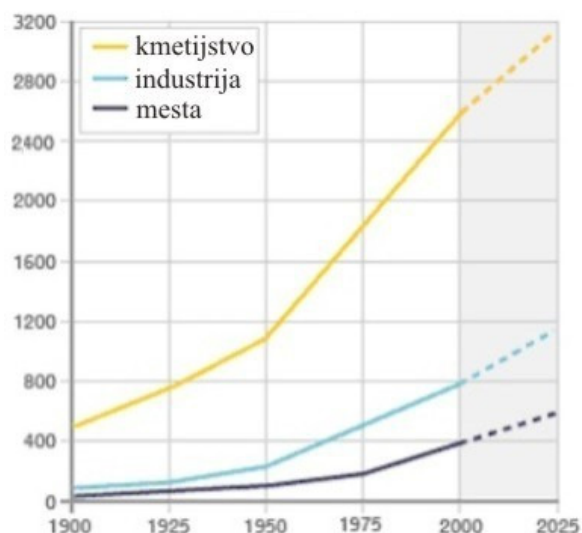
Znamenja pomanjkanja vode so med drugim tudi hujše poslabšanje okolja, zniževanje ravni podtalnice in vse večje težave s porazdelitvijo vode. S pomanjkanjem vode se že srečuje tretjina prebivalstva (Comprehensive assessment ..., 2007).

Neravnovesja med razpoložljivostjo vode in povpraševanjem po njej, slabšanje kakovosti podtalnice in površinskih voda, konkurenca med sektorji ter medregionalni in mednarodni spori nakazujejo, da je o vodi treba razpravljati (Coping with ..., 2007). Splošna dostopnost vode na osebo značilno pada po letu 1950 (Human development ..., 2006). Najslabša je situacija v državah v razvoju, še posebno v aridnih predelih (slika 2). V letu 2007 je človeštvo prvič postalo bolj urbano kot ruralno (Burke in Kuylenstierna, 2009). Trendi kažejo, da se bo urbana populacija do leta 2050 podvojila. Kot se večata urbanizacija in rast industrije, tako raste tudi raba vode v industriji in urbana raba (slika 3). Z naraščanjem svetovnega prebivalstva bo vedno več ljudi potrebovalo vodo za pridelavo hrane, industrijskih rastlin ter za živino in ribe. Pogled v prihodnost kaže, da se bo spremenil vzorec potrebe po vodi. Iz tega izhajata dve pomembni posledici. Prvič, odvzem vode v državah v razvoju se bo do leta 2025 povečal za 27 % glede na leto 1990. Obratno je s trendi v bogatih državah. V Združenih državah Amerike je raba vode nižja kot pred

tridesetimi leti, čeprav se je populacija povečala za 40 milijonov. Drugič, razporeditev vode se bo spremenila iz porabe vode v kmetijstvu v rabo vode v industriji in urbano rabo. Projekcije kažejo na padec globalnega deleža namakanega kmetijstva na 75 % do leta 2025 (Human development ..., 2006).



Slika 2: Upadanje dostopnosti vode. Izraženo kot indeks dostopnosti vode na prebivalca (leto 1950 = 100) (Human development ..., 2006: 136).
Figure 2: Water availability in decline. Expressed as water availability index per capita (year 1950 = 100) (Human development ..., 2006: 136).



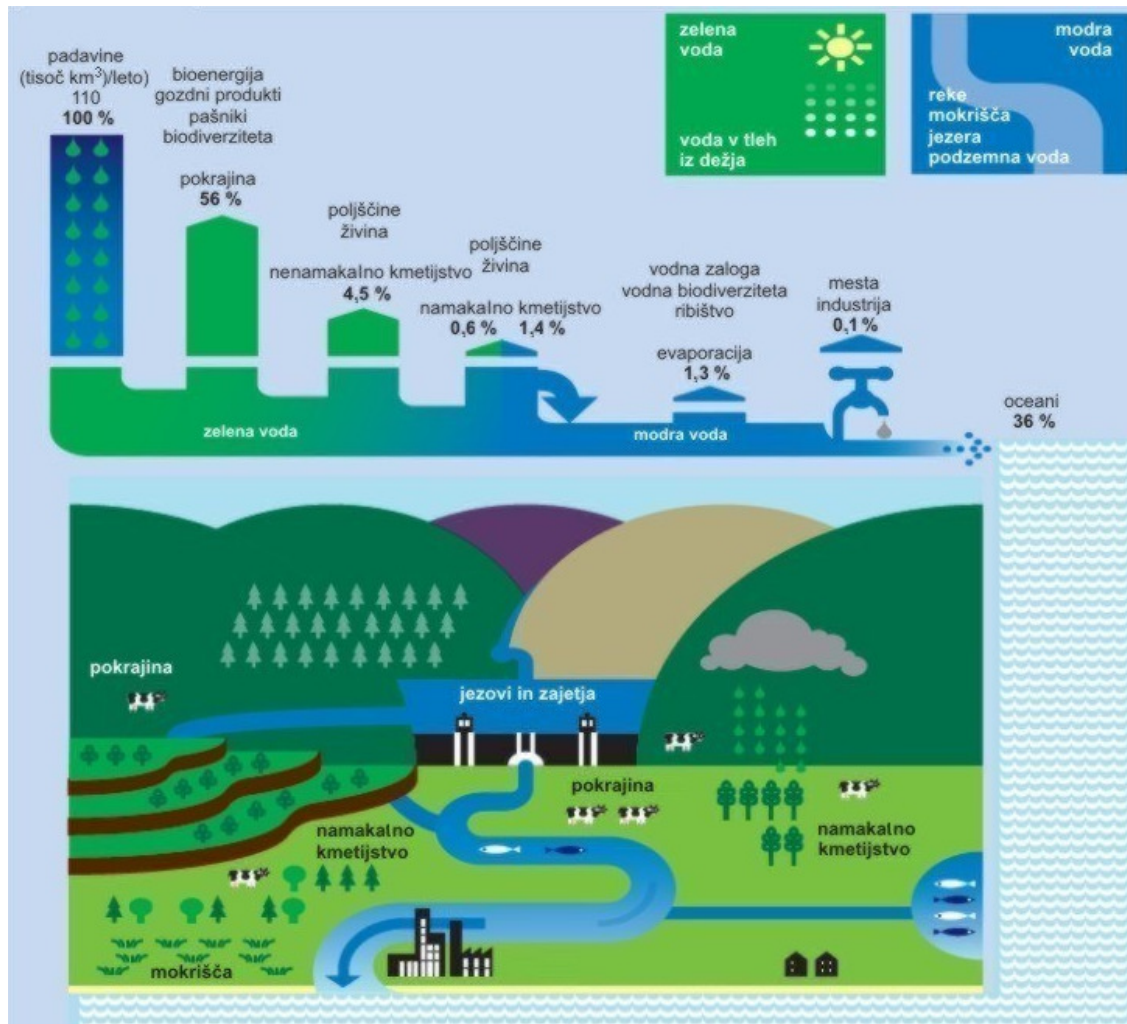
Slika 3: Sektorski odvzem vode v km³/leto (Human development ..., 2006: 138).
Figure 3: Sectoral water withdrawals in km³/year (Human development ..., 2006: 138).

Rast populacije bo povečala porabo namakalne vode za pridelavo hrane. Do leta 2025 bo na svetu okrog 8 milijard ljudi. Največja rast prebivalstva se pričakuje v deželah, kjer prebivalci porabijo manj vode, a se bo to z razvojnimi trendom povečevalo. Poleg tega te dežele nosijo breme nebrzdane industrializacije in urbanizacije (Human development ..., 2006).

Pomanjkanje vode ključno vpliva na pridelavo hrane. Na globalni ravni je kmetijstvo največji porabnik vode. Porabi kar 70 % globalne vode, v državah v razvoju je delež celo do 95 % (Water at FAO ..., 2009; Coping with ..., 2007). Medtem ko se je dostopnost vode za kmetijstvo v sedemdesetih letih v razvitejših državah stabilizirala, se trend upadanja v državah v razvoju nadaljuje, še posebno v aridnih predelih. Čedalje večje pomanjkanje vode bi lahko pripeljalo do letnih izgub žita, ki bi dosegle 30 % sedanje pridelave. Po projekcijah UNDP bodo svetovni kmetijski sistemi morali dodatno nahraniti 2,4 milijarde ljudi. Po ocenah Združenih narodov se bo zaradi naraščajoče potrebe po hrani v naslednjih tridesetih letih poraba vode za kmetijstvo povečala za 14 % (Climate change ..., 2007).

Glavni globalni vir vode so padavine, ki pomenijo 110.000 km³ vode/leto (Comprehensive assessment ..., 2007). Padavine, ki napajajo vodotoke in polnijo podtalnico, so obnovljiv

vir v nacionalnem »vodnem« računu. V literaturi to pogosto omenjajo kot »modro vodo«, ki zavzema okrog 40 % skupnih padavin (slika 4). Preostala t. i. »zelena voda« ne pride do rek, pač pa napaja tla, izhlapeva iz tal in rastlin. To je tudi vir, ki ohranja kmetijstvo brez namakanja; takega kmetijstva je največ na svetu.



Slika 4: Raba vode v kmetijstvu z namakanjem in brez namakanja (Comprehensive assessment ..., 2007: 6).
Figure 4: Water use in rainfed and irrigated agriculture (Comprehensive assessment ..., 2007: 6).

Glavni globalni vir vode so padavine (110.000 km³/leto). Puščice pomenijo velikost porabe vode, izraženo v odstotkih skupnih padavin, in vrsto rabe vode. Na primer: 56 % »zelene vode« (tj. vode iz padavin) izhlapi iz različnih tipov površja; 4,5 % vode izhlapi iz nenamakanih kmetijskih površin. Globalno okrog 39 % padavin (43.500 km³) prispeva k »modri vodi« (tj. vodi v vodnih virih). Od skupne »modre vode« predstavlja odvzem okrog 9 % tj. 3800 km³; 70 % od tega je namakanje (2700 km³). Skupna evapotranspiracija iz namakanja je 2.200 km³ vode (2 % padavin), od tega 650 km³ neposredno iz padavin, preostanek pa iz namakalne vode. Industrija in urbana raba predstavljata odvzem 1.200 km³ vode; od tega vrneta v vodne vire 90 % vode, največkrat slabše kakovosti. Preostali delež odteka v morje. Raznolikost porečij je zelo velika.

V aridnih območjih, kot so osrednja Azija, Srednji vzhod in zahodne Združene države Amerike, kmetijska pridelava temelji na namakanju. Namakalne površine se povečujejo tudi v južni in vzhodni Aziji, nekoliko manj v Latinski Ameriki, najmanj pa v podsaharski Afriki.

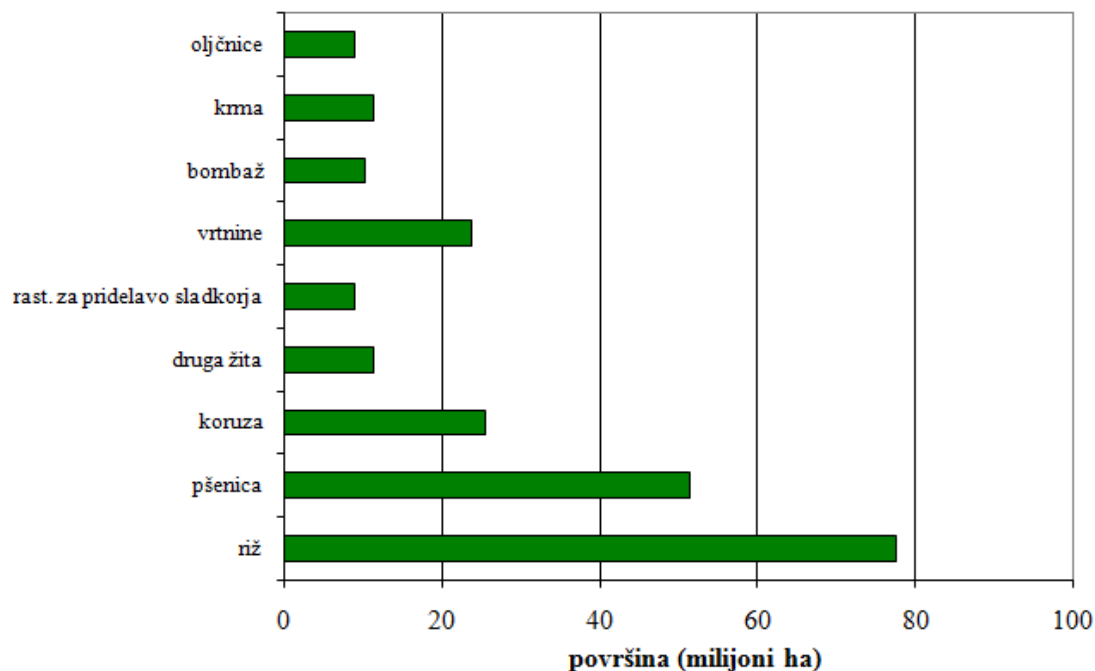
Okvirno 60 % globalne pridelave hrane izvira iz nenamakane kmetijske pridelave (Burke in Kuylentierna, 2009; Water and Food ..., 2012). Preostalih 40 % hrane pa je pridelano iz namakane kmetijske pridelave na 20 % svetovnih pridelovalnih površin (slika 5).

Tudi v številnih razvitih državah je dostopnost vode za kmetijstvo že omejena in negotova, stanje pa se še poslabšuje. V državah OECD je odvzem vode v kmetijstvu okrog 44 %; v šestih državah te skupnosti se je že povzpел na več kot 60 %. V državah BRIC (Brazilija, Ruska federacija, Indija in Kitajska) kmetijstvo predstavlja 74 % odvzema vode, s sicer širokim razponom od 20 % v Ruski federaciji do 87 % v Indiji (OECD work ..., 2012).

Globalno so pridelki v kmetijstvu z namakanjem za okoli 2,7-krat večji kot v kmetijstvu brez namakanja, zato bo postalo namakanje zelo pomembno za pridelavo hrane. Površina, ki je opremljena za namakanje, se je od leta 1970 iz 170 milijonov ha povečala na 304 milijone ha v letu 2008. Globalno je 38 % teh površin opremljenih za namakanje s podzemno vodo. Skupna poraba vode za namakanje je 545 km³ na leto oziroma 43 % skupne porabe vode za namakanje (1277 km³ na leto). Države, kjer je največji delež območij opremljenih z namakalnimi sistemi iz podzemne vode, so Indija (39 milijonov ha), Kitajska (19 milijonov ha) in Združene države Amerike (17 milijonov ha). Namakanje s podzemno vodo narašča tako v absolutnem smislu kot tudi v deležu skupnih namakanih površin, kar marsikje že vpliva na koncentracijo uporabnikov, ki posegajo po podzemni vodi do mere, ki presega obnavljanje njenih zalog (Siebert in sod., 2010).

Potencial povečanja namakanih površin je opazen tudi v Saharski Afriki in Južni Ameriki, povsod, kjer je dostopnost vode zadovoljiva. Natančno in ustrezno upravljanje vode v kmetijstvu poveča produktivnost.

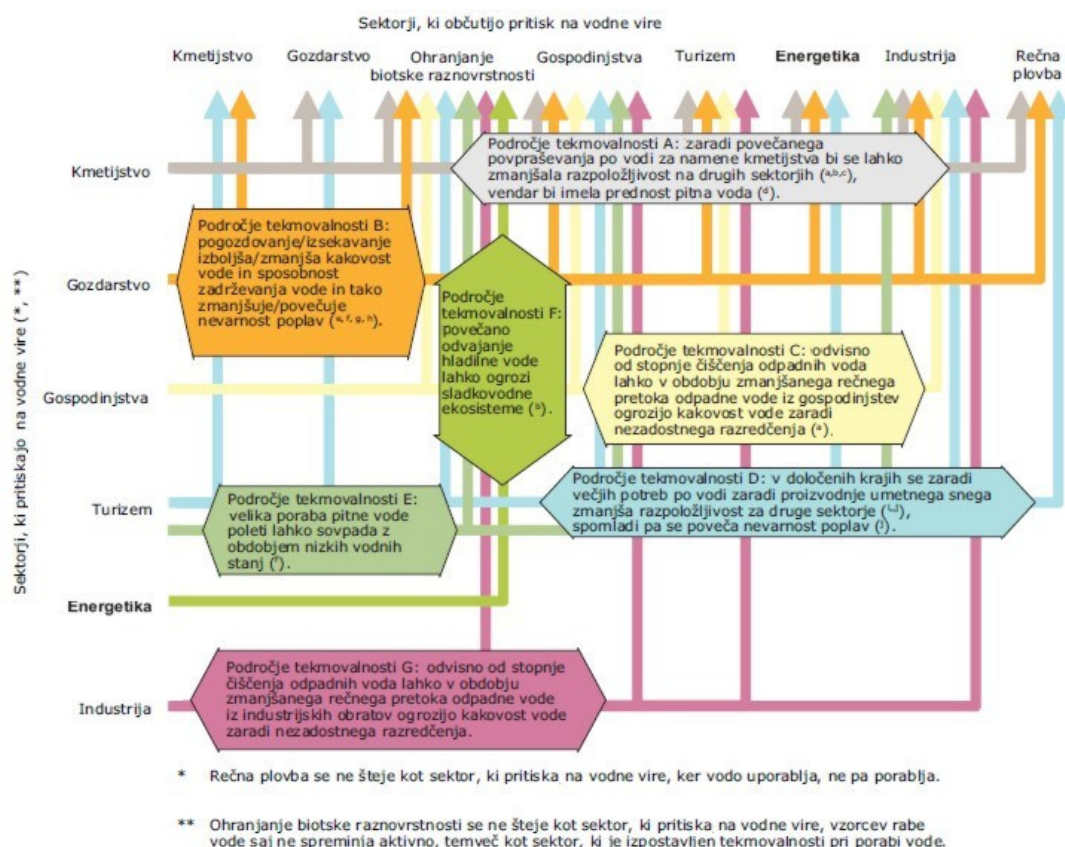
Čeprav potencial za povečanje namakanih površin obstaja, se pojavljajo tudi druge težave kot so degradacija tal (5 do 7 milijonov ha/0,6 % kmetijskih zemljišč letno izgubimo zaradi povečane degradacije tal in urbanizacije). Tudi povečevanje populacije pomeni, da se je površina obdelovalnih površin globalno na osebo zmanjšala s 0,4 ha leta 1961 na 0,2 ha leta 2005 (Managing water ..., 2012).



Slika 5: Razporeditev namakanih površin v svetu (v milijonih ha). Povzeto po ocenah FAO za 230 milijonov ha v 100 državah (Burke in Kuylenstierna, 2009: 5).

Figure 5: Distribution of crops under irrigation in the world (million ha). Source: FAO estimates based on data and information for 230 million ha in 100 countries (Burke and Kuylenstierna, 2009: 5).

Kmetijstvo je pomemben del evropske ekonomije in rabe tal, še posebno v nekaterih državah. Vse plati kmetijske proizvodnje pa zahtevajo vodo. Kmetijska proizvodnja je razdeljena glede na tri tipe rabe vode: namakanje pridelovalnih površin, vzrejo živali in procese v kmetijski pridelavi. V Evropi je kmetijstvo pomemben porabnik vodnih virov, še posebno za namakanje (24 %) (Bio intelligence, 2012). Vpliv namakanja se razlikuje med državami in regijami, odvisno od podnebnih razmer in rabe tal. Obseg in pomen namakanja sta večja v južni Evropi, v severni Evropi pa sta zanemarljiva. Poraba vode za kmetijstvo, predvsem namakanje, je v južni Evropi povprečno štirikrat večja na hektar namakane zemlje kakor drugje in lahko doseže do 80 % v delih južne Evrope. V številnih predelih južne Evrope je namreč namakanje že dolgoletna praksa in je osnova ekonomske in socialne aktivnosti. V aridnih in semiaridnih predelih Evrope, kamor sodijo Francija, Grčija, Italija, Portugalska, Ciper in Španija namakanje omogoča kmetijsko pridelavo, saj bi bila voda v teh regijah brez namakanja omejevalni dejavnik. V bolj humidnih oziroma zmernih podnebnih regijah namakanje omogoča regulacijo sezonske variabilnosti padavin. Na ta način so škode zaradi suše manjše in kmetijska pridelava je bolj stabilna. Glede na to, da je voda omejevalni dejavnik za kmetijsko pridelavo v nekaterih regijah Evrope, pomanjkanje namakanja lahko potencialno vodi do opuščanja zemljišč zaradi ekonomskih škod. Južnoevropske države porabijo največ odvzete vode za kmetijstvo, kar na splošno znaša več kot dve tretjini celotnega odvzema. Namakanje je najpomembnejša raba vode v kmetijskem sektorju v teh državah. Srednjeevropske in nordijske države porabijo največji delež odvzete vode za hlajenje pri pridobivanju energije, v industrijski proizvodnji in za javno vodooskrbo (Towards efficient ..., 2012).



Viri: a) OcCC/ProClim, 2007; b) BUWAL in BWG, 2004; c) Oleson in sod., 2005; d) Wilibanks in sod., 2007; e) IPCC, 2008; f) Leipprand in sod., 2007; g) Anderson in sod., 2008; h) Giller in O'Holloran, 2004; i) OECD, 2007; j) Teich in sod., 2007; k) de Jong, 2008.

* Rečna plovba se ne šteje kot sektor, ki pritiska na vodne vire, ker vodo uporablja, ne pa porablja.

** Ohranjanje biotske raznovrstnosti se ne šteje kot sektor, ki pritiska na vodne vire, saj ne spreminja aktivno vzorcev rabe vode, temveč kot sektor, ki je izpostavljen tekmovalnosti pri porabi vode.

Slika 6: Področja potencialne medsektorske tekmovalnosti pri porabi vode, ki so pomembna za prilagajanje na podnebne spremembe (Regionalne podnebne ..., 2009: 11).

Figure 6: Fields of potential cross-sectoral water competition relevant for adaptation to climate change (Regionalne podnebne ... 2009: 11).

Za pridelavo zadostne količine hrane za pokritje dnevne porabe človeka potrebujemo 3000 litrov vode (Svetovni dan ..., 2007). Osrednja točka razprave o pomanjkanju vode so načini, kakšno vodo potrebujemo in kako jo uporabljamo. Vendar je najpomembnejša tista voda, ki proizvaja našo hrano. Poljedelstvo je sektor z daleč največjo porabo vode. Poraba vode se razlikuje tudi po porabi na enoto prehranskega proizvoda. V zadnjem času je vse bolj v veljavi t. i. vodni odtis, ki je definiran kot količina vode, ki jo porabimo za pridelavo kmetijskega pridelka v vegetacijski sezoni (Hoekstra in Chapagain, 2007).

Za pridelavo 1 kg pšenice potrebujemo 1500 litrov vode in 10-krat večjo količino za pridelavo 1 kg govedine. Znotraj EU največ namakanih površin zavzemajo sadovnjaki in vrtovi, rastlinjaki ter polja z vrtninami. Krompir je glavna namakana kultura v severni Evropi, v južni Evropi pa koruza za zrnje. V letih 1990–2000 se je površina namakanih glavnih poljščin, ki se namakajo vsaj enkrat letno, v Franciji, Grčiji in Španiji povečala s 4,9 milijona ha na 6,0 milijonov ha, kar pomeni povečanje za 23,1 %. Površina namakane

koruze se je v tem obdobju povečala za 0,3 milijone ha, v glavnem v Franciji in Španiji (IRENA indicator ..., 2010).

Vodni viri so sami po sebi interdisciplinarno vprašanje, ki zadeva skoraj vse družbeno-ekonomske sektorje. Shema najpomembnejše trenutne in pričakovane tekmovalnosti različnih sektorjev po porabi vode v alpskem prostoru se spreminja. Ločeni so sektorji, ki pritiskajo na vodne vire (glede kakovosti in količine), in sektorji, ki ta pritisk občutijo (Regionalne podnebne ..., 2009). Shema se lokalno lahko spreminja. Pomanjkanje vode in suše še zdaleč niso le predmet vodnega gospodarstva, pač pa imajo direkten vpliv tudi na druge sektorje (slika 6). Zaradi ogromnih posledic pomanjkanja vode in pojava suše ne moremo več obravnavati samo kot lokalni pojav, temveč kot globalnega, saj vplivata na številne gospodarske sektorje. Prihaja tudi do medsektorske tekmovalnosti za vodne vire.

2.2 GLOBALNI POGLED NA INTENZIVNOST, TRAJANJE IN PROSTORSKO RAZŠIRJENOST SUŠE

Sušo določajo trije glavni koncepti: intenzivnost, trajanje in prostorska razširjenost. Po definiciji IPCC (Special report ..., 2012) je suša na splošno obdobje nenormalno sušnega vremena, ki traja dovolj dolgo, da sproži resno hidrološko neravnovesje. Pojavlja se v regijah z veliko in majhno količino padavin ter je povezana z zmanjšanjem količine padavin v daljšem obdobju, kot je sezona ali leto (Mishra in Sing, 2010).

Obstaja velika negotovost glede opazovanih trendov suše na globalni ravni. Nedvomno je velika variabilnost med kontinenti in regijami. To dokazujejo ocene številnih študij na globalni, kontinentalni in regionalni ravni, ki preučujejo spremembe hidrometeoroloških suš in spremenljivk, ki vplivajo na njihovo pojavnost (Lloyd-Hughes in Saunders, 2002; Kiktev in sod., 2003; Haylock in Goodess, 2004; Lehner in sod., 2006; Andreadis in Lettenmaier, 2006; Alexander in sod., 2006; Van der Schrier in sod., 2006a, 2006b, 2007; Jansen in sod., 2007; Sinha in sod., 2007; Vicente-Serrano in Cuadrat-Prats, 2007; Sheffield in Wood, 2008; Bordi in Sutera, 2007, 2012; Nicholls, 2004; Mishra in Cherkauer, 2010; MacDonald, 2010; Dai in sod., 2004; Dai, 2011, 2012; Liu in sod., 2011; Ljubenkova in Bonacci, 2011).

S srednjo stopnjo zaupanja¹ je dokazano, da so bile suše v tem stoletju v nekaterih sezonah in območjih intenzivnejše zaradi manjše količine padavin in/ali povečane evapotranspiracije. To velja za regije južne Evrope in Mediterana (preglednica 2), osrednjega dela Severne Amerike, Srednje Amerike in Mehike, severnega dela Brazilije in južne Afrike. Zaupanje v opazovane trende je omejeno zaradi klasifikacije in meritev suše, pomanjkanja direktnih opazovanj, geografske nekonsistence v trendih in omejenosti modelov za vključevanje vseh dejavnikov, ki vplivajo na sušo.

¹ Za ocene s srednjo stopnjo je določena smer spremembe, vendar brez ocene verjetnosti.

Preglednica 2: Regionalne opazovane spremembe sušnosti od leta 1950, z uporabo referenčnih vrednosti 20. stoletja, na splošno 1961–1990 v Evropi (Special report ..., 2012: 192).

Table 2: Regional observed changes in dryness, since 1950, and using late 20th-century values as reference, generally 1961–1990, in Europe (Special report ..., 2012: 192).

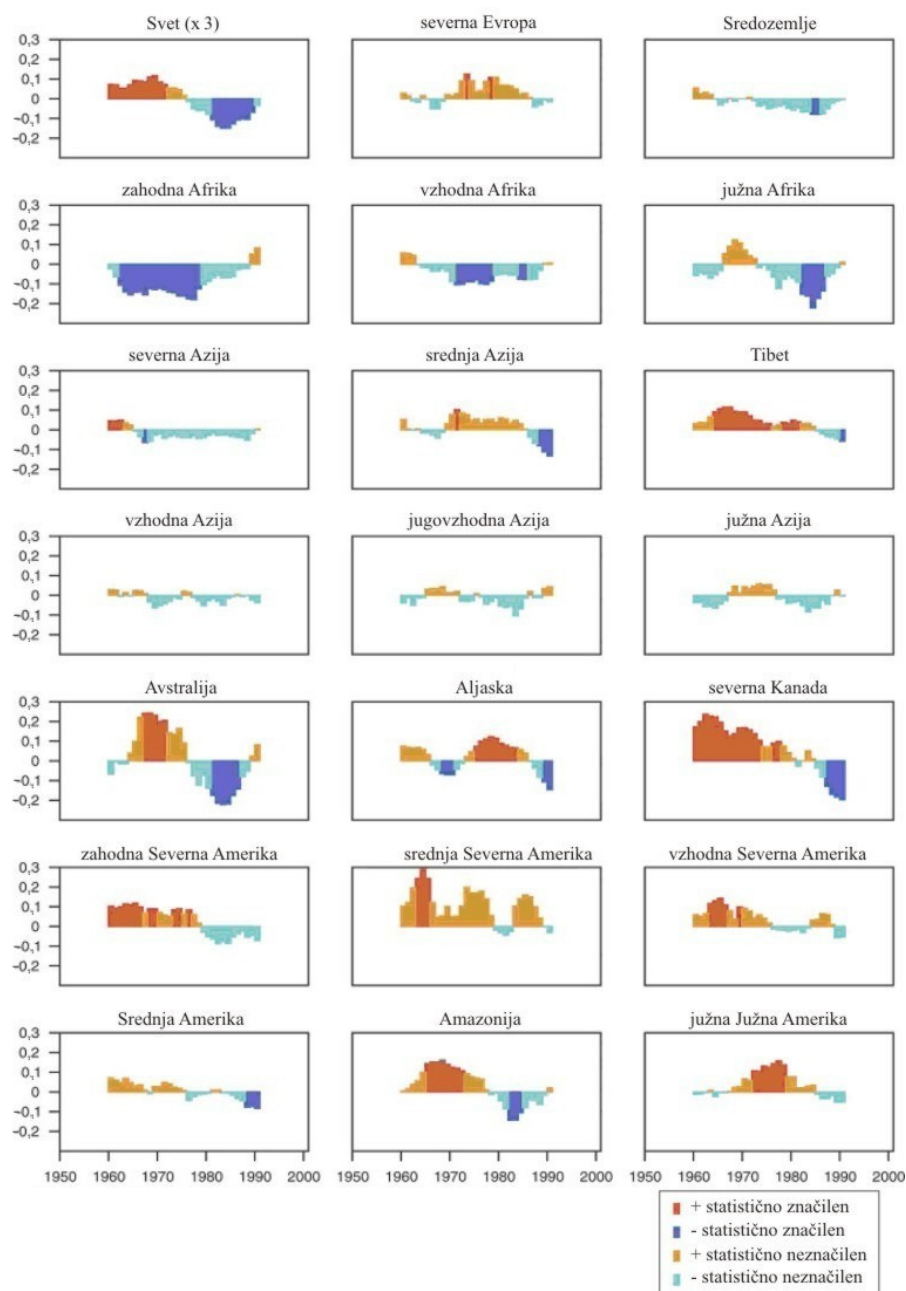
Evropa in Mediteran	Nekonsistentni trendi (srednja stopnja zaupanja). Povečanje sušnosti (SMA, PDSI, CDD*) v delu regije; drugod neznatne, nekonsistentne spremembe ali brez sprememb. Najbolj konsistenten signal za povečanje sušnosti v osrednji in južni Evropi (Kiktev in sod., 2003; Haylock in Goodess, 2004; Alexander in sod., 2006; Sheffield in Wood, 2008; Dai, 2011).
Severna Evropa	Prostorsko variabilni trendi (srednja stopnja zaupanja). Splošno rahel trend ali brez povečanja sušnosti (SMA, PDSI, CDD), ponekod rahlo zmanjšanje sušnosti (Kiktev in sod., 2003; Alexander in sod., 2006; Sheffield in Wood, 2008; Dai, 2011).
Osrednja Evropa	Prostorsko raznoliki trendi (srednja stopnja zaupanja). Povečanje sušnosti (SMA, PDSI, CDD) v delu regije z regijskimi odstopanji v trendih sušnosti in odvisnost trendov od upoštevanih študij (Kiktev in sod., 2003; Alexander in sod., 2006; Bartholy in Pongrácz, 2007; Sheffield in Wood, 2008; Brázdil in sod., 2009; Dai, 2011).
Južna Evropa in Mediteran	Splošno povečanje sušnosti (SMA, PDSI, CDD), toda delno odvisno od indeksa ali izbranega obdobja (srednja stopnja zaupanja) (Kiktev in sod., 2003; Alexander in sod., 2006; Sheffield in Wood, 2008; Dai, 2011).

* Legenda:

CDD zaporedni suhi dnevi
SMA anomalije simulirane vode v tleh
PDSI Palmerjev indeks jakosti suše

Poleg tega IPCC (Special report ..., 2012) ugotavlja, da opazovanja od leta 1950 kažejo na spremembe dnevni temperaturnih ekstremov in vročinskih valov, ki sta tudi gonilni spremenljivki za pojav suše. Na globalni ravni obstaja velika verjetnost, da se bo povečala pogostnost toplih ekstremov in zmanjšala pogostnost hladnih ekstremov. Zelo verjetno, z 90- do 100-odstotno verjetnostjo IPCC ugotavlja, da bodo vročinski valovi daljši, pogostejši in/ali močnejši v večjem delu kopnega. Dai in sod. (2004) so v raziskavi s pomočjo Palmerjevega indeksa jakosti suše (PDSI) ugotovili, da se je globalna aridnost od leta 1970 dalje očitno povečala zaradi sušnega signala v Afriki, južni Evropi, vzhodni in južni Aziji ter vzhodni Avstraliji. V zadnjih treh desetletjih obstaja tendenca k večjim ekstremom. Zelo sušna globalna območja so se povečala z 12 % na 30 % od leta 1970, z močnim skokom v začetku osemdesetih let, ker je El Niño povzročil zmanjšanje padavin in poznejše segrevanje površine. Zelo mokra območja so se krčila postopno. Na drugi strani sta Sheffield in Wood (2008) ugotovila veliko regijsko variabilnost trendov. Trend sušnosti v nekaterih regijah ob koncu 20. stoletja pripisujeta višjim temperaturam zraka, povečani evaporaciji in, v posameznih regijah, tudi zgodnejšemu taljenju snega (slika 7).

Dai (2011) je s podaljšanjem niza na obdobje 1950–2008 ugotovil povečano prostorsko razširjenost suše z različnimi verzijami PDSI in podatki o vodi v tleh iz modelov zemeljskega površja – LSM (1948–2004). Kar nekaj študij v različnih časovnih okvirih ugotavlja pogostejši pojav suše v nekaterih regijah (na primer Evropi).



Slika 7: Trendi v povprečni regijski količini vode v tleh za 21-letno tekoče povprečje (okno). Os x predstavlja povprečno obdobje za izračun trenda. Trendi, ki so statistično značilni pri stopnji 0,05, so osenčeni v temnejših odtenkih barv. Pozitivni (negativni) trendi so obarvani v toplih (hladnih) barvah. Vrednosti za »svet« so pomnožene s 3 zaradi lažjega prikaza (Sheffield in Wood, 2008: 449).

Figure 7: Trends in regional average soil moisture for a 21-year moving window. The x axis indicates the middle dateover which the trend is calculated. Trends that are significant at the 0.05 level are shaded in darker colors. Positive (negative) trend values are shaded in warm (cool) colors. The values for "world" have been multiplied by 3 for ease of visualization (Sheffield and Wood, 2008: 449).

Vse štiri oblike PDSI v tej študiji kažejo na razširjenost sušnosti v Afriki, vzhodni in južni Aziji in preostalih regijah, zajetih v študijo od leta 1950 do 2008. Študija ocenjuje porast globalnih sušnih območij za 1,74 % na desetletje. Uporaba Penman-Monteithove metode za izračun evapotranspiracije in kalibrirane verzije PDSI rahlo zmanjša trend povečevanja

sušnosti glede na študijo z originalnim PDSI. Trendi so primerljivi s simulirano vodo v tleh z drugimi modeli (Sheffield and Wood, 2008).

Intenzivnost suše je lastnost, ki jo definirajo padavine, voda v tleh in talni vodni rezervoar ter primanjkljaj. Suša lahko traja od nekaj mesecev do nekaj let, ekstremne suše (mega-suše) lahko trajajo desetletja. Hude suše pa lahko povzročijo že krajša sušna obdobja. Mile suše navadno obsegajo manjša območja, ekstremne in intenzivne suše pa lahko zajamejo večja območja (Archive. U.S. Drought ..., 2012).

Rekonstrukcije PDSI z letnicami drevesa *Cedrus atlantica* za Maroko so uvrstile suše poznega 20. stoletja kot izjemne v okviru zadnjih 500 let, so pa bolj tipične, če se povežejo z razmerami pred letom 1400. Podobne gradacije suše so bile evidentirane v srednjem veku v subtropih (Esper in sod., 2007).

Povečanje jakosti in trajanja poletnih suš v Evropi od leta 1980 dalje potrjujejo tudi Briffa in sod. (2009). Povečanje suš ugotavljajo tudi Brázdil in sod. (2009) za Češko republiko, Mavromatis (2007) za Grčijo ter Vicente-Serrano in sod. (2010) za izbrane lokacije v svetu. Trend povečevanja sušnih območij na Mediteranu ni le posledica zmanjševanja padavin, ampak tudi povišane temperature in posledično večje evaporacije (Xoplaki in sod., 2006).

Alcamo in sod. (2007) ugotavljajo, da bo lahko manjšo letino poljščin v nekaterih predelih Rusije kompenziral večji pridelek v drugih predelih. Rezultati njihove študije kažejo, da se lahko pogostnost izpadov pridelka podvoji v številnih glavnih območjih pridelovanja poljščin do leta 2020 in potroji do leta 2070. Njihove ugotovitve so prenosljive tudi na druge regije – če vplivi povprečnih sprememb na sektor kmetijstva niso značilni, lahko vplivi izrednih podnebnih dogodkov na isti sektor popolnoma spremenijo ugotovitve. Čeprav dostopnost vode v Rusiji v povprečju narašča, modeli vodnih virov napovedujejo pogostejše odtokove na jugu in značilno povečanje pogostnosti večjih odtokov v večjem delu osrednje Rusije, kjer so suše pogostejše. V osrednji Rusiji so bile v 20. stoletju suše beležene v letih 1920, 1924, 1936, 1946, 1972, 1979, 1981 in 1984. Na jugu so se suše pojavljale v letih 1901, 1906, 1921 (slika 8), 1939, 1948, 1951, 1957, 1975 in 1995 in na vzhodu 1911, 1931, 1963, 1965 in 1991 (Post 1900 ..., 2012).

Zadnja obsežnejša lakota v bivši Sovjetski zvezi je bila leta 1947. Pojavila se je kot kumulativni vpliv posledic kolektivizma, vojne in hude suše v letu 1946 na več kot 50 % območja s pridelavo žita v državi, neprimerne vladne socialne politike ter napačnega upravljanja suše. Suša leta 1963 je povzročila paničen zakol živine, kljub temu da tveganje lakote ni obstajalo. Po tem letu je Sovjetska zveza začela uvažati več zrnja za živino (Post 1900 ..., 2012).

Od leta 1961 imajo kmetijske površine z glavnimi svetovnimi poljščinami vse več težav s sušo. Površina območij, prizadetih zaradi suše, se je s 5–10 % v letu 1961 povečala na 15–20 % v letu 2006, z velikim povečanjem v zgodnjih osemdesetih zaradi manj padavin in višje temperature zraka v številnih regijah (Li in sod., 2009).

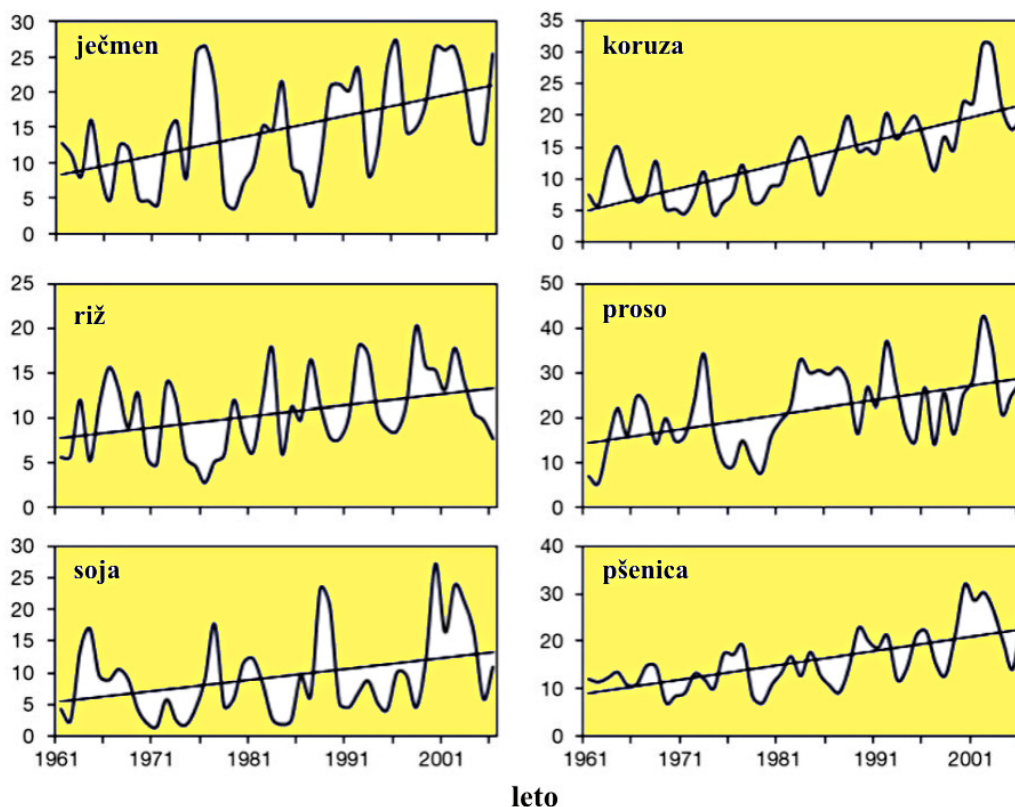


Slika 8: Spomni se tistih, ki stradajo! Ruski poster iz leta 1921 (Post 1900 ..., 2012).
Figure 8: Remember Those Who Starve! A Russian poster from 1921 (Post 1900 ..., 2012).

Z uporabo nacionalnih podatkov za štiri glavne poljščine (ječmen, koruza, riž in pšenica) so ugotovili, da je 60–75-odstotno zmanjšanje pridelka možno pojasniti z linearno zvezo z indeksom suše PDSI. S tem ocenjujejo, da se lahko zmanjšanje pridelka poveča za 50 % do leta 2050 (slika 9).

IPCC (Special report ..., 2012) opozarja na posebno pazljivost pri primerjavi različnih indeksov. Burke in Brown (2008) sta na primer uporabila štiri indekse in dva modela scenarijev podnebnih sprememb in ugotovila, da uporaba indeksa SPI kaže na majhno spremembo v deležu površine s sušo, vsi drugi indeksi (PDSI, CDD in SMA), ki vključujejo tudi atmosferski deficit vlage, pa kažejo na statistično značilno povečanje površine za 5–45 %. Ta študija je tudi pokazala na veliko negotovost v regionalnih spremembah suše. Regionalno oziroma lokalno podnebje je odziv na lastnosti površja (na primer razgibanost, vegetacija ...) na regionalni oziroma lokalni ravni.

Posameznega vremenskega pojava – tudi posamezne suše – ne moremo neposredno povezati z globalnimi spremembami podnebja. Pogosto se pojavljajo interpretacije, da so posamezni vremenski dogodki posledica podnebnih sprememb, vendar so opaženi izjemni vremenski dogodki teoretično možni tako v sedanjem kot tudi v spremenjenem podnebnju. Razlika je le v verjetnosti, da se tak dogodek zgodi (Stališče SMD ..., 2011).



Slika 9: Delež s sušo prizadetih svetovnih površin (%), posejanih z glavnimi poljščinami, v obdobju 1961–2006. Ravne črte pomenijo linearne trende (Li in sod., 2009: 36).

Figure 9: Percentage of global drought disaster-affected area of the major crop sown regions from year 1961 to 2006. Straight lines present linear trends (Li et al., 2009: 36).

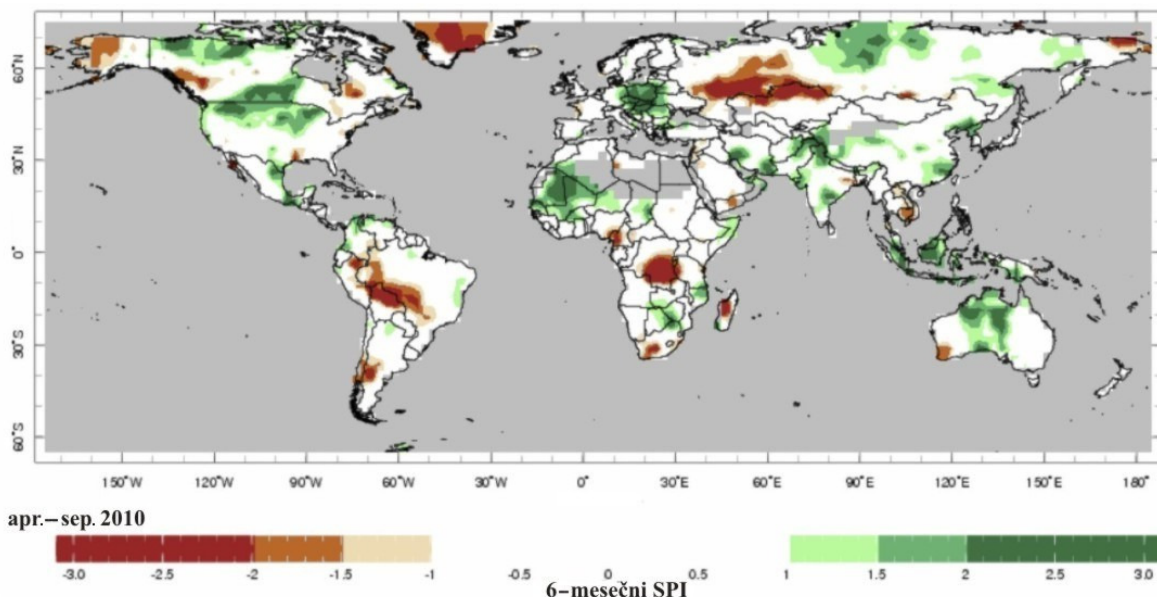
Podnebni scenariji so verjeten in pogosto poenostavljen opis prihodnjega podnebja, ki temelji na razumljivih in smiselnih predpostavkah o povezavah med podnebnimi dejavniki. Omogočajo ocenjevanje predvidenih posledic človeško pogojenih sprememb podnebja. Osnova za izdelavo scenarijev so navadno izračuni podnebnih modelov (projekcije), ki upoštevajo različne scenarije razvoja družbe oziroma posledičnih izpustov/vsebnosti toplogrednih plinov in delcev v ozračje. Meritve in izračuni povprečne temperature zemeljskega površja kažejo, da se ozračje segreva. Tudi meritve temperature zraka v Sloveniji kažejo podobne spremembe, kot jih zasledimo v svetu in Evropi: povprečna temperatura narašča, porast je najbolj opazen v zadnjih tridesetih letih (Bergant, 2010).

Regionalne podnebne simulacije in modeli splošne cirkulacije z veliko prostorsko ločljivostjo za območje Evrope izpostavljajo mediteransko regijo kot bolj ranljivo za sušo v prihodnosti (preglednica 3). Projekcije kažejo, da bo poletna suša na Mediteranu zgodnejša v letu, trajala pa bo dlje. Študija Giannakopoulou in sod. (2009) ugotavlja, da se bo število suhih dni do konca stoletja povečalo za enega do treh tednov.

Obstaja veliko virov negotovosti glede projekcij trendov meteorološke suše do konca stoletja. Najpomembnejši negotovosti projekcij sta razvoj oceanske cirkulacije in povratnih zank med zemeljsko površino in procesi v ozračju. Ti procesi so povezani z vplivi suše na

fiziologijo rastlin (na primer na hrapavost, albedo, konduktivnost) (Seneviratne in sod., 2010). Voda v tleh je izjemno pomembna spremenljivka za ugotavljanje rastnih razmer rastlin. Najnovejše raziskave so pokazale, da so v nekaterih regijah povezave med zemeljskim površjem in ozračjem izjemno pomembne (Koster in sod., 2004). Težava pri tovrstnih raziskavah je pomanjkanje meritev vode v tleh za zagon podnebnih modelov. Trenutno se uporabljajo izhodne informacije modelov zemeljskega površja (Seneviratne in sod., 2010).

V zadnjih letih so se intenzivne suše pojavljale na vseh celinah, prizadeta so bila širša območja v Evropi, Afriki, Aziji, Avstraliji in Ameriki (Lincoln declaration, 2009). Tako je bilo v Evropi leta 2003, v jugovzhodni Avstraliji leta 2009, v Argentini v obdobju 2008/2009 in v Rusiji leta 2010 (slika 10). Suša v Rusiji leta 2010 je povzročila, da se je v glavnih pridelovalnih regijah pridelok pšenice zmanjšal za 40 %.



Slika 10: Porazdelitev meteorološke sušnosti/mokrosti ob koncu septembra 2010 z uporabo 6-mesečnega standardiziranega padavinskega indeksa (SPI). Karta s temno rdečo barvo označuje sušo v Rusiji in povezane gozdne požare in sušo v zahodni Braziliji, kjer je normalno humidno podnebje (Global assessment ..., 2011: 58).

Figure 10: The global distribution of meteorological dryness/wetness at the end of September 2010, using a 6-month standardized precipitation index (SPI). This map highlights in red the droughts in Russia associated with wildfires and drought in western Brazil, a normally humid climate (Global assessment ..., 2011: 58).

Škoda, ki jo povzročajo izredni vremenski in podnebni dogodki, strmo narašča, predvsem zaradi vse dražje infrastrukture in izrabe zemljišč, ki jih naši predniki zaradi večje izpostavljenosti silam narave niso intenzivno izkoriščali. Projekcije modelov za Evropo kažejo, da lahko ob uresničitvi srednjega scenarija emisij SRES A1B do konca tega stoletja pričakujemo na območju Slovenije dvig temperature zraka za 3–3,5 °C (Bergant, 2010). Poletja se bodo ogrela najbolj izrazito, in sicer za 4–4,5 °C. Količina padavin naj bi se na letni ravni zmanjšala za približno 10 %; s tem bodo poletja bistveno bolj sušna, in sicer za 15–20 %, pozimi lahko celo pričakujemo dvig količine padavin za do 10 % (Bergant, 2010). Ker različni modeli dajo nekoliko različne ocene sprememb, je to treba upoštevati pri interpretaciji takšnih rezultatov. Prav tako na izrazitost sprememb vpliva izbira

scenarija emisij. Sprememba letnih padavin na večini območij Slovenije za zdaj ni statistično značilna, a pri padavinskem režimu opažamo upadanje količine padavin v prvi polovici leta in naraščanje v drugi.

Preglednica 3: Projekcije regionalnih sprememb sušnosti v Evropi za konec 21. stoletja glede na konec 20. stoletja (na primer 1961–1990 ali 1980–2000 glede na 2071–2100 ali 2080–2100) in za A2/A1B scenarij emisij (razen če ni označeno drugače). Za referenčne vrednosti so uporabljene ekstremne vrednosti ob koncu 20. stoletja, na splošno 1961–1990 ali ~ 1980–2000. Kode za evidenco modelov splošne globalne cirkulacije (GCM) so: G: multipli GCM; R: posamezen GCM, siljen s posameznim GCM; R: posamezen RCM; R: multipli RCM, siljeni s posameznim GCM (Special report ..., 2012: 198).

Table 3: Projected regional changes in dryness in Europe for the end of the 21st century (e.g. 1961–1990 or 1980–2000 versus 2071–2100 or 2080–2100) and for the A2/A1B emissions scenarios (except if noted otherwise). Late 20-th century extreme values (generally either 1961–1990 or ~ 1980–2000 are used as reference. Codes for the source of modelling evidence: G: multiple GCMs; R: single RCM forced by single GCM; R: multiple RCMs forced by single GCM; R: multiple RCM forced by multiple GCMs (Special report ..., 2012: 198).

Evropa in Mediteran (G, R)	Območje Evrope pod vplivom močnejše sušnosti (CDD, SMA*) z največjim in najbolj konsistentnim signalom na Mediteranu (srednja stopnja zaupanja) (Tebaldi in sod., 2006; Burke in Brown, 2008; May, 2008; Sheffield in Wood, 2008; Sillmann in Roeckner, 2008).
Severna Evropa (G)	Ni večjih sprememb sušnosti (srednja stopnja zaupanja) (Tebaldi in sod., 2006; Sheffield in Wood, 2008; Sillmann in Roeckner, 2008).
Osrednja Evropa (G, R)	Povečanje sušnosti (CDD, SMA) v osrednji Evropi (srednja stopnja zaupanja) (Seneviratne in sod., 2006; Tebaldi in sod., 2006). Povečanje kratkotrajnih suš (Sheffield in Wood; 2008).
Južna Evropa in Mediteran (G, R)	Povečanje sušnosti (CDD, SMA) na Mediteranu (srednja stopnja zaupanja) (Tebaldi in sod., 2006; Beniston in sod., 2007; Sheffield in Wood; 2008; Sillmann in Roeckner, 2008; Giannakopoulos in sod., 2009). Konsistentno povečanje območja s sušo (Burke in Brown, 2008).

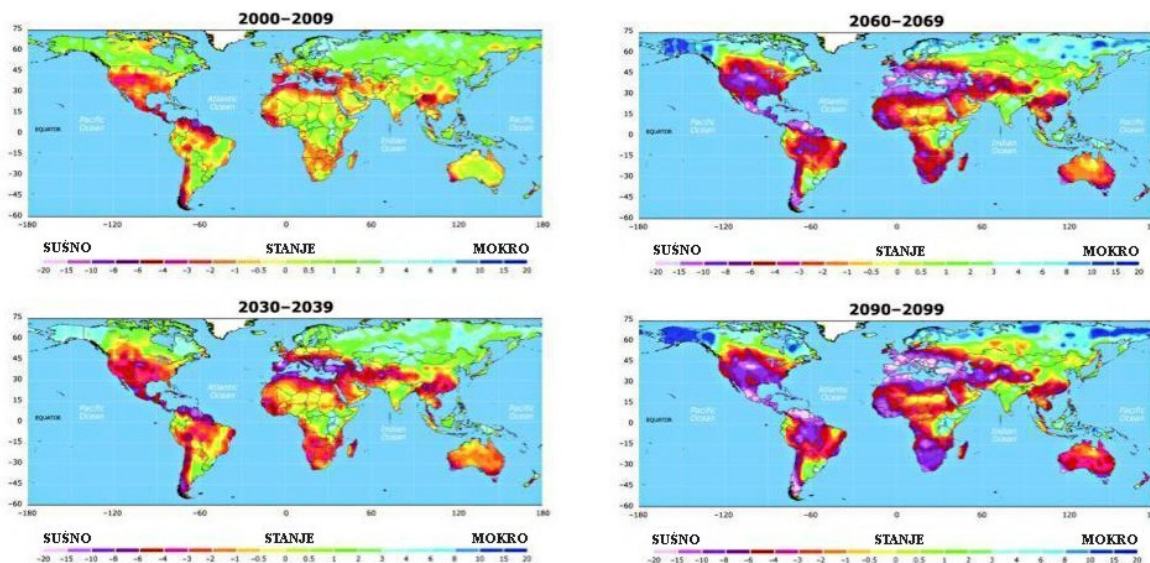
* Legenda:

CDD zaporedni suhi dnevi
SMA anomalije simulirane vode v tleh

Dai (2012) v raziskavi zaključuje, da so spremembe aridnosti do leta 2010 konsistentne z modelsko napovedjo, kar nakazuje širšo razprostranjenost in intenzivnejše suše v naslednjih 30 do 90 letih. Kot splošna mera za sušo je bil uporabljen PDSI, ki s pozitivno vrednostjo označuje nenavadno mokre razmere v neki regiji in z negativno vrednostjo nenormalno sušne razmere. Vrednosti –4 in nižje pomenijo ekstremno sušo. V regijah, ki so modre ali zelene, je tveganje zaradi suše manjše, regije, obarvane rdeče in vijolično, se soočajo z nenavadno ekstremnimi sušami. Do zdaj so se redko pojavile izjemno hude suše pod vrednostjo –6 na Palmerjevi lestvici, vendar niz kart prikazuje, da ob koncu stoletja lahko na Mediteranu pričakujemo ekstremne sušne razmere z vrednostmi od –15 do –20 (slika 11).

Zanesljivost napovedi temperature je razmeroma velika, zanesljivost napovedi padavin pa zelo negotova. Avtorji k razreševanju vpliva temperature in padavin na evapotranspiracijo ter na primanjkljaj vode v tleh pristopajo na različne načine (Bergant, 2003; Kajfež Bogataj in Bergant, 2004; Bergant, 2010; Ceglar, 2011), saj Slovenija leži v geografskem območju z zelo raznolikimi podnebnimi tipi. Ob dvigu temperature za 2 °C in zmanjšanju padavin za 10 % se napoveduje podvojitev skupnega območja, kjer bo primanjkovalo vode v tleh v

Sloveniji, s tem pa tudi povečana potreba po namakanju kmetijskih rastlin (Zupanc, 2003; Kajfež Bogataj in Bergant, 2004; Glavan in Pintar, 2012).



Slika 11: Suša v prihodnosti (Dai, 2012; cit. po Drought may ..., 2012).
Figure 11: Future drought (Dai, 2012; op cit Drought may ..., 2012).

Zaključimo lahko, da kljub številnim negotovostim glede pojava suš v prihodnosti v nekaterih regijah sveta obstaja velika verjetnost, da se bo prizadetost v južni Evropi in na Mediteranu povečala. Že obstoječe stanje sproža številne gospodarske težave v regiji. Nekateri mediteranski predeli sušo že dokaj uspešno obvladujejo in imajo z njenim upravljanjem že dolgoletno tradicijo. Slovenija v preteklosti ni razvijala strategije upravljanja suše. Za uspešno upravljanje bo treba poleg ažurnih klimatskih podlag novejšega klimatskega obdobja vključiti tudi najnovejše scenarije sprememb podnebja.

2.3 SUŠA V EVROPI

Suša postaja ponavljajoča značilnost evropskega podnebja in ni več omejena samo na mediteranske in aridne regije. V današnjem času pojav suše ni tako dramatičen kot v preteklosti, ko je bila pridelava hrane močno odvisna od lokalnega kmetijstva in je zato velikokrat nastopila tudi lakota. V srednjem veku je tudi zahodna Evropa doživljala hude suše, ki so povzročile milijonske žrtve (Estrela in Vargas, 2011).

Rodriguez in Monreal (2000) sta izvedla regionalizacijo in karakterizacijo suš v Evropi v obdobju 1901–1996. Sušne dogodke, velikosti in dolžino primanjkljaja vode sta ocenila s pomočjo mesečnih padavin za regijo v povezavi s hidrološkimi cikli glavnih evropskih porečij. Tudi Lloyd-Hughes in Saunders (2002) navajata nekaj glavnih suš v Evropi od konca šestdesetih let preteklega stoletja. Povzetek obeh študij je v preglednici 4.

Prav tako Sheffield in Wood (2008) v študiji izpostavljata sušna obdobja za obdobje 1901–2008. Leta 1921 je suša prizadela večji del severozahodne Evrope; suša v osrednji Evropi leta 1947 je bila vzrok velikega pomanjkanja hrane. V obdobju 1975–1976 je bila suša v

severozahodnem delu Evrope, v osrednji Evropi pa leta 2003; spremljal jo je ekstremni vročinski val. V zadnjih 30 letih je suša stalnica v Evropi. Trajanje suše, prizadeto območje in prebivalstvo v tem obdobju je bilo zelo spremenljivo, vendar so se hude suše pojavljale vsako leto. Prizadele so več kot 800.000 km² evropskega ozemlja (37 %) in 100 milijonov prebivalcev (20 %) v štirih ločenih sušnih dogodkih v letih 1989, 1990, 1991 in 2003 (Water scarcity ..., 2008).

Preglednica 4: Pregled sušnih dogodkov v Evropi: po evropskih porečjih (Rodriguez in Monreal, 2000: 40–41), dopolnjeno s sušnimi dogodki, opisanimi v raziskavah Lloyd-Hughes in Saunders (2002), označenimi z *, in Sepulcre-Canto in sod. (2012), označenimi z **.

Table 4: Drought events identified in European river basins by Rodriguez and Monreal (2000: 40–41) updated with drought events described in the researches of Lloyd-Hughes and Saunders (2002) marked with * and Sepulcre-Canto et al. (2012) marked with **.

Obdobje	Sušni dogodek
1904–1905	Najdaljše sušno obdobje v osrednjeevropskih porečjih.
1916–1917	Zelo huda suša na Islandiji.
1917–1920	Zelo huda suša v južnokaspijskih porečjih.
1921	Huda suša v osrednjeevropskih porečjih.
1924–1926	Najhujša in najdaljša suša v iberskomediterranskih porečjih.
1929–1930	Najdaljša suša na zahodnih atlantskih otokih.
1933–1934	Huda suša v francoskih in britanskih porečjih in vzhodnih mediteranskih porečjih.
1937–1938	Pogoste suše manjše jakosti v severnoevropskih porečjih.
1938–1939	Sušno obdobje v vzhodnoevropskih porečjih.
1939–1940	Sušno obdobje v skandinavskih porečjih.
1942–1943	Najdaljša suša v porečjih rek Pad in Rona.
1945–1946	Najdaljša suša v osrednjemediterranskih porečjih, huda suša v iberskomediterranskih porečjih ter srednjem in spodnjem donavskem porečju.
1948–1949	Zelo huda suša na zahodnih atlantskih otokih.
1961	Sušno obdobje v južnokaspijskih porečjih.
1965	Sušno obdobje na Islandiji.
1968–1969	Huda suša na območju obalnih norveških porečij.
1972	Huda suša v osrednjeevropskih porečjih.
1973–1975	Najhujša suša v vzhodnomediterranskih porečjih.
1973*	Zelo sušna zima in slaba zimska zaloga ter pomladansko pomanjkanje vode v Avstriji, Nemčiji in bivši Češkoslovaški.
1975–1976	Zelo huda suša v severnoevropskih porečjih.
1976	Zelo huda suša v osrednjeevropskih porečjih, v Franciji in Veliki Britaniji.
1976*	Huda suša v severni Evropi (od Skandinavije do Francije); 16-mesečna suša v Angliji je povzročila težave v gradbeništvu. Francozi so pridelali za 25 % manj mleka. Zaradi pomanjkanja pitne vode je prišlo do prisilnega zakola 20.000 prašičev.
1976–1980	Huda suša na območju obalnih norveških porečij.
1984	Najdaljša suša v vzhodnoevropskih porečjih.
1984*	Zelo sušna pomlad in poletje v severni in zahodni Veliki Britaniji sta privedla do uvedbe prepovedi cevne zalivanja.
1985	Sušno obdobje na Islandiji.
1989–1990	Sušno obdobje v vzhodnomediterranskih porečjih, manjše suše v Franciji in Veliki Britaniji.
1988–1992*	Padavinski primanjkljaj v večjem delu Evrope.
1989–1993	Sušno obdobje v srednjih in spodnjih porečjih Donavskega bazena.

“se nadaljuje“

“nadaljevanje“

Obdobje	Sušni dogodek
1990–1995*	Daljše obdobje hude suše na Iberskem polotoku, v Španiji in na Portugalskem. Do 12-urne dnevne redukcije vode v Sevilji v obdobju 1992–1993. Hidroelektrarne začasno ustavljene v letih 1994–1995.
1991–1995	Sušno obdobje v zahodnoiberskih porečjih.
1992*	Huda suša v večjem delu Rusije, Nemčije, Madžarske, Bolgarije. V Nemčiji je bil pridelek poljščin manjši za 22 %. V Bolgariji obvezno namakanje. Najhujša suša v 10 letih v Rusiji.
1995*	Huda suša na Irskem, v Veliki Britaniji, na Norveškem in Švedskem. Izpad pridelka v kmetijstvu je bil ocenjen na 180 milijonov £. Redukcije v norveških hidroelektrarnah so povzročile 600-odstotno povečanje povprečnih tedenskih cen elektrike.
1999*	Zelo vroče in sušno poletje je povzročilo nizke vodotoke in nizko raven podzemne vode na Finskem.
2000**	Vzhodna Evropa je bila pod vplivom sušnih dogodkov, ki so vztrajali od spomladi do poletja, močno prizadet je bil pridelek spomladanskih in poletnih kmetijskih rastlin. Med najbolj prizadetimi državami so bile Romunija, države bivše Jugoslavije, Madžarska, Bolgarija (Glinni in sod., 2001). Suša je v juniju prizadela Romunijo; bila je med najbolj intenzivnimi v tem desetletju in je povzročila 500 milijonov USD škode. Poleti 2000 sta vročina in sušno vreme prizadela tudi druge regije, kot na primer Mediteran.
2003*	Večji del celinske Evrope je utrpel ekstremno sušo. Številne žrtve zaradi podaljšanega obdobja visokih temperatur zraka. Gozdni požari, povračila škod, izpadi elektrike in zmanjšanje kmetijskih pridelkov.
2003**	V poletju je sušo spremljal tudi vročinski val. Vročinski val se je začel v začetku junija, kar je pospešilo razvoj rastlin za 10 do 20 dni, to pa je povzročilo zgodnje dozorevanje. Ozimine in jara žita so formirala zrnja z nezadostno vlago, to pa je rezultiralo v očitnem padcu pridelka. Poleti se je rast vegetacije zmanjšala za 30 % in sušne razmere so povzročile povečanje tveganja gozdnih požarov (Water scarcity ..., 2006). Bosna (ocenjena škoda 140 milijonov USD) in Hercegovina (330 milijonov USD) sta razglasili naravno nesrečo. Nemčiji je EU subvencionirala 90 milijonov EUR kmetijskim gospodarstvom in ribiškim farmam kot kompenzacijo izgube pridelka (RAPID, 2003). Suša je bila v Italiji, Franciji in Veliki Britaniji.
2004–2005**	V hidrološkem letu 2004/2005 (1. oktober–30. september) je intenzivna suša na Iberskem polotoku povzročila padec pridelave žit (Garcia-Herrera in sod., 2007). V Španiji sta bila dosežena 60-letni rekord sušnega dogodka po intenzivnosti suše in 10-odstotno zmanjšanje pridelka (Sheffield in Wood, 2008). Portugalska je razglasila naravno nesrečo, ki je bila ocenjena na 1338 milijonov USD (Disaster profiles ..., 2012).
2007**	Romunija je bila pod vplivom intenzivnega vročinskega vala spomladi in poleti, z velikimi odkloni od klimatološkega povprečja v nekaterih regijah. Aprila, junija in julija je bil v večjem delu države padavinski deficit, največji v južnem delu države v aprilu (Annual report ..., 2007). Reka Pad je imela zgodovinsko nizek pretok, kar je povzročilo izjemne razmere in je vplivalo na kmetijsko pridelavo. Italijanska meteorološka služba je v uradnih biltenih poročala o zmerni suši v regiji (Climatologia – temperatura ..., 2007).
2011*	Anglija, zahodna Nemčija, Nizozemska in Belgija ter severozahodni deli Francije so dobili manj padavin, kot je značilno za spomladansko klimatološko povprečje (EDO, 2012). Leta 2011 je bil beležen rekordni januarski deficit padavin v Franciji, najbolj sušen januar od leta 1976. Pomanjkanje padavin je bilo združeno z nadpovprečno toplim vremenom, nadpovprečno visoko evapotranspiracijo in veliko potrebo rastlin po vodi.

Pomanjkanje vode je problem, ki že močno ogroža vse mediteranske države, kar pomeni 130 milijonov prebivalcev in blizu 30 % evropske populacije (Water scarcity ..., 2008). Na povečano ranljivost za sušo v Evropi še dodatno vpliva degradacija tal (Water resources ..., 2009). Degradacija tal nastaja zaradi erozije ob zmanjševanju rastlinskega pokrova,

spremenjene mikroklima ob napačnih drenažah mokrišč ali neprimerne zaraščanja, slabega upravljanja tal in vode ter neprimerne kmetovanja.

Analiza ekstremnih sušnih dogodkov z uporabo Palmerjevega indeksa jakosti suše, ki sta jo opravila Lloyd-Hughes in Saunders (2002), kaže, da ekstremne suše v 20. stoletju v povprečju trajajo 2–3 leta, z najdaljšim sušnim obdobjem dolgim 5 let. Regionalno so suše najdlje trajale v Italiji, severozahodni Franciji in severozahodni Rusiji, tudi do 40 mesecev. Evropo so največje suše prizadele v letih 1976, 1989, 1990, 1991 in 2003. V obdobju 2000–2006 je bilo v povprečju zaradi suše na leto prizadetega 15 % ozemlja EU in 17 % evropskega prebivalstva. Zaskrbljujoč je tudi podatek, da se je površina zaradi suše prizadetih predelov tudi v Evropi v zadnjih petnajstih letih povečala s 6 na 13 % glede na povprečje 1976–1990; v enakem odstotku se je povečalo tudi število prizadetih prebivalcev (Water scarcity ..., 2007).

V sklopu trinajstih držav članic EU je bilo identificirano 33 porečij, kjer že primanjkuje vode. Ta porečja niso omejena samo na južno Evropo, temveč so tudi na drugih območjih Evrope, kot na primer v Belgiji, na Danskem, v Nemčiji, na Madžarskem in v Veliki Britaniji. Obstaja pa velika regijska variabilnost sušnih dogodkov. Nekateri od sušnih dogodkov lahko trajajo tudi več zaporednih let (Water scarcity ..., 2008).

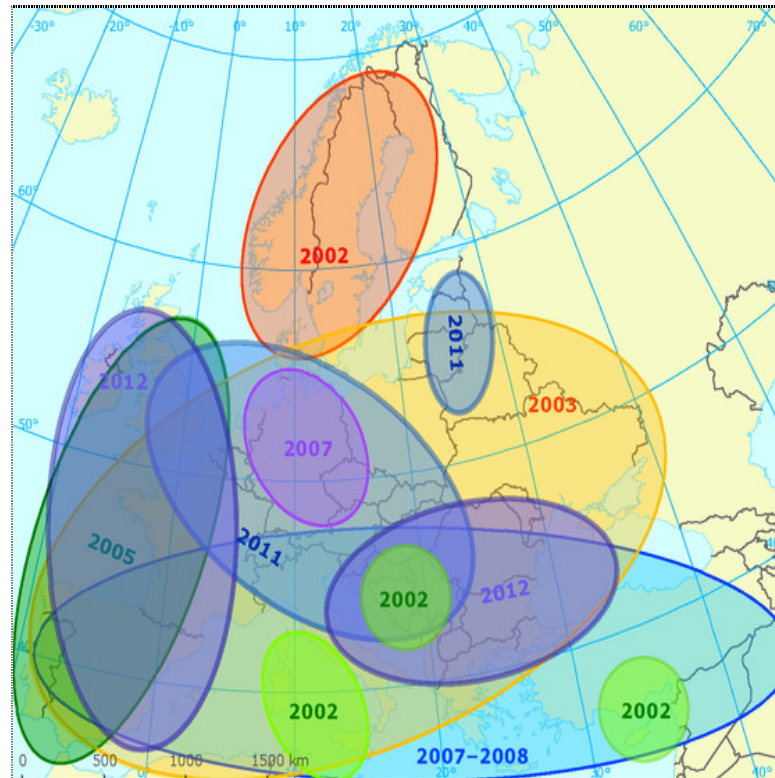
Letne ekonomske škode so se od obdobja 1976–1990 do obdobja 1991–2006 podvojile (Water scarcity ..., 2007; Feyen in Dankers, 2009). Med države z izjemno ekonomsko škodo so se uvrstile Portugalska leta 2004, Moldavija leta 2007 in Rusija leta 2010 (Disaster profiles ..., 2012). Po omenjenih poročilih je v letu 2007 vsaj 11 % prebivalstva EU in 17 % njenega ozemlja občutilo pomanjkanje vode, stanje pa se še poslabšuje; zdaj obstaja pomanjkanje vode v pomembnem delu povodij. V poletnih mesecih je pomanjkanje vode bolj izrazito v južni Evropi, vendar postaja vse bolj pereč problem tudi v severnih povodjih, vključno z Združenim kraljestvom Velike Britanije in Severne Irske ter Nemčijo. Leta 2005 je suša v Španiji povzročila 40-odstotno zmanjšanje pridelka žit, škoda na nenamakanih kulturah ter pašnikih pa je bila 2,5 milijarde EUR.

Najnovejši podatki EEA (Water scarcity..., 2012) kažejo, da se je število držav v Evropi, ki so pod vplivom suše, na desetletje povečalo s 15 držav v obdobju 1971–1980 na 28 držav v obdobju 2001–2011 (slika 12). Intenzivnejše suše v Evropi (leta 2006 v osrednji Evropi, leta 2007 v južni in vzhodni Evropi in 2010 v vzhodni Evropi) so pokazale na ranljivost evropske ekonomije za pojav suš (Potop, 2010a; Potop, 2010b).

Tudi v letih 2011 in 2012 je suša prizadela velike dele južne, zahodne in celo severne Evrope. Suša leta 2011 je bila označena kot najhujša v zadnjih sto letih. V obeh letih se je razpoložljivost vode spomladi znatno zmanjšala in v velikih delih EU so bile uvedene omejitve uporabe vode.

Značilno je, da je obseg suše zelo variabilen širom po ozemlju EU. V zadnjem času so tudi številne severne in vzhodne države EU, kot na primer Belgija, Velika Britanija, Nemčija, Madžarska, Nizozemska, Norveška in Slovaška, utrpel sušo. Suša v nekaterih državah (Ciper, Finska, Francija, Italija, Malta, Portugalska in Španija) navadno prizadene večji del ozemlja, nekatere druge države pa prizadene pogosteje v posameznih predelih (v Avstriji

so na primer bolj ranljivi južni, jugovzhodni in vzhodni predeli). Na drugi strani suše lahko razdelimo tudi po trajanju; nekatere trajajo po več zaporednih let, spet drugod so v večini enomesečne ali 2- do 6-mesečne.

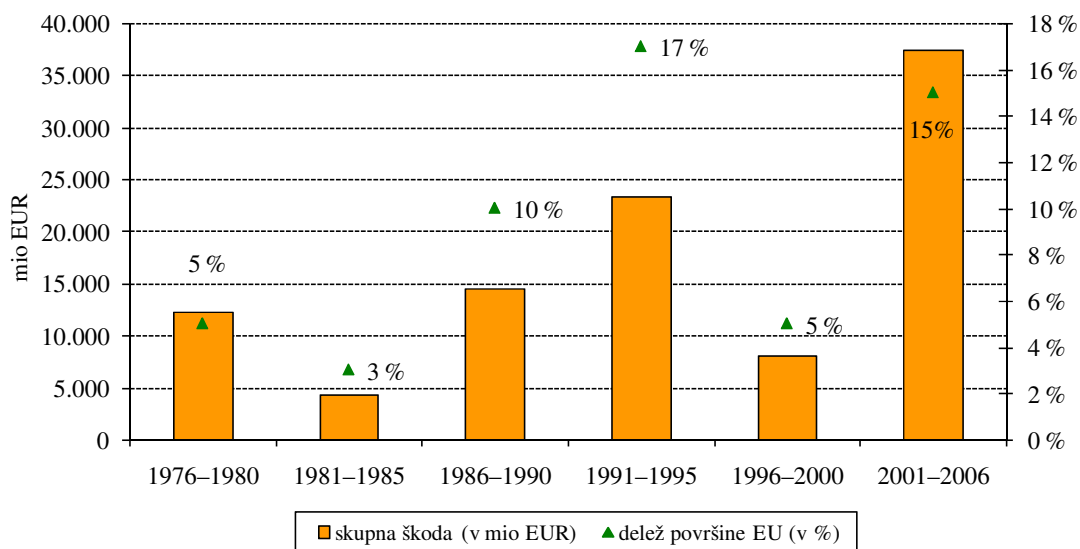


Slika 12: Glavni sušni dogodki v Evropi v obdobju 2000–2012 (Water scarcity ..., 2012: 123).
Figure 12: Main drought events in Europe in the period from year 2000 to 2012 (Water scarcity ..., 2012: 123).

V Evropi je suša v zadnjih 30 letih povzročila okrog 100 milijard EUR škode. Na Iberskem polotoku je bila najhujša suša v obdobju šestdesetletnih meritev beležena leta 2005 in je zmanjšala pridelek žit v EU za 10 %. Od leta 1991 je povprečna letna ekonomska škoda zaradi suše v Evropi 5,3 milijarde EUR, z največjo škodo v letu 2003, ko je bila najmanj 8,7 milijarde EUR. Slednja je prizadela več kot 100 milijonov ljudi in tretjino ozemlja EU (Water scarcity ..., 2007).

V zadnjih 30 letih sta se izrazito povečala število in učinek suš. Med letoma 1976 in 2006 se je število območij in ljudi, ki jih je prizadela suša, povečalo za skoraj 20 %, skupni stroški suše pa so znašali 100 milijard EUR (Water scarcity ..., 2007) (slika 13).

Tendenca težav z večjo intenziteto suš v Evropi se je povečala konec 20. stoletja, še posebno v desetletju 1990–2000 (Demuth in Stahl, 2001).



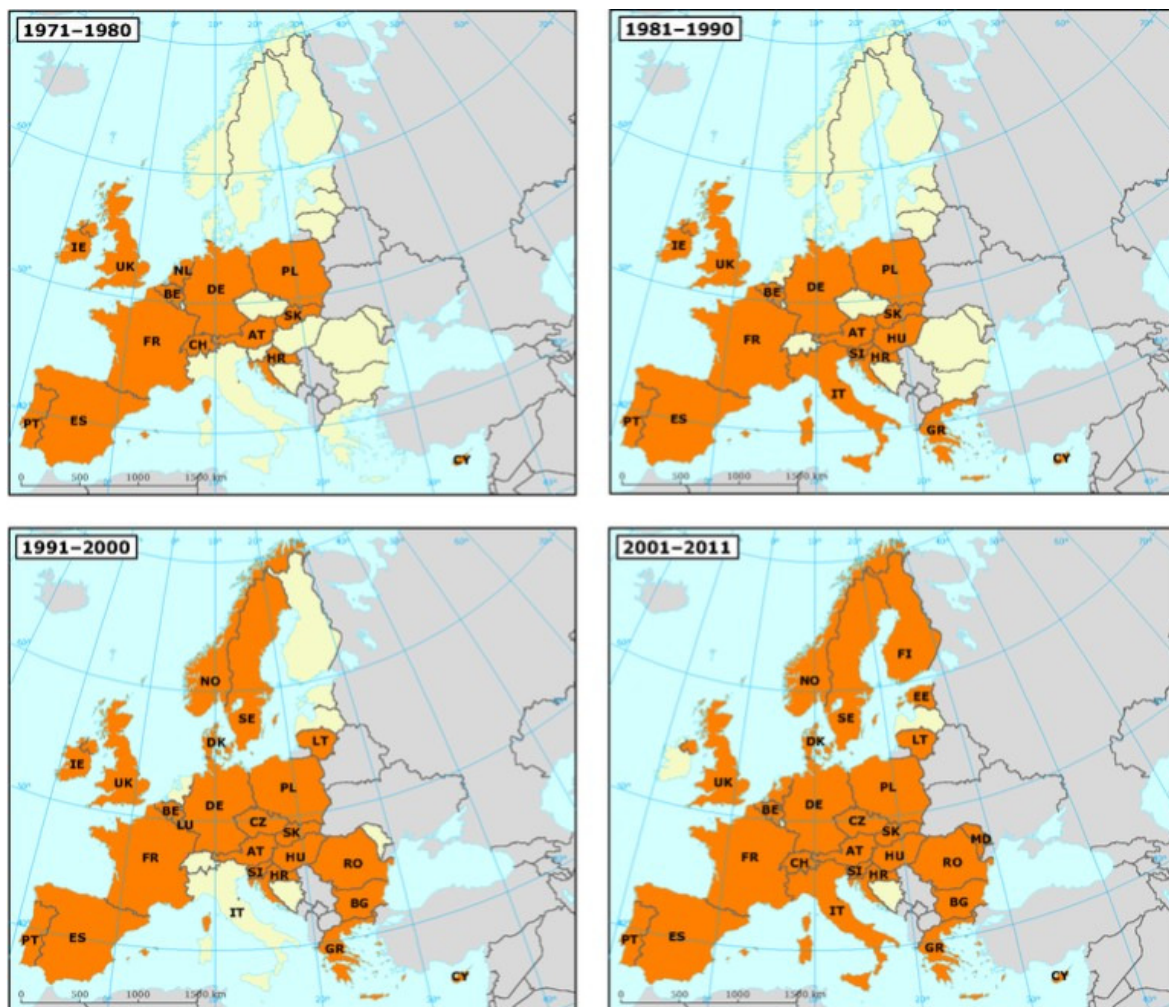
Slika 13: Ocena finančnega vpliva suš v EU (v milijonih EUR) in povprečni letni delež prizadete površine EU (v %) v obdobju 1976–2006 po petletjih (Water scarcity ..., 2007: 50).

Figure 13: Estimation of the financial impact of droughts at EU level in mio EUR and annual average EU area affected by droughts (in %) in the period 1976–2006 by pentades (Water scarcity ..., 2007: 50).

Na sliki 14 vidimo tudi prostorski prikaz držav, kjer so se v obdobju 1971–2011 po referenčnih desetletjih pojavili sušni dogodki, ne glede na njihovo časovno in prostorsko (lokalno ali nacionalno) razporeditev.

Tudi napovedi podnebnih sprememb za Evropo kažejo na spremembo vodne bilance, s posebnim poudarkom na povečanem tveganju za poletne suše na Mediteranu, v južni in osrednji Evropi, kamor sodi tudi Slovenija (Climate change ..., 2007). V zadnjem desetletju se je v EU povečevala zaskrbljenost glede pojavov suše in pomanjkanja vode, zlasti v zvezi z dolgoročnimi neravnovesji med povpraševanjem po vodi in razpoložljivostjo vode v Evropi (Sporočilo komisije ..., 2012). Zdi se, da trendi ostajajo stabilni. Modeliran prikaz lokacij povodij s pomanjkanjem vode za poletje in za obdobje do leta 2030 kaže, da se bo delež povodij s pomanjkanjem vode po pričakovanjih povečal za do 50 % (Sporočilo komisije ..., 2012).

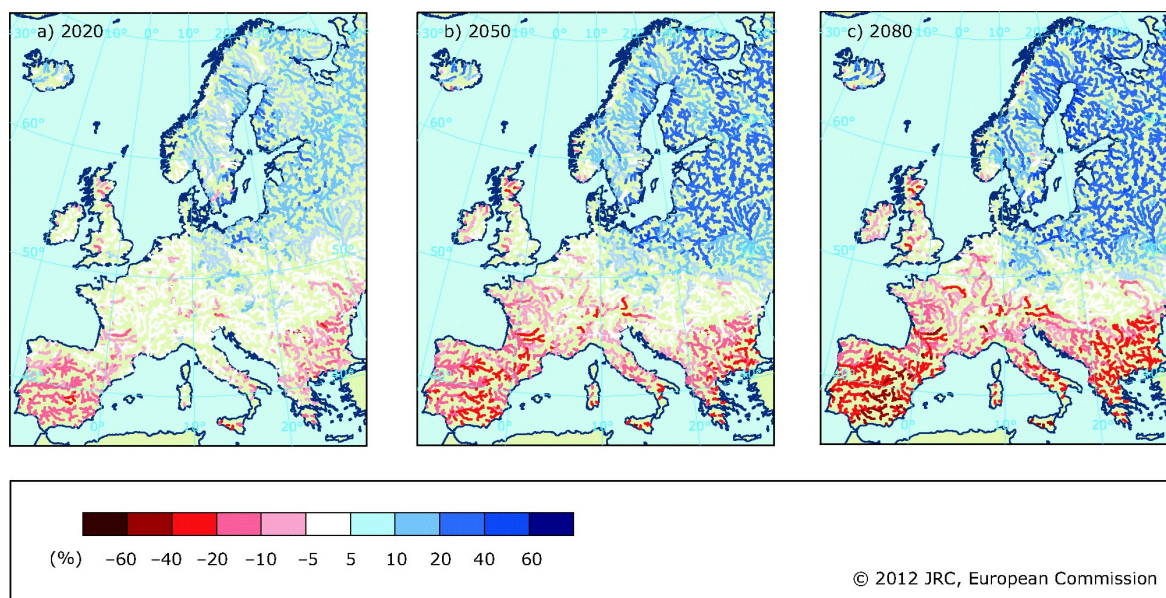
V zadnjih letih je vse več študij s to problematiko, ki med drugim ugotavljajo, da so suše v zadnjih desetletjih v številnih evropskih regijah in tudi v svetu postale bolj intenzivne zaradi podnebnih sprememb (Van Lanen in Peters, 2000; Lloyd-Hughes in Saunders, 2002). Pretoki rek in dostopnost vode v rekah, jezerih in podzemnih vodah so se značilno spremenili, spremembe pa je včasih težko razmejiti na tiste, ki jih povzročajo podnebne spremembe, in tiste, ki jih povzročajo drugi dejavniki (Ludwig in sod., 2009). V nekaterih regijah Karpatskega bazena se je raven podzemne vode zmanjšala za več metrov, kar je povzročilo ekonomsko škodo v kmetijskih regijah, ki so ranljive za aridifikacijo (Rakonczai, 2011). V južni Evropi bodo podnebne spremembe poslabšale stanje: večja bodo zdravstvena tveganja zaradi vročinskih valov, več bo požarov v naravi, manjša bo razpoložljivost vode ter s tem tudi potencial vodne energije in kmetijska pridelava.



Opomba: Država je označena z oranžno, če so se v referenčnem desetletju pojavili sušni dogodki, ne glede na njihovo časovno in prostorsko (lokalno ali nacionalno) razporeditev. Ni razlik med jakostjo, pogostostjo in razprostranjenostjo dogodkov.

Slika 14: Opazovane sušne epizode v Evropi v obdobju 1971–2011 (Water scarcity ..., 2012).
Figure 14: Observed drought episodes in Europe (1971–2011) (Water scarcity ..., 2012).

Lehner in sod. (2006) so v analizi možnih vplivov podnebnih sprememb na pojav suš in poplav v Evropi ugotovili, da je severovzhodna Evropa ranljiva za povečanje poplav, južna in jugovzhodna Evropa pa za povečanje suš. Zaradi obsežnosti suš v Evropi so bile izvedene številne regionalne študije (Demuth in Stahl, 2001; Tallaksen, 2000; Mishra in Singh, 2010; Lehner in sod., 2006). Lehner in sod. (2006) so v analizi uporabili generalizirani kazalec sušnega deficita, izračunan kot primerjava simuliranih rečnih pretokov in ocenjenih odvzemov za javno, industrijsko in kmetijsko rabo. Študija je pokazala spremembo v povratnih dobah sušnega deficita 100-letne povratne dobe za obdobje 1961–1990 s projekcijami do leta 2070. V kritičnih regijah se bodo dogodki z jakostjo današnje 100-letne suše lahko pojavili vsakih 10 do 50 let (slika 15).



Slika 15: Relativna sprememba v najmanjšem pretoku rek s povratno dobo 20 let med prihodnjimi obdobji do a) 2020, b) 2050 in c) 2080 ter obdobjem 1961–1990 za scenarij SRES A1B (Data and maps ..., 2012).

Figure 15: Relative change in minimum river flow with return period of 20 years between future periods a) 2020s, b) 2050s and c) 2080s and 1961–1990 for SRES A1B scenario (Data and maps ..., 2012).

Podnebne spremembe bodo predvidoma tudi poslabšale stanje obstoječih vodnih virov in povečale tveganje ter možnost nastajanja konfliktov med uporabniki v regiji. To bo vplivalo na gospodarstvo, še posebej na kmetijstvo, energetiko, promet, turizem in zdravstvo. Najbolj občutljiva bodo priobalna in gorska območja ter poplavne ravnice.

2.4 SUŠA V SLOVENIJI

Slovenija je raznolika tako v prostorskem kot tudi časovnem pojavljanju suše, saj se pojavljajo tudi mokra leta s presežki vode.

Slovenija je bogata z vodnimi viri, k čemur pripomore predvsem velika letna količina padavin – v Sloveniji pade v povprečju od 800 mm padavin letno na skrajnem severovzhodu do prek 3000 mm na zahodu. Povprečna letna količina padavin za Slovenijo je 1579 mm, od tega izhlapi 717 mm (45 %), odteče pa 862 mm (55 %) vode na leto (obdobje 1971–2000). Primerjava povprečne letne količine padavin v EU, ki je več kot pol manjša od slovenske, in izhlapevanja nam pove, da je naš odtok skoraj trikrat večji od povprečja v EU (Podnebne razmere ..., 2006).

Če z letnega obdobja preidemo na krajše obdobje (april–september) in pogledamo dolgoletno povprečno vodno bilanco v topli polovici leta, je ugotovitev že nekoliko drugačna, saj možna evapotranspiracija na obalnem in severovzhodnem območju Slovenije, kar zavzema 8 % celotnega območja Republike Slovenije, presega količino padavin. Omenjeno območje lahko uvrstimo med možna sušna območja pri nas; tu je verjetnost za pojav suše še zlasti ob bistveno manjših padavinah in slabih vodozadrževalnih lastnostih tal (na primer lahka peščena tla) večja. Primanjkljaje vode v tleh v poletnih mesecih lahko pričakujemo v jugozahodnem delu, ki sodi pod vpliv

Mediterana, ter severovzhodnem delu, ki je pod vplivom Panonske nižine. Skupno območje s poletnim primanjkljajem zavzema okrog 15 % celotne površine Slovenije (Kajfež Bogataj in Bergant, 2004).

Neposredna primerjava z obdobjem bilanco 1961–1990 kaže, da so v obdobju 1971–2000 količine padavin skoraj enake, povečala se je količina izhlapevanja in zmanjšal se je odtok. Izhlapevanje je večje za 11 %, odtok pa manjši za 6 % (Uhan in sod., 2003). Te spremembe povzročijo manjšo razpoložljivost vode ter pogostejše in dlje časa trajajoče pomladne in poletne kmetijske suše (Sušnik, 2006; Kajfež Bogataj in sod., 2010).

Suša postaja del ekstremnih vremenskih dogodkov, ki povzročajo težave slovenski ekonomiji. V obdobju po letu 1990 smo v številnih sektorjih doživljali težave z negativno vodno bilanco, predvsem v kmetijstvu. Beležili smo daljša sušna obdobja in močnejše suše, ki so se pojavljale tudi v več zaporednih letih. Posledice so bile opazne na vseh področjih gospodarstva. Prav dejstvo, da Slovenija velja za eno najbolj vodnatih držav, ne samo Evrope, ampak tudi sveta, je v preteklosti sprožalo razprave o dejanski ogroženosti Slovenije zaradi suše.

Za pojav suše v Sloveniji je ključna neprimerna razporeditev padavin, ki se odraža v kmetijstvu in razpoložljivih količinah površinskih in podzemnih voda. Letno se po ozemlju Slovenije samo v rekah in potokih pretoči okoli 34 milijard m³ vode: to pomeni, da skupna količina vode na prebivalca skoraj štirikrat presega evropsko povprečje. Večina rek izvira v alpskem svetu, zato je največ pitne vode v zgornjem delu rek. Kljub temu pa pogosteje prihaja do neprimerne oskrbe hidroloških zalog. Pri kmetijski suši je treba upoštevati tudi pojav hidroloških suš, saj suša, če traja dlje časa, vpliva tudi na dostopnost eventualnih vodnih zalog za potrebe namakanja.

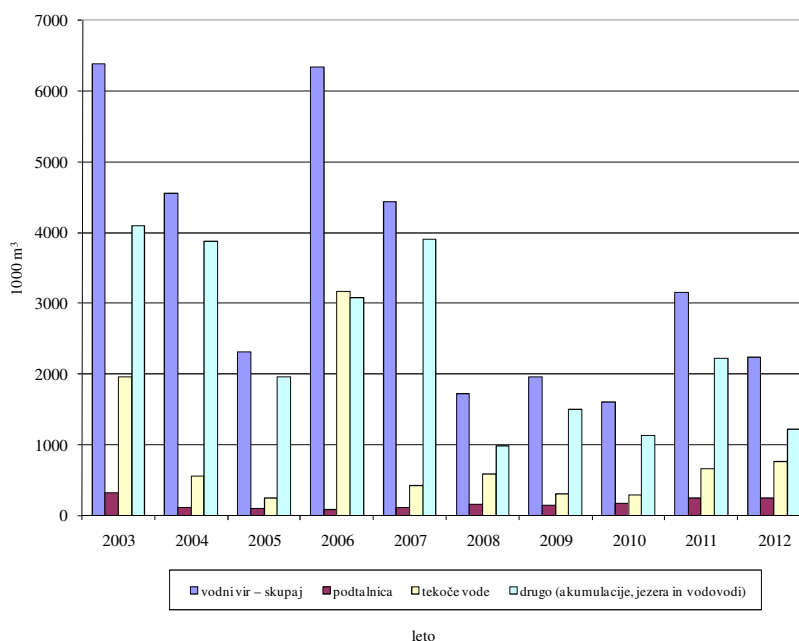
Hidrološka suša se najbolj odraža v energetiki in vodooskrbi, prav tako sta moteni industrijska dejavnost in turizem. Nепrekinjeno obdobje s podpovprečno vodnatostjo slovenskih rek traja vse od leta 1980, z izjemo leta 2010. Trendi dlje trajajočih (nad 30 dni) najmanjših pretokov kažejo skoraj povsod po državi na upadanje malih pretokov. Ti kažejo statistično značilno upadanje zlasti na območjih z gorskim zaledjem. Eden od razlogov je ta, da so zime v zadnjih tridesetih letih manj bogate s snegom, kar prispeva k manjšim spomladanskim pretokom in posledično daljšim sušnim obdobjem. Je pa hidrološka suša regionalni pojav in nikoli ne zajame enakomerno cele Slovenije. Glede na razpoložljiva obdobja podatkov sodita med hidrološko najbolj sušna leta leti 1947 in 1949, nato pa leto 1993 in obdobje 2000–2003, med katerimi je bilo najbolj sušno leto 2003 (Kobold in sod., 2012). Upadanje pretokov je predvsem posledica upadanja letne količine padavin in porasta povprečne letne temperature zraka ter z njo povezanega večjega izhlapevanja vode. Ob napovedanih podnebnih spremembah se bodo trendi manjšanja pretokov in dolžine hidrološke suše nadaljevali (Predlog ustanovitve ..., 2012).

Primanjkljaj vode od aprila do konca septembra je v zadnjih petdesetih letih povzročil kmetijsko sušo v Sloveniji šestnajstkrat, in sicer leta 1952, 1967, 1971, 1973, 1977, 1983, 1992, 1993, 1994, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007, 2012 in 2013 (Sušnik in Dolinar, 2001; Sušnik, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, 2003e, 2003f, 2003g; Sušnik, 2007c; Sušnik, 2008; Sušnik, 2009). Ocenjeno je, da je suša v letu 2007 povzročila 16,5 milijona EUR škode na

27.875 ha kmetijskih površin, v 56 od 210 občin. V manjšem obsegu se je pojavila škoda po suši tudi leta 2010 in 2011. Velika škoda se je pojavila desetkrat po letu 1990 in kar šestkrat po letu 2000. Suše so v letih 2000, 2001, 2003 in 2006 v Sloveniji povzročile za 247 milijonov EUR škode. Med najbolj perečimi je bilo leto 2003, ko je več kot 60 % slovenskega ozemlja prizadela ekstremno huda suša. Suša leta 2003 je bila močno opozorilo za slabo koordinirano delovanje odgovornih resorjev v sušnih razmerah tako v slovenskem kot tudi v širšem evropskem prostoru.

Še slabši situaciji kot leta 2003 smo bili priča v letu 2012. Deficit količine padavin se je po vsej Sloveniji stalno povečeval od konca oktobra 2011. Dolgoletno povprečje padavin ni bilo doseženo nikjer v Sloveniji. Izdani so bili lokalizirani ukrepi s področja rabe vode in tehnoloških ukrepov v kmetijstvu. Ob koncu vegetacijske sezone je bila razglašena suša z razsežnostmi naravne nesreče. Prav tako je bila naravna nesreča tudi izjemna poletna suša v letu 2013. Sledila je relativno dobri spomladanski namočenosti.

Zanimivi so podatki o namakanju kmetijskih in drugih površin v Sloveniji. V letu 2011 je bilo namakanih 3851 ha zemljišč; 90 % površin teh zemljišč je bilo namakanih z oroševanjem, 10 % kapljično. 59 % površin namakanih zemljišč so bili vrtovi in njive, 18 % površin teh zemljišč so bili sadovnjaki, oljčniki in drevesnice, 12 % namakanih zemljišč predstavlja zasneževanje smučišč, 2 % površin so bili rastlinjaki, travniki in vinogradi, preostalih 9 % površin teh zemljišč je bilo drugo (golfišča, športna igrišča). Za namakanje je bilo porabljenih 3,1 milijona m³ vode; 67 % namakalne vode je bilo iz zbiralnikov, 21 % iz tekočih voda, 8 % iz podtalnice, 3 % iz javnega vodovoda in komaj 1 % vode iz drugih virov (Svetovni dan ..., 2012). V izjemno sušnih letih, kot sta bili leti 2003 in 2006, se je letno porabilo za namakanje okrog 6 milijonov m³ vode (slika 16).



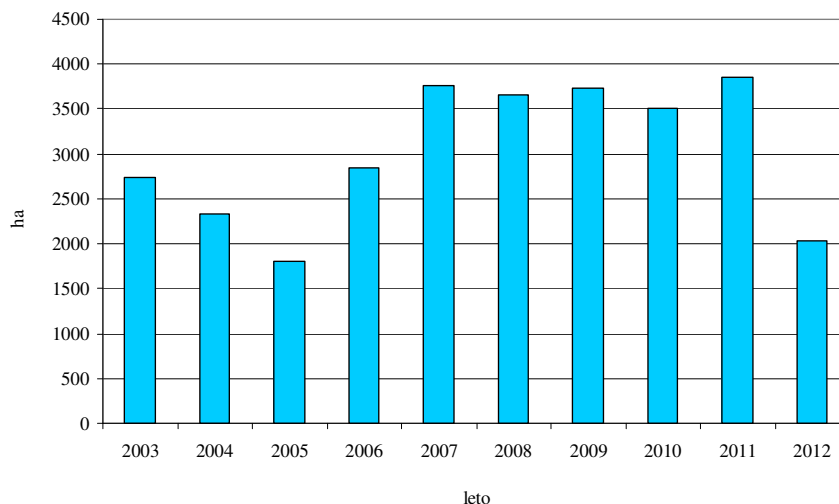
Slika 16: Letna količina vode za namakanje po vodnih virih (tisoč m³) v Sloveniji v obdobju 2003–2012 (Namakanje ..., 2013).

Figure 16: Annual water volume for irrigation by water sources in Slovenia in the period from 2003 to 2012 (Namakanje ..., 2013).

V letu 2012 je bilo namakanih 2029 ha zemljišč; kar 84 % te površine je bilo namakanih z oroševanjem. Za namakanje je bilo porabljenih 2,2 milijona m³ vode, kar je za 29 % manj kot v letu 2011; 49 % namakalne vode je bilo pridobljene iz zbiralnikov, 34 % iz tekočih voda, 11 % iz podtalnice, 3 % iz javnega vodovoda in iz drugih virov (slika 16). V letu 2012 je bilo namakanih za 47 % manj zemljišč kot v letu 2011 (Namakanje ..., 2013) (slika 17).

Večina kmetijskih zemljišč v Sloveniji je še vedno nenamakanih, manjši delež, ki je opremljen za namakanje, je ob primernem delovanju in vzdrževanju pripravljen na obdobje suše. V sklopu projekta Vodne perspektive Slovenije (Cvejić in sod., 2010) je bilo 194 935 ha kmetijskih zemljišč definiranih kot potencialno primernih za namakanje. Z vodo iz vodotokov bi po oceni projekta, neupoštevajoč sistem delitve vode in upoštevajoč vodne količine iz zadrževalnikov, ki so primarno namenjeni hidroenergetski rabi, lahko namakali največ 52 330 ha. Iz preostalih obravnavanih zadrževalnikov bi lahko namakali 6770 ha kmetijskih zemljišč. Velike količine razpoložljive podzemne vode, s katerimi bi lahko skupaj namakali 117 950 ha, so mestoma zelo omejene. Kot možnost obstaja tudi prečiščena odpadna voda iz komunalnih čistilnih naprav.

Velik primanjkljaj vode v sušnih letih posredno vpliva na obnašanje prebivalstva glede porabe vode in ne nazadnje na kakovost vode. Obremenitve se ob takih letih močno povečajo, saj vsi posegamo po istem viru. Leta 2003 smo beležili rekordni primanjkljaj vode v tleh za kmetijske rastline v vseh kmetijskopridelovalnih regijah v Sloveniji. Težave so se poleg kmetijstva pojavile v hidroenergetiki, oskrbi s pitno vodo in ribištvu; posledica je bilo tudi slabše stanje vode in obvodnega okolja.

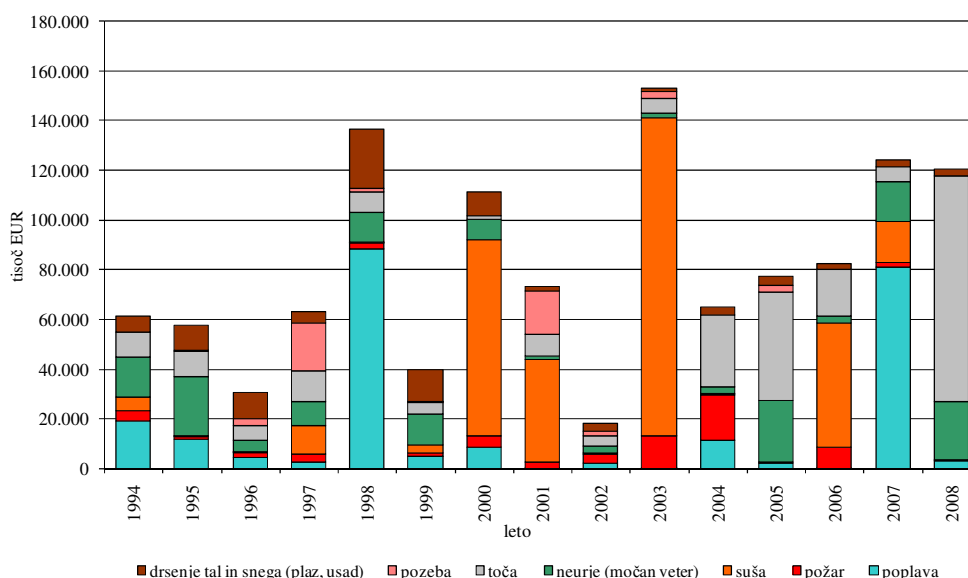


Slika 17: Skupna površina namakanih kmetijskih zemljišč (ha) v Sloveniji v obdobju 2003–2012 (Namakanje ..., 2013).

Figure 17: Irrigated arable land (ha) in Slovenia in the period from 2003 to 2012 (Namakanje ..., 2013).

2.4.1 Škode po suši

Različni ekstremni vremenski dogodki povzročajo gospodarsko škodo v istem letu ali več zaporednih letih. Največja škoda zaradi suše je bila v letu 2003, več kot 128 milijonov EUR (slika 18). V Sloveniji je suša v strukturi škod zaradi naravnih nesreč leta 2003 dosegla več kot 80 %, leta 2000 70 % in leta 2001 60 % (slika 19) (Ocenjena škoda ..., 2009). Delež škode po naravnih nesrečah v Sloveniji je zaradi suše za obdobje 1994–2008 ocenjen na 26 % (Ocenjena škoda ..., 2009). Izjemno hudo zimsko sušo smo doživeli tudi v zimi 2011/2012.



Slika 18: Ocenjena škoda, ki so jo povzročile naravne nesreče (Ocenjena škoda ..., 2009).
Figure 18: Estimated damage caused by natural disasters (Ocenjena škoda ..., 2009).

Iz podatkov Statističnega urada Republike Slovenije o škodi, ki jo povzročijo različne naravne nesreče, izhaja, da daleč največji delež (48,6 %) v celotnem obsegu ocenjene škode povzroči suša. V obdobju 2000–2005 je suša povzročila za 2,7-krat več škode, kot jo je povzročila toča, in za 5,9-krat več škode, kot so jo povzročila neurja (Računsko sodišče, 2007).

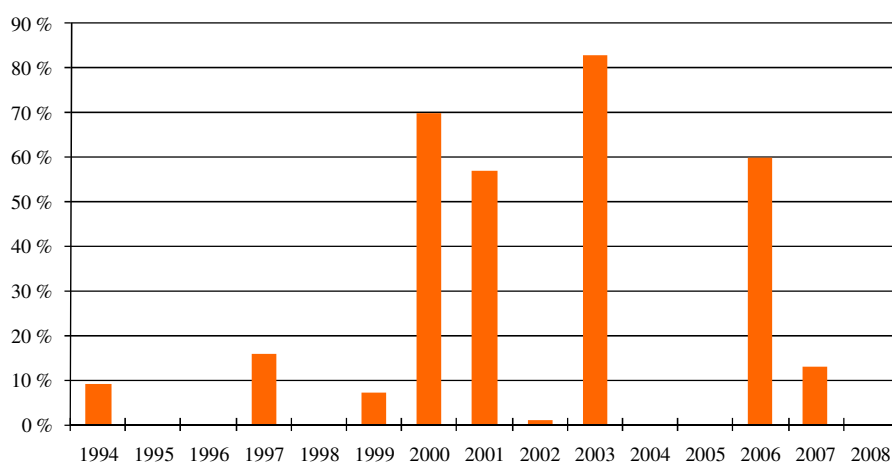
Po mnenju Računskega sodišča bi Republika Slovenija morala iskati bolj primerno in učinkovito kombinacijo ukrepov ter njihovo težišče prenesti od odprave posledic suše na preprečevanje škode, ki jo povzroča suša v kmetijstvu. Najnovejše raziskave kmetijske suše in vodnega primanjkljaja v Sloveniji kažejo, da se vzorec suš in njihovo trajanje spreminja. Ključen problem ni le spremenjen, torej večji vodni primanjkljaj, ampak tudi naraščajoča spremenljivost primanjkljaja. Po izjemno sušnem vegetacijskem obdobju v letu 2003 tako lahko sledi zelo mokro vegetacijsko obdobje, kot na primer leta 2004.

2.4.2 Problematika zakonodaje o suši

Republika Slovenija na ravni ukrepov za ublažitev posledic suše nima enotne strategije za preprečevanje oziroma zmanjševanje posledic suš, ima pa monitoring zgodnjega obveščanja o suši in programe odprave posledic škode v kmetijstvu. Problem suš se rešuje

razpršeno, in sicer vsebinsko (meteorološki, hidrološki, kmetijski vidik) in institucionalno. Do podobne ugotovitve je prišlo tudi Računsko sodišče (2007) v revizijskem poročilu o smotrnosti ravnanja Republike Slovenije pri preprečevanju in odpravi posledic suše v kmetijstvu, ki kot prednostne dejavnosti za ublažitev posledic suše izpostavlja:

- pripravo celovitega kratkoročnega in dolgoročnega programa za ublažitev posledic suše;
- oblikovanje stalnega medresorskega komiteja za sušo, ki bi usmerjal, usklajeval in nadziral aktivnosti, povezane s problemom suš, ter smiselno povezoval vpletene institucije, ter
- vzpostavitev informacijskega sistema za zgodnje napovedovanje suše in obveščanje.



Slika 19: Letni delež suše v ocenjeni škodi glede na vse naravne nesreče v Sloveniji v obdobju 1994–2008 (Ocenjena škoda ..., 2009).

Figure 19: Annual share of damage due to drought related to all natural disasters in Slovenia in the period from 1994 to 2008 (Ocenjena škoda ..., 2009).

Od tega je bil preventivnim ukrepom namenjen le neznamen delež. Med preventivnimi ukrepi je bila zgolj gradnja namakalnih sistemov, ustrezno kolobarjenje in izobraževanje kmetov o izbiri in gojenju ustreznih kultur, odpornih proti suši. V Sloveniji še nimamo krovne dokumenta o upravljanju suše. Pripravo akcijskega načrta za upravljanje suše predvideva tudi Konvencija Združenih narodov o boju proti dezertifikaciji v tistih državah, ki doživljajo hudo sušo in/ali dezertifikacijo (v originalu UN Convention to Combat Desertification – UNCCD). Za koordinacijo dejavnosti, povezanih s konvencijo znotraj Slovenije, in izpolnjevanje obveznosti, ki izhajajo iz nje, Slovenija potrebuje medresorsko telo za vprašanja, povezana na sušo. Konvencija Združenih narodov o boju proti dezertifikaciji v tistih državah, ki doživljajo hudo sušo in/ali dezertifikacijo, je bila sprejeta leta 2001 (Zakon o ratifikaciji ..., 2001). V 10. členu narekuje pripravo državnih programov ukrepov za pripravo na sušo in ublažitev njenih posledic. Leta 2012 je Agencija RS za okolje dala pobudo za ustanovitev medresorske skupine za upravljanje suše (Predlog ustanovitve ..., 2012).

Dosedanji sistem za odpravo posledic suše je precej pomanjkljiv. Pristojnosti posameznih organov niso jasno določene, ni ustrezne strategije, programov ter letnih načrtov varstva

pred sušo. Za učinkovitejše preprečevanje posledic so nujni programski in izvedbeni cilji ter ne nazadnje krovni predpis, ki bo urejal vse možne preventivne ukrepe. Državna pomoč je do zdaj potekala iz razpoložljivih virov proračunske rezerve, v prihodnje naj bi se škoda pokrivala tudi prek vzajemne zavarovalnice oziroma rizičnega sklada. Sklad bo namenjen izplačevanju nadomestil škod pri tveganjih naravnih nesreč, ki jih ni mogoče zavarovati. Zakonske podlage za ustanovitev rizičnega sklada so še v pripravi.

Ne glede na to bi se moralo težišče ukrepov od odprave posledic suše prenesti na preprečevanje nastanka škode v kmetijstvu oziroma na blažitev njenih posledic, še posebno, ker suša ni več nepredvidljiv pojav. Najbolj učinkovit in zanesljiv način obrambe pred kmetijsko sušo so namakalni sistemi. Treba pa je upoštevati ekološki vidik namakanja, potrebne količine vode in ekonomsko upravičenost naprave. Podatki kažejo, da se obseg namakanih površin v zadnjih letih zmanjšuje, nepopolne so evidence namakalnih površin, slabo je tudi vzdrževanje namakalnih sistemov. Vse to kaže na neučinkovitost pri izvajanju ukrepov povečanega obsega namakanja.

Slovenska zakonodaja z Zakonom o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami – ZVNDN (1994) – ureja področje preprečevanja ter odprave posledic naravnih nesreč, kamor uvršča tudi sušo. Za naravno nesrečo se štejejo neugodne vremenske razmere po predpisih o kmetijstvu in odpravi posledic naravnih nesreč, ki jih poleg suše povzročijo žled, pozeba, neurje, toča ali živalske in rastlinske bolezni ter rastlinski škodljivci. Zakon določa, da morajo država, občine in druge samoupravne lokalne skupnosti organizirati varstvo pred naravnimi in drugimi nesrečami kot enoten in celovit sistem v državi; določeno je tudi, da bi bilo treba izdelati posebne strategije varstva, ki bi vključevale dolgoročne in kratkoročne cilje varstva, konkretne preventivne ukrepe ter priporočila za pripravljenost in ukrepanje ob nesreči. Opazovanje, obveščanje in alarmiranje se izvaja tudi na podlagi obvestil opazovalnih in nadzornih služb, organiziranih za spremljanje meteoroloških, hidroloških, ekoloških in drugih razmer. Upravne in strokovne naloge zaščite, reševanja in pomoči ter druge naloge varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami opravljajo Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje (URSZR) ter organizacijske enote v regijah. Pri tem sodeluje tudi Agencija RS za okolje, ki izvaja monitoring in pripravlja strokovne podlage za ukrepe. V Sloveniji se suša zakonsko obravnava v primeru, ko je razglašena kot naravna nesreča. Dosedanja praksa pri pojavu suše kot naravne nesreče je usmerjena predvsem v blažitev že nastalih posledic suše oziroma gospodarske škode. Zakon o odpravi posledic naravnih nesreč – ZOPNN (2003) – določa pogoje in način uporabe sredstev iz proračuna Republike Slovenije pri odpravi posledic naravnih nesreč ter pogoje in način njihovega pridobivanja oziroma dodeljevanja z namenom, da pomoč prizadetim zaradi naravne nesreče zagotovi čimprejšnje varno bivanje in ponovno izvajanje dejavnosti.

Slovenski sistem varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami je v Evropski uniji posebnost. Med mnogimi nalogami Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje, ki je organ v sestavi Ministrstva za obrambo ter opravlja upravne in strokovne naloge varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, je od leta 2003 tudi ocenjevanje škode po naravnih in drugih nesrečah na kmetijskih pridelkih ter ocenjevanje škode na stvareh. V drugih državah EU sta ocenjevanje in povračilo škode prepuščeni odnosu zavarovalnica–zavarovanec oziroma nimajo razvite državne pomoči svojim državljanom za odpravo

posledic naravnih nesreč. Za ocenjevanje škode po suši je URSZR pripravil podroben postopkovnik, ki razčlenjuje naloge za vsako raven (država, regija, občina). Po nastanku nesreče prizadete občine v treh dneh pisno obvestijo pristojno izpostavo URSZR o nastanku in obsegu suše. Obvestilo poleg opisa nesreče vsebuje tudi grafični del območja nesreče (označeno na zemljevidu in slikovno dokumentirano) ter vnaprejšnjo oceno poškodovanosti kmetijskih pridelkov. Prijavljeno škodo preverijo regijske komisije in državna komisija za ocenjevanje škode. Na ogled na terenu so vabljeni tudi pristojni inšpektorji Inšpektorata Republike Slovenije za kmetijstvo, gozdarstvo in hrano oziroma pristojni inšpektorji Inšpektorata Republike Slovenije za okolje. Vse komisije sestavljajo strokovnjaki kmetijske in gradbene stroke, predstavniki ministrstev in drugi strokovnjaki. Državna komisija za ocenjevanje škode pripravi končno oceno škode na kmetijskih pridelkih in končno oceno škode na stvareh ter ju pošlje v obravnavo vladi, ki potrdi končno oceno škode na kmetijskih pridelkih in končno oceno škode na stvareh, če ta presega 0,3 promila prihodkov državnega proračuna. Pristojnemu ministrstvu za okolje naloži, naj pripravi program za odpravo posledic škode. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje (MKO) pripravi program za odpravo posledic škode na kmetijskih pridelkih, potrdi ga Vlada RS. Na podlagi ocene škode, programa odprave posledic škode na kmetijskih pridelkih in sklepov Vlade RS o dodelitvi sredstev iz državnega proračuna Agencija RS za kmetijske trge in razvoj podeželja (ARSKTRP) izda odločbe o dodelitvi sredstev za odpravo posledic škode v kmetijstvu. MKO pripravi program za odpravo posledic škode na stvareh, potrdi ga Vlada RS. Na podlagi ocene škode, programa odprave posledic škode na stvareh in sklepov Vlade RS o dodelitvi sredstev iz državnega proračuna MKO izda odločbe o dodelitvi sredstev za odpravo posledic škode na stvareh (Jakšič, 2010).

Za potrebe ocenjevanja škode na kmetijskih pridelkih zaradi naravnih nesreč je bil leta 2006 na URSZR zasnovan sistem za ocenjevanje škode (tudi po suši) na kmetijskih pridelkih. Občinam je omogočen vnos škode, ki jo oškodovanci prijavijo na obrazcu 1 za oceno škode na kmetijskih zemljiščih, obrazcu 2 za oceno škode na kmetijskih pridelkih, obrazcu 3 za oceno škode za uničeno stavbo, obrazcu 4 za oceno delne škode na stavbi in obrazcu 5 za oceno škode na gradbeno-inženirskih objektih. Za izračun škode se uporabljajo potrjeni ceniki. Informacijski sistem AJDA povezuje podatkovne zbirke v državni upravi, kot so zbirke podatkov iz registra kmetijskih gospodarstev in zbirke podatkov Geodetske uprave (Register prostorskih enot, Zemljiški kataster, Kataster stavb itn.) (Jakšič, 2010).

Z uvedbo seznama poškodovanih kmetijskih kultur in določitvijo praga največje poškodovanosti sta onemogočena vnos kmetijskih kultur, ki niso bile poškodovane, in vnos neresničnih odstotkov poškodovanosti kmetijskih kultur. Na podlagi KGM-MID se izpišejo vsi podatki o oškodovancu in njegovih poškodovanih površinah.

Program odprave posledic škode v kmetijstvu je bil nazadnje izveden ob suši leta 2012 (Programi odprave ...,2013). Skladno z ZOPNN (2003) ter Uredbo o metodologiji za ocenjevanje škode (2003) so v 122 občinah občinske komisije zbrale podatke oziroma vloge 17.279 oškodovancev o prizadetih kmetijskih kulturah in stopnji njihove poškodovanosti. Podatke so poslale izpostavam Uprave RS za zaščito in reševanje, te pa Upravi RS za zaščito in reševanje, ki je pripravila končno oceno neposredne škode v tekoči kmetijski proizvodnji zaradi suše v letu 2012. Vlada RS je obravnavala in sprejela ter

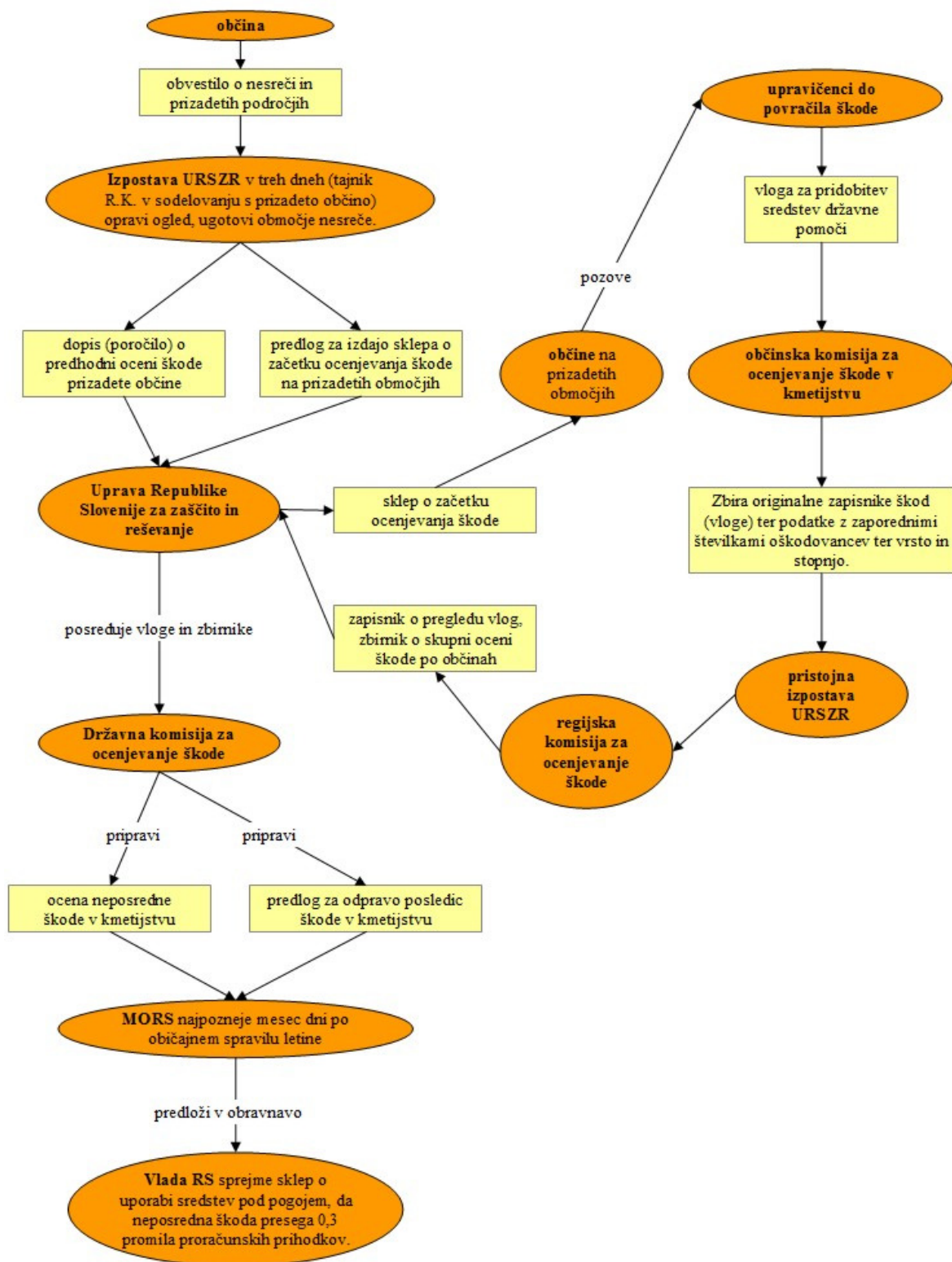
potrdila dokončno oceno neposredne škode v tekoči kmetijski proizvodnji zaradi suše v letu 2012. Ta je znašala 56,510.351,55 EUR in je prizadela 106.540,02 ha kmetijskih površin v 122 slovenskih občinah. S Programom odprave posledic škode v kmetijstvu zaradi suše leta 2012, ki ga je sprejela vlada, je bilo v letu 2013 iz sredstev proračunske rezerve zagotovljenih 5,651.035,16 EUR (v višini 10 % ocenjene višine neposredne škode) oškodovancem – nosilcem kmetijskih gospodarstev, kjer je bila zaradi suše običajna letna proizvodnja posamezne kmetijske kulture zmanjšana za več kot 30 % (Program odprave ..., 2013).

Pri dodelitvi višine sredstev za odpravo posledic škode v kmetijstvu je treba upoštevati, da se državna pomoč po programu posameznim upravičencem dodeli na način, da višina dodeljenih sredstev ne presega omejitve višine dodeljenih sredstev, kot jo določajo predpisi, ki urejajo državne pomoči in kot je opredeljeno v 1. in 2. odstavku 40. člena ZOPNN ter je sorazmerna z višino ocenjene škode posameznemu upravičencu (Programi odprav ..., 2013).

Postopek odločitev o porabi sredstev za odpravo posledic škode je prikazan na sliki 20. S programom odprave, ki ga sprejme Vlada RS, se določijo:

- kmetijske rastline, ki so zaradi naravne nesreče poškodovane,
- občine, kjer je nastala škoda v kmetijstvu,
- ocena o stopnjah poškodovanosti kmetijskih rastlin,
- ocena o površini prizadetih kmetijskih zemljišč,
- ocena o številu upravičencev do sredstev za odpravo posledic škode v kmetijstvu,
- ocena potrebnih sredstev za odpravo posledic škode v kmetijstvu,
- strokovna izhodišča za določitev geografsko zaokroženih območij,
- verifikacija podatkov o poškodovanosti kmetijskih rastlin na posameznih kmetijskih zemljiščih,
- občine, ki morajo imenovati občinske komisije za zbiranje vlog upravičencev,
- obrazci za vloge upravičencev,
- nosilci oziroma strokovnjaki za določitev geografsko zaokroženih območij,
- nosilci oziroma strokovnjaki za verifikacijo podatkov o poškodovanosti kmetijskih rastlin iz vlog upravičencev,
- višina in način izplačila predplačil za odpravo posledic škode v kmetijstvu upravičencem, pri čemer višina predplačil ne sme presegati odstotkov ocenjene neposredne škode,
- način izplačila sredstev za odpravo posledic škode v kmetijstvu upravičencem in
- ocena sredstev za financiranje posamezne naloge iz prejšnjih alinej (Računsko sodišče, 2007).

Predlog potrjene višine škode za posamezne upravičence pripravi resorsko ministrstvo (danes MKO) in ga skupaj s priloženim meteorološkim poročilom (pripravi ga Urad za meteorologijo Agencije RS za okolje) o pojavu naravne nesreče, obrazložitvijo določitve geografsko zaokroženih območij, izračunom povprečne stopnje poškodovanosti in opisom verifikacije podatkov o stopnjah poškodovanosti kmetijskih rastlin predloži Komisiji za odpravo posledic škode v kmetijstvu v potrditev. Več o metodiki meteorološkega poročila o kmetijski suši je v poglavju 2.4.2.1.



Slika 20: Odločanje o uporabi sredstev za odpravo posledic škode (Računsko sodišče, 2007).
 Figure 20: Decision making about sources for damage relief (Računsko sodišče, 2007).

2.4.2.1 Agrometeorološke analize za potrebe odprave posledic suše

Skladno z ZOPNN (2003) in Uredbo o metodologiji za ocenjevanje škode (2003) je osnova in kriterij za nabor izbranih občin karta površinske vodne bilance tal oziroma jakosti kmetijske suše v sušnem letu. Analiza se izvede na osnovi meteoroloških (padavinskih in klimatoloških) postaj Agencije RS za okolje (leta 2012 jih je bilo 212). Izbrano obdobje suše je določeno arbitrarno (leta 2012 od 20. junija do 20. avgusta); odraža kritično obdobje razvoja večine zaradi suše poškodovanih kmetijskih rastlin.

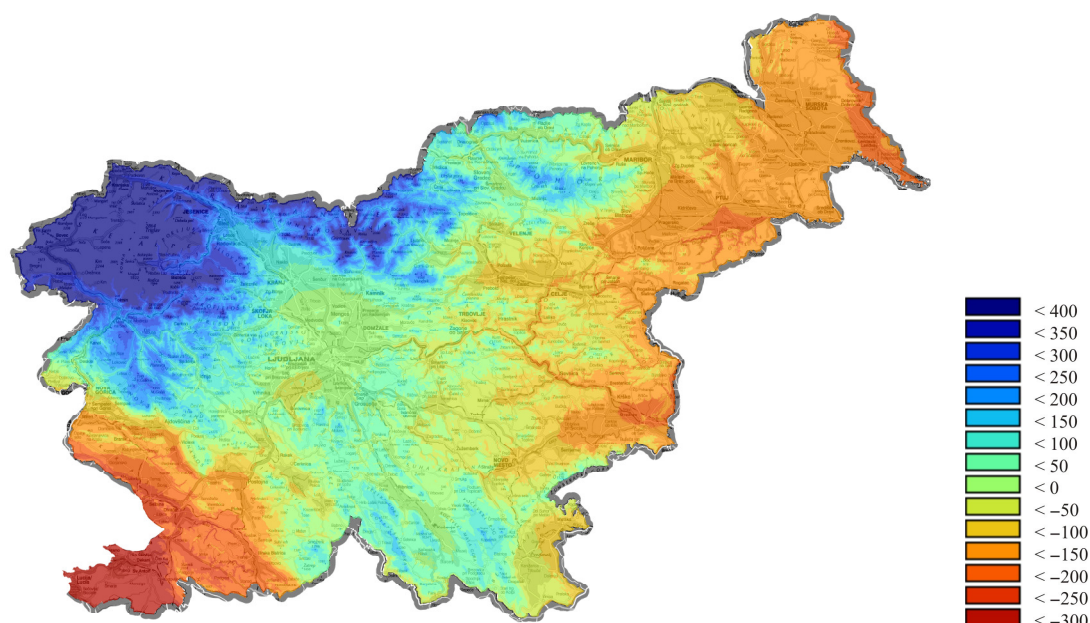
Na manjšem številu klimatoloških postaj (leta 2012 jih je bilo na voljo 34) je z obstoječim naborom merjenih meteoroloških spremenljivk možen izračun potencialne evapotranspiracije. S pomočjo geostatističnih metod za prostorsko interpolacijo je mogoče iz omenjenih meritev pripraviti padavinsko karto in karto potencialne evapotranspiracije za referenčno rastlino za omenjeno obdobje ter izračunati razliko med količino padavin in potencialno evapotranspiracijo, ki pomeni primanjkljaj površinske vodne bilance in je povezan s sušnim stresom.

Poleg vodne bilance so od leta 2006 dalje upoštevane tudi vodnozadrževalne lastnosti tal (efektivna poljska kapaciteta). Glede na efektivno poljsko kapaciteto so tla razdeljena v 5 razredov. Glede na vrsto tal se izoblikujejo kriteriji, po katerih se za izbrano obdobje upoštevajo vsa območja z vodnim primanjkljajem.

Prostorska analiza vodne bilance (pripravljena v pravilni mreži točk z ločljivostjo 100 m x 100 m) je dalje preračunana na izbrane prostorske enote – katastrske občine. Pri preračunu so s pomočjo baze GERK upoštevana samo kmetijska zemljišča. Izločena so tudi kmetijska zemljišča v zaraščanju, kmetijska zemljišča, porasla z gozdnim drevjem, neobdelana kmetijska zemljišča, rastlinjaki in ekstenzivni sadovnjaki ter druga kmetijska zemljišča, ki niso v uporabi. Ker gre za kumulativno analizo, se le-ta lahko uporabi kot osnova za prostorski pregled pojava suše. Karta vodne bilance, ki je bila osnova za oceno kmetijske suše leta 2012, je prikazana na sliki 21.

Dodatno se pripravi tudi karta katastrskih občin z vrisanimi deleži površin kmetijskih zemljišč, ki ustrezajo izbranim kriterijem. Delež površin po izbranih kriterijih in zlasti izbor katastrskih občin glede na delež kmetijskih zemljišč, ki izpolnjujejo pogoje sušnih kriterijev (vse ali kakšnega od njih), je stvar nadaljnjih analiz in se iz leta v leto spreminja. Ker gre za kumulativno analizo posledice za specifične rastline niso neposredno sorazmerne z deleži zemljišč pod izbranimi kriteriji. Prostorski pregled kumulativne vodne bilance za izbrano obdobje in ocena škode kmetijskih kultur po posameznih geografskih območjih pogosto ne odražata dejanskega stanja na ravni parcele.

Veliko težav povzroča tudi verifikacija škode na geografsko zaključenih območjih na osnovi vodne bilance. Leta 2012 je bila v vnaprejšnji oceni stopnja poškodovanosti v širokem razponu na primer koroza na območju Kmetijsko-gozdarskega zavoda Murska Sobota na 10.820 ha poškodovana od 20- do 90-odstotno, travinje na 10.336 ha od 30- do 90-odstotno (Program odprave ..., 2013). Široke meje ocene poškodovanosti otežujejo interpretacijo vodne bilance in stanja suše za različne kmetijske rastline na ravni občine.



Slika 21: Karta vodne bilance (mm) v obdobju 20. junij–20. avgust 2012 (Predlog ustanovitve ..., 2012).

Figure 21: Map of water balance (mm) for the period from July 20 to August 20, 2012 (Predlog ustanovitve ..., 2012).

2.5 SPREMLJANJE SUŠE V SVETU IN PRI NAS

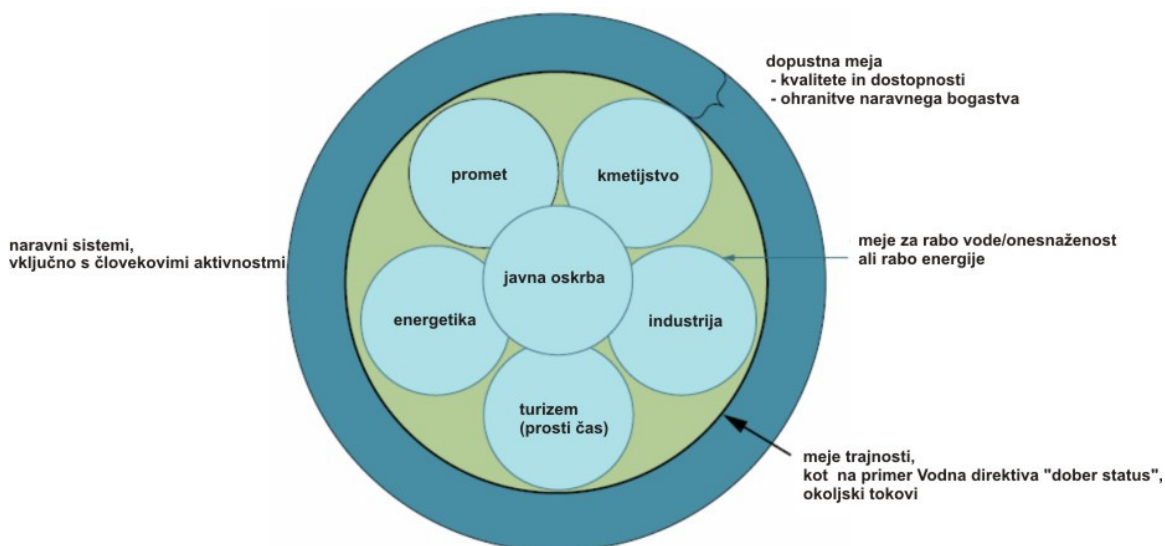
Zaradi težav s sušo in velikih gospodarskih škod v svetu narašča tudi število študij, ki se osredotočajo na monitoring suše in zgodnje opozarjanje na sušo (Wilhite in Svoboda, 2000; Svoboda in sod., 2002), na ranljivost in tveganje zaradi suše (Wilhelmi in sod., 2002; Brunetti in sod., 2002; Heim, 2002; Wu in Wilhite, 2004) ter na politiko in upravljanje suše (Liu in Kogan, 1996; Kogan, 2000; Sonnett in sod., 2006; Brown in sod., 2008).

Razmerja med podnebnim in kmetijskim sistemom pomagajo pojasniti zgodovinski nizi meteoroloških, hidroloških in ekoloških podatkov ter podatkov iz kmetijstva. Omogočajo statistično vrednotenje in ocenjevanje podnebnih in vremenskih tveganj, ki so osnova za načrtovanje in operativno vodenje kmetijske pridelave. Daljši časovni nizi meteoroloških spreminljivk so tudi osnova za klimatološko sledenje pojava suš v kmetijstvu.

Na splošno je zaradi specifičnih lastnosti suše zelo težko analizirati ranljivost in tudi tveganje za sušo po podobnem ključu kot druge naravne nesreče. Nastala škoda nam pogosto ne poda dejavnikov, ki so v nerazvitem svetu vplivali na umrljivost zaradi suše, na drugi strani tudi ne obstaja jasna pot, kako prevesti meteorološko sušo v kmetijsko sušo, saj je odvisna od kmetijskega sistema in tudi od posamezne kmetijske rastline. Zato je tveganje in ranljivost ter njihov vpliv na dohodek, porabo, razvoj in produktivnost najboljše analizirati na lokalni ravni in v kontekstu specifičnih študij. Zaradi kompleksnosti suše so bili v svetu razviti številni kazalci. Regionalne in globalne analize suše seveda zajemajo večjo količino podatkov iz različnih virov. Potrebna sta tudi standardizacija in izbor lokalnih podatkov.

Regionalna analiza se razlikuje od lokalne, kjer stremimo k čim večjemu naboru podatkov in vključitvi vseh relevantnih podrobnosti v analizo, še posebno kadar analiziramo kmetijsko sušo. Kljub naraščajoči pogostnosti in intenzivnosti suš na mnogih območjih sveta še vedno ni univerzalnega pristopa k spremljanju stanja suš in sistema zgodnjega obveščanja o suši.

Prav tako je zelo težavna vzpostavitev monitoringa, ki bi vključeval vse segmente, tj. ugotavljal vplive suš na vse sektorje, da bi zagotovil podporo (uporabne informacije) politikam pri odločitvah. Ne nazadnje je v zadnjem času veliko naporov usmerjenih tudi v bolj učinkovito rabo vode v vseh gospodarskih sektorjih. Vodni ekosistemi so vitalno premoženje, ki ima pomembno vlogo pri varnosti. Pri tem je treba paziti, da raba vode ne preseže ekosistemskih meja trajnosti. Trajnostno upravljanje vodnih virov zahteva tudi zagotavljanje primerne količine vode za delovanje posameznih gospodarskih dejavnosti. To zahteva opozarjanje o statusu, trendih vodnih virov tako v količinskem kot tudi v kakovostnem stanju. Vzpostavitev monitoringa suš zahteva tudi vzpostavitev pravil, ki zagotavljajo takšno ekonomsko aktivnost, da ne presega ekosistemske meje trajnosti (Water scarcity ..., 2012) (slika 22).



Slika 22: Trajnostna dodelitev vode ekosistemom in konkurenčnim porabnikom (Water scarcity ..., 2012: 8).
Figure 22: Sustainable water allocations to ecosystems and competing users (Water scarcity ..., 2012: 8).

Za prizadetega kmetovalca ali drugega uporabnika vodnih virov je nedvomno najpomembnejše spremljanje lokalnih sušnih razmer v kmetijstvu z meritvami vsebnosti vode v tleh in izračuni vodne bilance; za institucije, odgovorne za odpravo posledic suše, pa je zanimivo predvsem, kakšne so prostorske razsežnosti suše in za katera območja lahko pričakujemo relativno večjo ali manjšo škodo v različnih sektorjih.

Regionalne (in tudi mednarodne) analize suše zajemajo večjo količino podatkov, zbranih iz različnih virov, pri čemer sta bistvenega pomena izbor parametrov in standardizacija podatkov.

Suša ima sicer več definicij; najbolj splošno jo lahko povzamemo kot »daljše obdobje primanjkljaja količine padavin, ki povzroča posledice v gospodarskem in družbenem

okolju«. Že iz te najbolj splošne definicije je razvidno, da gre za naraven pojav – del podnebne variabilnosti, na katero se je treba prilagoditi. Suša pa se ne more pojaviti čez noč ali v nekaj dneh, saj bi v tem primeru (ob dejstvu, da je količina padavin zelo variabilna meteorološka spremenljivka) o suši lahko govorili vsakih nekaj dni. Zato si moramo pri obravnavi suše ogledati stanje v celotnem vegetacijskem obdobju kmetijske rastline.

Zato je v zadnjih letih v ospredju razvoj izboljšanih orodij za spremljanje suše. Sušni monitoringi in razvoj kazalcev spremljanja suše so velik izziv, saj ima suša izredno prostorsko in časovno variabilnost. Jedro iniciative se je pojavilo tudi v krogu strokovnjakov Svetovne meteorološke organizacije (WMO), ki zaradi organiziranosti meteoroloških mrež v okviru nacionalnih meteoroloških služb najhitreje lahko vzpostavijo sistematičen monitoring na osnovi že obstoječih podatkov.

Začetek, jakost in konec sušnega dogodka in njegove prostorske razsežnosti je zelo težko definirati. Procesi prve ocene suše so bili razviti v številnih državah, vendar so večinoma osnovani na že začetem sušnem obdobju (oziroma ko so že vidni prvi vplivi). To je tudi največja slabost obstoječih sistemov zgodnjega opozarjanja na sušo. Ugotovitev potrjuje tudi strokovna skupina Svetovne meteorološke organizacije (WMO Expert Group) (Towards a compendium ..., 2011). Pri vzpostavljanju monitoringa suše se težave pojavijo tudi v prostorski pokritosti mrež podatkov za spremljanje suše, kakovosti podatkov (kredibilnost in dostopnost podatkov v realnem času), lastništvu podatkov, natančnosti ocen in napovedi, uporabniški naravi sistema in produktov za zgodnje opozarjanje, pomanjkanju povezave na lokalni in globalni ravni.

Februarja 2009 je Komisija za agrometeorologijo WMO organizirala mednarodno delavnico o suši in ekstremnih temperaturah na Kitajskem (Towards a compendium ..., 2011). Priporočila delavnice so dala jasen znak WMO, naj pripravi izbor najprimernejših metod in podatkovnih virov za razvoj standardnih kazalcev suše.

Istega leta je mednarodna skupnost na medregionalni delavnici o suši v Nebraski (»Interregional workshop on indices and early warning systems for drought«, Nebraska, ZDA) pod okriljem Svetovne meteorološke organizacije in Nacionalnega centra za upravljanje suše Združenih držav Amerike sprejela Lincolnsko deklaracijo (Lincoln declaration, 2009; Hayes in sod., 2011). S pregledom stanja sistemov zgodnjega opozarjanja na sušo v različnih regijah sveta, ki opozarjajo na meteorološko, hidrološko in kmetijsko sušo, je ocenila globalno kapaciteto za zbiranje informacij glede vplivov suše ter pregled starih in novih tehnologij za sušni monitoring, glavni poudarek diskusije je bila vzpostavitev konsenza glede standardnega indeksa za opis različnih tipov suše. Glede na povečano pogostnost in jakost suše v svetu ter glede na projekcije spreminjajočega se podnebja je delavnica poudarila tudi pomen sušnega monitoringa in razvoja sistema za zgodnje opozarjanje na sušo v vseh državah sveta. Lincolnska deklaracija poziva vse države k vzpostavitvi ali implementaciji procesov sledenja suše. Oblikovano je bilo enotno stališče, da se standardiziran padavinski indeks (SPI) uporablja za karakterizacijo meteorološke suše v svetu. Težja je odločitev za vpeljavo indeksa za ugotavljanje kmetijske ali hidrološke suše.

Analiza sistemov zgodnjega opozarjanja na sušo v različnih regijah je pokazala raznolikost kazalcev, ki jih v svetu uporabljajo za ugotavljanje meteorološke, kmetijske in hidrološke suše. V svetu obstaja množica enostavnih in tudi kompleksnih kazalcev suše. Sušni indeksi so integracija ene ali več meteoroloških in hidroloških spremenljivk (padavine, temperatura, voda v tleh, rečni pretoki, raven podzemne vode in podobno) (Steinemann in sod., 2005).

Na pobudo zaključkov delavnice je junija 2010 v Murcii v Španiji potekal strokovni sestanek v soorganizaciji WMO in mednarodne strategije Združenih narodov za zmanjševanje nesreč (United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction – UN ISDR), kjer so strokovnjaki izvedli pregled sušnih indeksov za zaznavanje kmetijske suše v različnih regijah sveta, njihove prednosti in slabosti ter oceno primernosti indeksov za oceno jakosti suše in njenega vpliva na kmetijstvo (Sivakumar, 2011). Različni kazalci, skupaj s potrebnimi podatkovniki za njihov izračun, so prikazani v poglavju 2.6.5.

V Evropi je za zdaj edini krovni dokument Vodna direktiva, ki obravnava problematiko pomanjkanja vode in suše in je začel veljati konec leta 2000. V slovensko nacionalno zakonodajo je prenesen s predpisi na področju voda in varstva okolja. Usmerja izvajanje enovitega čezmejnega upravljanja voda na območju vseh držav Evropske unije. Zakonodaja prinaša korenit zasuk v evropski politiki upravljanja voda.

Dosedanjo prakso regionalno usmerjenega upravljanja voda je zamenjal sistem celovitega in ekološko usmerjenega upravljanja voda. Po suši leta 2003 se je dogajanje na področju upravljanja pomanjkanja vode in suš intenziviralo tudi na ravni Evrope. Evropska komisija je leta 2007 sprejela Sporočilo o pomanjkanju vode in suši (Water scarcity ..., 2007), ki sta mu sledili še dve poročili iz let 2008 in 2009, kjer je bilo opredeljenih nekaj spodbudnih političnih pobud na ravni EU in nacionalni ravni. Poročilo iz leta 2010 (Poročilo komisije ..., 2010) vsebuje dodatne podrobnosti o obsegu pomanjkanja vode in suše v EU ter ukrepih, ki se izvajajo za odpravljanje obeh težav.

V poročilu so določene tudi dejavnosti in glavni elementi politike na področju pomanjkanja vode in suše; to so:

- učinkovita raba vode v kmetijstvu in urbanem okolju;
- boljše načrtovanje (upravljanje povpraševanja, načrtovanje rabe zemljišč, razvoj monitoringa in kazalcev suše, večje vključevanje pomanjkanja vode in suše v načrte upravljanja povodij /NUP/ in področne politike);
- ustrezni izvedbeni instrumenti (na primer financiranje učinkovite rabe vode, določanje cen vode, razporeditev vode).

V EU v zvezi s pomanjkanjem vode in sušo še vedno obstajajo velike pomanjkljivosti v poznavanju pojavov in integralnem znanju. Za realno oceno stanja so potrebni zanesljivi in primerljivi podatki o časovni in prostorski razdelitvi dogodkov v zvezi s pomanjkanjem vode in s sušo, pričakovanih vplivih podnebnih sprememb na vodne vire in ranljivosti ekosistemov ter povezanih družbeno-ekonomskih vidikov. V okviru skupne izvedbene strategije za okvirno direktivo o vodah v obdobju 2010–2012 se strokovna skupina ukvarja z opredelitvijo kazalnikov pomanjkanja vode in suše. Za vrednotenje pomanjkanja vode oziroma suše so potrebni različni kazalci.

Kazalci pomanjkanja vode pogosto sledijo pristopu odziva na pritisk in primerjajo odvzem vode/porabo vode z njeno dolgoročno razpoložljivostjo. Skupni kazalci suše temeljijo na meteoroloških in hidroloških spremenljivkah, kot so količina padavin, pretok vodotokov, vlažnost tal, napolnjenost talnih vodnih rezervoarjev in gladina površinskih voda.

Pomemben element pri ravnanju s sušo so finančni instrumenti. Evropski skladi in državne pomoči ponujajo vse več možnosti za spopadanje s pomanjkanjem vode in sušo. Na evropski ravni bi moralo biti dodeljevanje finančnih sredstev skladno s cilji strategije Evropa 2020, vključno z okoljskimi zadevami in učinkovito rabo virov. Usmeritve reform v skupno kmetijsko politiko (SKP) navajajo, da bi morala v prihodnje neposredna izplačila obvezno vsebovati večjo prijaznost do okolja s podpiranjem okoljskih ukrepov, ki se uporabljajo na celotnem ozemlju EU, kot so na primer vzdrževanje stalnih pašnikov, travne ruše, kolobarjenje in ekološka praha. Prispevale bi lahko k izboljšanju vodnih virov, saj bi se morali kmetje dejavno ukvarjati s kmetijskimi praksami, ki so koristne tudi za kakovost vode in izboljšujejo upravljanje vode. Države članice načrtujejo, da bodo 26,9 % sredstev, namenjenih za SKP in izvajanje evropskega načrta za oživitev gospodarstva, porabile za upravljanje voda; med drugim za skladiščenje vode, za tehnologije za varčevanje z vodo in za obnovo mokrišč. V naslednjih letih bo razvoj podeželja postal nepogrešljivo orodje za ohranjanje dragocenih vodnih virov.

Suša je tudi po definiciji naravna nesreča in solidarnostni sklad EU še vedno uporablja desettedenski zamik po nastopu škode, nastale v katastrofi. Pri nesrečah, ki napredujejo počasi, kot suša, je ta določba objektivna težava pri pravočasni predložitvi vloge na komisijo.

Na nacionalni ravni se je poročalo o uporabi sredstev iz nacionalnih proračunov, sredstev EU in zasebnih sredstev za financiranje boljšega upravljanja voda in bolj učinkovite rabe vode. V več državah članicah so bile pred kratkim vpeljane vodne tarife ali pa se pripravljajo načini vračila stroškov za vodne storitve. Večina držav članic poroča o večjem merjenju porabe vode.

Na podlagi pregleda SKP morajo države članice od leta 2010 naprej opredeljevati standarde skladnosti, ki se na ravni kmetije uporabljajo za skladnost z veljavnimi nacionalnimi postopki izdaje dovoljenj za uporabo vode za namakanje. Leta 2010 so države članice sporočile standarde za izdajo dovoljenj za uporabo vode za namakanje, ki povezujejo plačila z dovoljenji. Iz nacionalnih poročil izhaja, da so postopki izdaje dovoljenj za odvzem vode v EU zelo razširjeni, nekatere države izboljšujejo veljavne postopke, da bi jih uskladile z okvirno direktivo o vodah. V EU in Švici veljajo omejitve rabe vode za ohranitev vodnih organizmov in ekološkega statusa vodnih teles, čeprav še niso bile povsod v celoti uveljavljene. Večina držav članic za reševanje težav s pomanjkanjem vode ne predvideva vzpostavitve vodnih trgov. Tudi v Sloveniji je v Zakonu o vodah ZV-1 (2002) uvedena obvezna pridobitev vodne pravice za vsako rabo vodnega vira.

Prizadevanje za boljše poznavanje fenomena suše in pomanjkanja vode je razvidno v različnih projektih, kot na primer: v okviru raziskovalnega projekta XEROCHORE so bili izdani usmerjevalni dokumenti in priporočila o bazi znanja v zvezi s sušo. Vzpostavljena je

bila platforma za izmenjavo v zvezi z vprašanji, povezanimi s sušo, ki jo zdaj vzdržuje in razvija Evropski observatorij za sušo. Sprožena sta bila raziskovalna projekta FP7, in sicer DEWFORA (izboljšano zgodnje opozarjanje in napovedovanje suše za izboljšanje pripravljenosti in prilagoditev sušam v Afriki) in SIRRIMED (trajnostna uporaba vode za namakanje v sredozemski regiji). Podobna projekta sta bila WATCH in CIRCE. Na nacionalni ravni v evropskih državah je bilo večje število raziskav povezanih s prilagajanjem podnebnim spremembam in trajnostnim upravljanjem voda. Tudi Slovenija pri tem ni izjema (Bergant in sod., 2004, 2010). Številne države so poročale o uvajanju novih izobraževalnih programov in kampanjah za ozaveščanje.

Za objektivno ugotavljanje in ocenjevanje sušnih razmer je potrebno obširno ovrednotenje suše, ki označuje vrsto, jakost, trajanje in prostorsko razprostranjenost suše v povezavi z njenimi vplivi in posledicami. Številni kmetje že delno upravljajo sušo s selekcijo, namakanjem in agrotehničnimi ukrepi.

Na sestanku vodnih direktorjev maja 2011 je bil predstavljen niz testnih kazalcev za oceno pomanjkanja vode in suš v panevropskem prostoru. Novembra 2011 (Update on water ..., 2012) so bili dogovorjeni trije operativni kazalci:

- standardiziran padavinski indeks (Standardized Precipitation Index – SPI) kot kazalec za zaznavanje in kvantifikacijo meteorološke suše trenutnega stanja z zgodovinskimi podatki. Nalogo izvaja Evropski observatorij za sušo (European Drought Observatory – EDO).
- delež absorbiranega fotosintetičnega aktivnega sončnega sevanja (Absorbed Photosynthetically Active Solar Radiation – fAPAR). To je delež solarne energije, ki jo absorbira vegetacijski pokrov, in je biofizikalna spremenljivka, direktno korelirana s primarno produkcijo vegetacije. Anomalija (odklon od dolgoletnega povprečja za izbrano obdobje) je dober kazalec za zaznavanje in oceno vpliva suše na vegetacijo.
- indeks eksploatacije/porabe vode plus (The Water Exploitation Index Plus – WEI+) pomeni indikacijo pritiskov na vodne vire nekega območja kot posledice odvzema vode.

Poleg tega so usklajeni in s strani strokovne skupine predlagani tudi številni drugi kazalci, kot na primer snežna zaloga, standardiziran indeks odtoka, podzemna voda in voda v tleh (Snowpack, Standardized Run-off Index – SRI, Groundwater in Soil Moisture). Podatki o količinah vode še vedno ne zajemajo celotne EU in tudi ne daljših obdobj, zato je še vedno težko določiti povodje s pomanjkanjem vode.

Od 11. do 15. marca 2013 je v Ženevi potekal visok politični sestanek o nacionalnih politikah, povezanih s sušo (High-level Meeting on National Drought Policy – HMNDP) (High level ..., 2013). Dogodek so organizirali Svetovna meteorološka organizacija, Konvencija ZN o boju proti degradaciji in dezertifikaciji ter številne druge agencije Združenih narodov in partnerji. Sestanek se je zaključil s konsenzom v sprejeti deklaraciji, kjer je poudarjena potreba po nacionalnih politikah upravljanja suše. Deklaracija je sestavljena iz preambule (19 preambularnih točk) in operativnega dela (5 operativnih točk).

Deklaracija je bila sprejeta, da bi spodbudila vlade k razvoju in implementaciji nacionalnih politik upravljanja suše.

Deklaracija spodbuja vlade, da:

- razvijajo proaktivno upravljanje suše, preventivne in planirane ukrepe, upravljajo tveganje, združujejo znanost, primerno tehnologijo in inovacije ter ozaveščajo javnost in upravljavce z učinkovito nacionalno politiko upravljanja suše.
- promovirajo večje sodelovanje lokalnih/nacionalnih/regionalnih/globalnih opazovalnih mrež in informacijskih sistemov za izboljšanje upravljanja suše.
- izboljšajo splošno ozaveščenost o tveganju suše in pripravljenosti na sušo.
- pretehtajo možnosti ekonomskih okvirov in finančnih strategij znotraj legalnih okvirov posamezne države pri upravljanju suše.
- vzpostavijo plan nujne pomoči, ki temelji na dobrem upravljanju naravnih virov in samopomoči pri primernem nivojskem vodenju.
- povezujejo plane upravljanja suše z lokalnimi/nacionalnimi politikami.
- bolje upravljajo sušo, kar je ena od prioritet Globalnega okvira za klimatske storitve (Global Framework for Climate Services – GFCS), ki so ga implementirale vlade s podporo Klimatskih storitev servisa Združenih narodov, da bi povečale prožnost odziva na sušo z izboljšanjem klimatskih informacij in storitev, še posebno v najbolj občutljivih družbah. Poseben poudarek je na izboljšanju zmogljivosti podnebnih napovedi.
- z GFCS omogočajo globalni dostop do izboljšane servisa za štiri glavne sektorje – varnost hrane in kmetijstvo, voda, zdravje in zmanjševanje tveganja – do leta 2017.
- predstavijo zaključke visokega političnega segmenta na Konferenci pogodbenic Konvencije ZN o degradaciji/dezertifikaciji tal (UNCCD) v septembru 2013.

Slovenija se s podpisom deklaracije zavzema za boljše upravljanje suše, še posebno tudi kot nosilka DMCSEE.

2.5.1 Ameriški center za upravljanje suše

Številne študije so pokazale, da ima razvoj sušnih monitoringov najdaljšo tradicijo v Združenih državah Amerike, Avstraliji in Južni Afriki. V Evropi se intenzivneje razvijajo šele po hudi suši leta 2003.

Ameriški nacionalni center za upravljanje suše (The National Drought Mitigation Center – NDMC) je bil ustanovljen leta 1995 in ima sedež na Univerzi v Nebraski (School of Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln). Aktivnosti centra so usmerjene v izdelavo produktov sušnega monitoringa (U. S. Drought Monitor) ter vzdrževanje spletne strani, razvoj poročil o vplivu suše (U. S. Drought Impact Reporter), razvoj orodij za planiranje in upravljanje suše, pripravo politik in ozaveščanje splošne in strokovne javnosti (NDMC, 2013). Zaradi velikih ekonomskih škod se je povečalo tudi zanimanje za boljšo definicijo, tako za monitoring kot tudi za napovedovanje suše. Suše v Združenih državah Amerike so na tretjem mestu po škodah zaradi naravnih nesreč. Od leta 2000 do 2010 so izgube kmetijskih pridelkov v ZDA v večini povzročile suše (Special report ..., 2012; National weather ..., 2011). Dodatno so suša in sušne razmere povezane z večjo požarno aktivnostjo v Severni Ameriki in Kanadi, ki se je očitno povečala zaradi višjih temperatur zraka in zgodnejšega taljenja snega (Westerling in sod., 2006; Westerling in Bryant, 2008). V ZDA je od leta 2001 večji del aridnega dela jugozahoda države (Kalifornija, Nevada, Utah, Arizona, Nova Mehika) prizadet zaradi daljših sušnih obdobj. Najbolj obširne so bile suše v letih 2002, 2003, 2007, 2009 in 2012 (NDMC, 2013). Sušni monitoring je bil zasnovan kot projekt Oddelkov za trgovino in kmetijstvo (Departments of Commerce and Agriculture) leta 1999. V naslednjih letih se je pridružil še nacionalni klimatski center (National Climatic Data Center – NOAA/NCDC).

Intenzivnost suše kategorizirajo na osnovi petih ključnih in številnih drugih dodatnih kazalnikov. NDMC uporablja naslednje skupine podatkov, orodij in informacij za oceno suše in vpliva:

- klimatološki kazalci suše;
- podatki daljinskega zaznavanja;
- napovedi;
- hidrološki podatki.

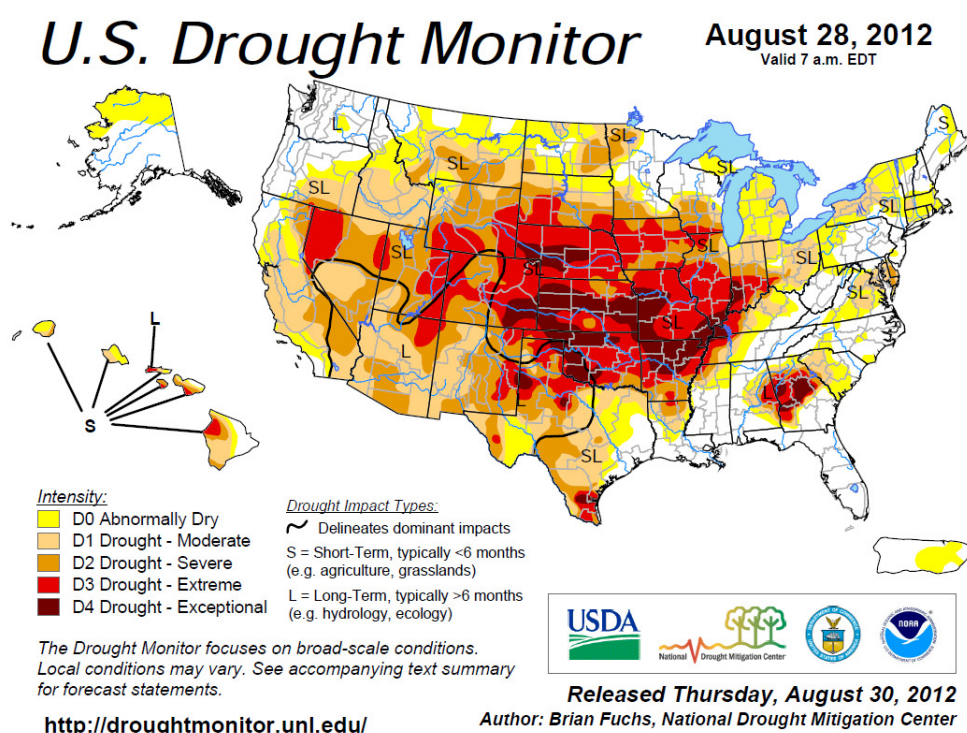
Sušni monitor (Drought Monitor) vključuje naslednje klimatološke indekse: indeks vlažnosti poljščin (Crop Moisture Index – CMI), Keetch-Byramov sušni indeks, padavinsko analizo, Palmerjev indeks jakosti suše (Palmer Drought Severity Index – PDSI), podatke o podnebnih anomalijah (SNOTEL Climate Anomaly) in standardiziran padavinski indeks (Standardized Precipitation Index – SPI).

On-line karte SPI so začeli objavljati leta 1999. Trenutne in arhivske karte 1-, 3-, 6-, 9-, 12-mesečnega in medletnega SPI obnavljajo mesečno. Za kartografijo SPI uporabljajo Grid Analysis and Display System (GrADS). Karte so dostopne za 30-, 60- in 90-dnevna obdobja, 6 in 12 mesecev, koledarsko leto (od 1. januarja) ter vodno leto (od 1. oktobra). Arhiv obstaja od leta 2003.

Sušni monitoring predstavlja povzetek sušnih razmer v Združenih državah Amerike in Portoriku. Karte izdelujejo na osnovi kombinacije različnih kazalcev in informacij lokalnih

strokovnjakov, sestavljenih v skupen sušni kazalec. Karta predstavlja stopnjo jakosti suše (od stopnje D1 do D4) in stopnjo »abnormalne sušnosti« (D0). Prikazana so tudi območja, kjer obstajajo vplivi suše na kmetijstvo (A) in hidrologijo (H). Na ta način označujejo kratkotrajen oziroma dolgotrajen primanjkljaj padavin (slika 23).

Kombinacija kazalcev, indeksov in strokovnih ocen je nujna, ker indeksi, kot na primer Palmerjev indeks jakosti suše, ne določajo lastnosti suše, ki bi bila lahko splošno uporabna. V primeru kmetijstva je Oddelek za kmetijstvo uporabljal PDSI pri določanju državne pomoči, vendar so ugotovili, da je PDSI primeren za večja, po topografiji homogena območja. Zato za zahodni del ZDA, ki ima gorate predele in kompleksno regionalno topografijo, kombinirajo Palmerjev indeks jakosti suše z drugimi kazalci.



Slika 23: Sušni monitoring v Združenih državah Amerike (Archive. U.S. Drought ..., 2012).
Figure 23: U. S. Drought monitor (Archive. U.S. Drought ..., 2012).

Kmetijsko sušo opisujejo kot pomanjkanje vode za rast rastlin in druge aktivnosti zaradi manjše količine padavin. Za oceno poleg prej omenjenih klimatoloških indeksov vključujejo indeks odziva vegetacije (Vegetation Drought Response Index – VegDRI). VegDRI je dvotedenski prikaz vegetacijskega stresa na ozemlju ZDA. Je indeks v resoluciji 1 km², ki temelji na podatkih daljinskega zaznavanja. V nasprotju z drugimi meritvami na osnovi podatkov daljinskega zaznavanja vsebuje tudi podnebne (PDSI, SPI) in biofizikalne podatke (raba tal, dostopna voda v tleh, ekoregije, namakanje, nadmorska višina) za določitev vzroka za stres vegetacije (NDMC, 2013). Več o produktu je dostopno na: http://gisdata.usgs.net/website/Drought_Monitoring.

Zanimiv element NDMC je tudi t. i. poročevalec o vplivu suše (Drought Impact Reporter – DIR), ki so ga začeli uporabljati leta 2005. Tega leta je bilo vzpostavljeno obširno

nacionalno podatkovno skladišče o negativnih vplivih suše. Leta 2011 je bila baza dopolnjena in urejena v smiselno celoto. Pri tem sta sodelovali Nacionalna administracija za oceane in atmosfero (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) in Agencija za upravljanje tveganj Oddelka za kmetijstvo (U. S. Department of Agriculture’s Risk Management Agency).

2.5.2 Evropski observatorij za sušo in lokalni monitoring suše v Evropi

V Evropi se razvija prototip evropske opazovalnice za sušo (European Drought Observatory – EDO), ki omogoča neprekinjeno spremljanje kazalcev suše po Evropi in njihov kartografski prikaz na strežniku. Vsi kazalci pokrivajo Evropo in so prikazani kot dejanski podatki in kot odstopanje od pričakovanega dolgoletnega povprečja.

Preglednica 5: Kazalci suše, uporabljeni v sklopu Evropskega observatorija za sušo (Factsheets of EDO..., 2013).

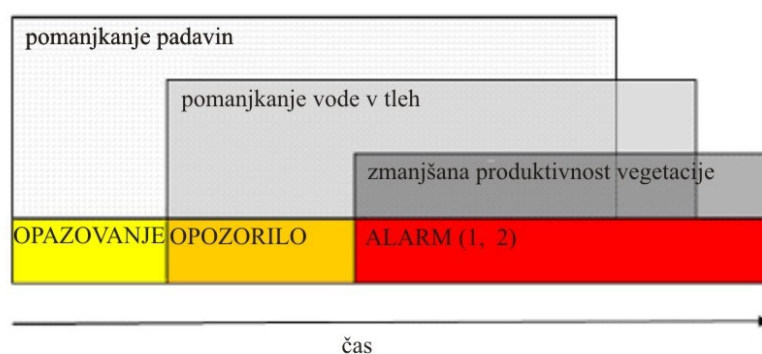
Table 5: Drought indicators used by European Drought Observatory (Factsheets of EDO ..., 2013).

Kazalec	Tip	Čas	Prostor	Pokritost
standardiziran padavinski indeks (Standardized Precipitation Index – SPI)	padavine (Global Precipitation – GPCC)	mesečna (za različna obdobja akumulacije) za 3, 6, 9, 12, 24, 48 mesecev	odvisno od dostopnosti podatkov	Evropa in globalno
kombiniran sušni kazalec (Combined Drought Indicator – CDI)	vegetacijski odziv (kombinacija SPI3, vode v tleh in fAPAR)	10-dnevni produkt	5 km	Evropa
voda v tleh (Soil Moisture-pF) - odklon - prognoza	voda v tleh (produkt model LISFLOOD – vodnobilančni model evropskega sistema za opozarjanje na poplave European Flood Alert System – EFAS)	dnevna	5 km	Evropa
normaliziran kazalec stanja vode v vegetaciji (Normalized Difference Water Index – NDWI) (Gao, 1996; Ceccato in sod., 2001)	vegetacijski odziv (indeks na osnovi daljinskega zaznavanja infrardečega in kratkovalovnega infrardečega kanala)	10-dnevni produkt	1 km	Evropa
standardiziran indeks snežne zaloge (Standardized Snowpack Index – SSPI) (Takala in sod., 2011)	relativni volumen snega (kombinacija zemeljskih meritev in daljinskega zaznavanja) (GlobSnow produkti)	dnevna (10- in 30-dnevne akumulacije) glede na povprečje 1979–2010		Evropa

EDO spada med storitve evropskega programa za globalno spremljanje okolja in varnosti (Global Monitoring for Environment and Security – GMES) in je osnova boljšega poznavanja okolja v Evropi. Leta 2010 je bil izdelan prototip strežnika s prikazi osnovnih spremenljivk na ravni Evrope, kot so padavine, vlažnost tal in nekateri produkti daljinskega zaznavanja (fAPAR). Združeni so bili tudi rezultati evropskih projektov, kot sta bila XEROCHORE in EuroGEOSS (The 2011/2012 ..., 2012).

EuroGEOSS je bil projekt Evropske komisije z osrednjim ciljem analiziranja, povezovanja in združevanja prostorskih informacijskih sistemov. Uvedba medopravnosti poteka v okviru pobude globalnega opazovalnega sistema za zemeljsko površje (GEOSS) in skladno z direktivo o postavitvi infrastrukture za prostorske podatke v Evropski skupnosti (INSPIRE) (Kajfež Bogataj in sod., 2011). EuroGEOSS temelji na treh strateško pomembnih področjih, in sicer gozdovih, biodiverziteti in sušah.

Kot je bilo omenjeno na začetku poglavja, je WMO leta 2010 izbrala SPI (McKee in sod., 1993) kot ključni sušni kazalec za operativne meteorološke službe. EDO podobno kot NDMC uporablja več različnih kazalcev suše (preglednica 5). Napredek pri uporabi skupnih kazalcev pomanjkanja vode in suše je bil dosežen v okviru skupne strategije izvajanja za Okvirno direktivo o vodah.



Legenda kategorij CDI:

opazovanje	padavinski primanjkljaj	$SPI3 < -1$
opozorilo	primanjkljaj vode v tleh	$pF > 1$ in $SPI3 < -1$
alarm 1	vegetacijski stres glede na padavinski primanjkljaj	anomalija $fAPAR < -1$ in $SPI3 < -1$
alarm 2	vegetacijski stres glede na padavinski primanjkljaj in primanjkljaj vode v tleh	anomalija $fAPAR < -1$, anomalija $pF > 1$ in $SPI3 < -1$

Slika 24: Prezentacija treh stadijev idealiziranega vzročno-posledičnega razmerja kmetijske suše, ki informira o konceptu kombiniranega sušnega kazalca (CDI) in povezanih stopenj opozarjanja na sušo, ki so izhodne spremenljivke CDI (Sepulcre-Canto in sod., 2011: 3521).

Figure 24: Representation of the three stages of the idealized agricultural drought cause–effect relationship that inform the concept of the combined drought indicator (CDI) and the associated warning levels that are outputs of the CDI (Sepulcre-Canto et al., 2011: 3521).

Podrobnejše informacije o kazalcih, njihove prednosti in slabosti posameznega indeksa so objavljene na spletni strani EDO (Factsheets of EDO ..., 2013). Sepulcre-Canto in sod. (2012) so natančneje opisali koncept sledenja suše v EDO. CDI temelji na vzročno-

posledičnem razmerju, ki predvideva, da pomanjkanje padavin (vzrok) vodi do deficita vode v tleh in manjše produktivnosti vegetacije (vpliv). Zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo poteka prek identifikacije različnih stopenj razmerja v določenem sušnem dogodku (slika 24), in sicer:

- *Watch* (opazovanje): padavine so pod normalnimi vrednostmi. Obstaja velika verjetnost, da bo suša vplivala na kmetijstvo. Potrebno je natančno opazovanje, odziv mora biti v pripravi.
- *Warning* (opozorilo): voda v tleh je v primanjkljaju. Pričakovana je kmetijska suša. Treba je aktivirati strategije, da se zmanjša izpostavljenost.
- *Alert* (alarm): vegetacija kaže znake stresa. Suša vpliva na kmetijstvo. Nadaljevanje in razširitev odzivnih strategij in natančnega monitoringa.

Za zdaj je namen sistema le identifikacija suše in potenciala za sušo. V legendi pod sliko 24 so tudi opisani pogoji za kategorije CDI.

Še posebno pomemben del EDO portala je izmenjava podatkov, standardov in protokolov ter razvoj, test in validacija sušnih indeksov, napovedovanje suše (mesečne napovedi) in analize tveganja. Monitoringi se zaradi težnje k poenotenju kazalnikov suše in znanj o suši povezujejo. Leta 2010 so bili opravljeni prvi preizkusi meteorološkega napovedovanja suše in doseženi prvi sporazumi o združljivosti z regionalnimi, nacionalnimi in lokalnimi službami (v Španiji Observatorio Nacional de Sequías in Confederación Hidrografica del Ebro in Segura River Basin), vključno s Centrom za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi, Strokovno skupino za pomanjkanje vode in sušo znotraj EU (Water scarcity and Drought Expert Network) ter drugimi monitoringi suše v svetu.

Obstaja tudi Evropski center za sušo (European Drought Centre – EDC), ki je virtualni center oziroma platforma evropskih raziskav suše. Povezuje različne znanstvenike na področju raziskav suše v evropskem prostoru in tudi širše (EDC, 2012). Na spletni strani EDC so povezave na različne inštitucije v Evropi, ki objavljajo podatke o suši, dostopna pa so tudi orodja za sledenje predvsem hidrološke suše. Tudi Slovenija je članica EDC.

2.5.3 Center za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi – DMCSEE

Uraden začetek delovanja mednarodnega Centra za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi s sedežem na Agenciji RS za okolje sega v leto 2007. Vlada Republike Slovenije je 29. junija 2006 s sklepom odobrila kandidaturo Slovenije kot države gostiteljice DMCSEE in Agenciji RS za okolje naložila, da v primeru uspešne kandidature načrtuje sredstva za osnovno delovanje DMCSEE, širše dejavnosti pa so vezane na zunanje donacije. Od leta 2006 obstaja projektni dokument, ki so ga sprejele sodelujoče države (Albanija, Bolgarija, Bosna in Hercegovina, Grčija, Hrvaška, Madžarska, Makedonija, Moldavija in Romunija, Turčija in pozneje še Srbija in Črna gora), kjer so določene glavne aktivnosti DMCSEE. V konzorciju in upravnem odboru DMCSEE so po principu enakopravnosti zastopane vse države (14) v regiji.

Od leta 2007 dalje so bile izvedene številne aktivnosti v zvezi z izdelavo strokovnih vsebin DMCSEE, s poudarkom na izdelavi spletne strani DMCSEE in prvih meteoroloških produktih za sledenje razvoja suše v regiji; pripravljene so bile predloge in načrti za

strokovne ekspertize, povezane z raziskavami suše, izvedeno je bilo mreženje inštitucij v Sloveniji in tujini (na primer Joint Research Centre) ter iskanje možnosti za dodatno financiranje DMCSEE. Ena od glavnih funkcij DMCSEE je vzpostavitev kazalcev suše in načina zgodnjega alarmiranja. Predvidene aktivnosti na področju monitoringa in zgodnjega opozarjanja pred sušo, kot so zbiranje podatkov v regiji, vpeljava uveljavljenih sušnih indeksov in razvoj novih, se že izvajajo.

Od aprila 2009 do marca 2012 je bil del aktivnosti DMCSEE sofinanciran iz sredstev EU prek programa transnacionalnega sodelovanja v jugovzhodni Evropi. Sistem sledenja suše je nadgrajen z dinamično spletno stranjo DMCSEE, ki v kartografski obliki ponuja ocene meteorološke suše prek izračunov SPI in padavinskih percentilov. Nekaj aktivnosti je izvedenih tudi v povezavi z EDO. Cilj projekta transnacionalnega sodelovanja je bil vzpostaviti temelje za DMCSEE, ki bo koordiniral razvoj in uporabo orodij in politik za upravljanje suše, da bi izboljšali pripravljenost in zmanjšali negativne vplive suše. Projekt je vpeljal pridobivanje manjkajočih regionalnih podatkov o stanju in vplivu suše na območju ter z uporabo skupne metodologije pri analizi suše in vrednotenju njenih vplivov pridobil regionalno primerljive rezultate, ki omogočajo boljši pregled nad situacijo, predvsem za sektorje, ki so odvisni od vodne razpoložljivosti (na primer kmetijstvo, energetika in turizem).

Regionalne (in tudi mednarodne) analize suše seveda zajemajo veliko količino podatkov iz različnih virov. Potrebna sta standardizacija in izbor (v nekaterih primerih tudi filtriranje) lokalnih podatkov. Vrednost sušnih indeksov za širše območje jugovzhodne Evrope se računa s pomočjo podatkov, izmerjenih na številnih lokacijah meteoroloških postaj. Pri tem lahko uporabimo na geostatistiki temelječe metode, ki bolj ali manj posegajo v same podatke in tudi s pomočjo glajenja reducirajo informacije. Mogoče je tudi uporabiti katero od dostopnih baz podatkov o padavinah v pravilni mreži, na primer analize padavin Globalnega centra za klimatologijo padavin – GPCC. GPCC izdeluje mesečne analize padavin v pravilni mreži točk, kar je za pripravo kart zelo prikladno. Ker gre za globalne analize, temelječe na številnih podatkovnih virih, je v tem primeru vpliv lokalnih meritev padavin na končni rezultat še manjši. Izračuni SPI na podlagi podatkov GPCC so na spletni strani DMCSEE, kjer so dostopni tudi izračuni SPI za pretekla obdobja.

Alternativa uporabi točkovnih merskih podatkov ali izvedenih prostorskih analiz je uporaba numeričnih modelov za simulacijo vremena. Gre za računalniške modele, ki se sicer redno uporabljajo za vremensko napoved. Sodobni numerični meteorološki modeli so zgrajeni okrog celotnega sklopa enačb, ki opisujejo gibanje zraka v atmosferi, interakcijo med tlemi in prosto atmosfero, sončno obsevanje, vodni cikel in številne druge procese. Zaradi diskretne formulacije ti modeli uporabljajo pravilno mrežo računskih točk za izračun vremenskih spremenljivk. Število računskih točk oziroma razdalja med njimi določa vrsto procesov, ki jih je mogoče simulirati, in tudi natančnost simulacije. Po navadi so danes razdalje med točkami v mreži pri modelih za operativno napoved vremena v območju med 10 in 20 km. Ta proces je zanimiv tudi z vidika zaznavanja in napovedovanja suše. Ker pa je suša v splošnem definirana kot negativno odstopanje količine padavin od »normalnih« razmer, poleg simuliranega razvoja vremena potrebujemo tudi simulacije daljšega obdobja.

V ta namen lahko uporabimo ponovne analize vremena Evropskega centra za srednjeročne napovedi vremena (zadnje ponovne analize so bile opravljene za obdobje 1989–2010), ki omogočajo primerjave simulacij ne le z redkimi merilnimi točkami, temveč v celotni računski mreži. Gre za primerjavo površinske vodne bilance z dolgoletnim povprečjem za isto obdobje. Površinska vodna bilanca (razlika med količino padavin in izgubo vode zaradi izhlapevanja in dihanja rastlin) je izračunana za daljše obdobje. Primerjava z večletnim povprečjem za isto obdobje nam omogoči interpretacijo o pojavnosti suše, saj so v nekaterih območjih negativne vrednosti vodne bilance običajen pojav, ki ni povezan z nastopom suše.

Uporaba modelov za simulacijo razvoja vremena ni univerzalna rešitev in nikakor ne more nadomestiti uporabe merskih podatkov meteoroloških postaj. Ni niti nadomestek potrebni modernizaciji in zgostitvi meteorološke mreže. Glavna slabost je, da gre kljub vsemu za računalniško simulacijo, ki lahko od dejanskih razmer precej odstopa. Dobra lastnost uporabe teh simulacij pa je v podatkih, ki so že urejeni v pravilno mrežo točk. To omogoča boljši prostorski vpogled v situacijo in predvsem enakomerno pokriva prostor.

Eden od produktov DMCSEE je mesečni bilten. Nastal je v okviru projekta za čezmejno sodelovanje (TCP). V njem so za območje jugovzhodne Evrope analizirani temperaturne razmere, vodna bilanca in indeks SPI. Bilten omogoča hiter vpogled v aktualne sušne razmere v regiji, s poudarki, ki nakazujejo odstopanje od normalnih (povprečnih) razmer. Pomemben segment biltena so poročila o dejanskih sušnih razmerah na posameznih območjih, ki so vložek posameznih držav oziroma regij, vključenih v center. Posebno poglavje je namenjeno temperaturi in vodni bilanci za prihodnje obdobje. Bilten je dosegljiv na spletni strani DMCSEE (<http://www.dmcsee.org>), kjer so objavljeni še številni drugi članki, spletne novice in analize razmer (Drought bulletin ..., 2013).

S projektom Eurogeoss (Medved - Cvikel in sod., 2012) je DMCSEE pridobil tudi izboljšano infrastrukturo za prostorski prikaz suše v regiji, ki je integrirana v infrastrukturo EDO. Vzpostavljene so bile kontaktne vstopne točke za sušne indikatorje na kontinentalni in subkontinentalni ravni. V prikazovalniku EDO so integrirana tudi merilna mesta meteorološke mreže ARSO za Slovenijo za obdobje 1974–2010 za vse mesece v letu.

2.5.4 Sledenje kmetijske suše v Sloveniji

Tudi v Sloveniji se razvija sistem za spremljanje suš. Slovenija vzpostavlja zasnovo operativnega monitoringa vseh tipov suše v sklopu hidrološkega in meteorološkega monitoringa na Agenciji RS za okolje (ARSO).

Za sledenje kmetijske suše so bistvenega pomena prostorska pokritost slovenskega kmetijskega prostora z meteorološkimi postajami, različni tipi opazovanj in dostopnost podatkov. V Sloveniji 13 profesionalnih opazovalcev dnevno pošilja podatke s sinoptičnih postaj, kjer večkrat dnevno izmerijo vse meteorološke spremenljivke. Na padavinskih postajah meri opazovalec padavine le enkrat dnevno ob 7.00. Podatke na posebnih obrazcih mesečno pošiljajo na ARSO, zato so dostopni z mesečno zamudo. Enak je postopek na klimatoloških postajah, le da meri opazovalec tudi temperaturo zraka in

relativno vlažnost, minimalno in maksimalno temperaturo, opiše stanje oblakov, vidnost, stanje tal in zabeleži veter trikrat dnevno (ob 7.00, 14.00 in 21.00). Ti podatki so potrebni za izračun referenčne evapotranspiracije. Trenutno je v Sloveniji tudi 50 avtomatskih postaj, ki pošiljajo izmerjene podatke v realnem času, vendar se večkrat zgodi, da pride do izpada podatkov zaradi vremensko pogojenih nesreč (strela, močan veter, visok sneg, led ipd.). Ker delujejo avtomatske postaje šele zadnjih nekaj let, podatkov ni mogoče uporabiti za izračune, kjer potrebujemo dolgoletne nize (na primer SPI). Monitoring se nadgrajuje v okviru projekta BOBER – »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji« (Operacija »Nadgradnja ...«, 2013), ki poteka v okviru Operativnega programa razvoja okoljske in prometne infrastrukture (OP ROPI) za obdobje 2007–2013. Namen projekta v širšem smislu je povečanje sposobnosti za celostno proučevanje in spremljanje dejavnikov v vodnem krogu z različnih vidikov. Pomemben je predvsem vidik uravnoteženega prostorskega načrtovanja (boljše upravljanje voda) in izgradnje reprezentativnih merilnih mrež, ki bodo podpirale ocenjevanje stanja vodnih teles. Z vidika varstva okolja ter učinkovite in trajnostne rabe naravnih virov je pomembna predvsem zaščita pitnih voda – določanje nevarnih toksičnih snovi v okolju ter seveda tudi vidik zaščite zdravja in življenja ljudi ter premoženja pred posledicami naravnih nesreč (zaščita pred poplavami in sušami), ki mora temeljiti na pravilni in pravočasni meteorološki in hidrološki napovedi in zagotavljanju podatkov v realnem času.

Objektni cilji projekta so:

- nadgrajena in posodobljena merilna mreža (podzemne vode, površinske vode, meteorološke postaje, radar),
- izgrajeni oziroma pridobljeni novi prostori (laboratorij, pomorski center),
- nakup potrebne merilne opreme in posodobljen računski center,
- izdelana in vpeljana nova programska oprema ter modeli za napovedovanje.

Projekt je bil potrjen v okviru OP ROPI že avgusta 2007; od tega leta naprej potekajo na ARSO tudi posamezne aktivnosti kot priprava na izvedbo projekta. Sklep Evropske komisije je bil izdan 25. maja 2010. Projekt se bo končal 30. junija 2015. Operacijo delno financira Evropska unija, in sicer iz Kohezijskega sklada. Izvaja se v okviru Operativnega programa razvoja okoljske in prometne infrastrukture za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete »Varstvo okolja – področje voda«; prednostne usmeritve »Zmanjševanje škodljivega delovanja voda«.

Pomemben element sledenja kmetijske suše je tudi mreža fenoloških postaj. Težave nastanejo zaradi nesistematičnega spremljanja fenologije kmetijskih rastlin, ki je tudi pomembna za ocenjevanje vodne bilance. Na ARSO sicer obstaja posebna mreža – fenološki monitoring, pri katerem opazovalci na 48 postajah opazujejo pojave razvojnih fenoloških faz izbranih samoniklih (zelišča, trave, grmovnice in drevnine) in kmetijskih rastlin (posevki, sadno drevje in vinska trta). Vloga fenoloških podatkov na teh postajah je le sledenje vpliva vremena na fenološki razvoj rastlin. Podatki so preredki in tudi opazovanja niso prilagojena agrotehničnim zahtevam. Pri modeliranju vodne bilance je problematična uporaba povprečnih vrednosti fenoloških podatkov, ker aktualni niso pravočasno dostopni, sploh niso dostopni ali pa je njihova uporaba preveč zapletena, saj se hkrati pojavlja tudi problem dostopnosti podatkov o tem, na kateri parceli raste katera kultura.

Karte merilnih mrež so zbrane v prilogi A do C. Aktualni meteorološki podatki so dostopni na vremenskem portalu <http://meteo.arso.gov.si/>, agrometeorološki pa na <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/recent/> (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).

Že kar nekaj časa dozoreva ideja o gradnji enotnega, večnamenskega agrometeorološkega informacijskega sistema s skupno bazo podatkov vseh sedanjih merilnih postaj ter tematskimi modeli in spletnimi prikazovalniki podatkov. Projekt M2-0220 CRP Znanje za mir, v katerem je bil zasnovan sistem napovedovanja in ocenjevanja suše na kmetijskih površinah, ki ga je financirala Uprava RS za zaščito in reševanje (URSZR), je bil eden izmed prispevkov za dopolnitev sedanjega informacijskega sistema AJDA, ki je bil končan januarja 2010 (Vernik in Vrščaj, 2009). Študija ugotavlja, da Slovenija nima kakovostnih fizikalnih podatkov prostora/tal. Kljub temu ti delno obstajajo, vendar z vidika prostorske natančnosti in vsebine pogosto ne ustrezajo potrebam napredne prostorske (GIS) obdelave. Ustrezno natančni podatki o fizikalnih lastnostih tal, podatki reliefa visoke ločljivosti ter agrometeorološki podatki, ki so na voljo v realnem času, so podatkovni viri, ki omogočajo oceno primernosti prostora za posamezne kmetijske kulture in s tem izogibanje legam, ki niso primerne za gojenje za sušo ranljivih kultur oziroma služijo za izračun kapacitete tal za vodo ter, skupaj z ustreznimi podatki rastlin in meteorološkimi podatki, izračun vodne bilance tal. Če so agrometeorološki podatki dosegljivi v realnem času, pedološki podatki pa so ustrezne prostorske natančnosti, je možno vzpostaviti sistem za napovedovanje suš oziroma za lažje in hitreje ocenjevanje škod ter hitrejšo odpravo posledic suše. Ustrezno detajlni podatki tal in agrometeoroloških parametrov so torej tiste multidisciplinarnе informacije prostora, katerih pomembnost močno presega njihovo uporabnost v kmetijstvu. Štejemo jih za strateške informacije oziroma podatkovne baze državnega pomena.

Na Oddelku za agrometeorologijo Urada za meteorologijo Agencije RS za okolje je že od leta 2005 vzpostavljen agrometeorološki informacijski sistem (SAgMIS) in monitoring vodne bilance, ki ga tudi uspešno nadgrajujejo v okviru projekta BOBER. Gre za sledenje vodne bilance kmetijskih rastlin z upoštevanjem vremenske prognoze ter za ozaveščanje kmetovalcev. Pri tem je pomembno, da od osnovnih meteoroloških spremenljivk prehajamo do kompleksnejših agrometeoroloških podatkov (potencialna evapotranspiracija, vodna bilanca), sušnih indeksov (SPI) in vodnobilančnih modelov. Za spremljanje agrometeorološke/kmetijske suše namreč ni dovolj spremljati le količine padavin in temperature zraka, temveč so potrebni modeli rastlina-tla-podnebje (IRRFIB, WinISAREG), ki dinamično sledijo pojavu in razvoju suše v regiji. Obdobno, z mesečnim zamikom, je vodna bilanca dostopna tudi za druge meteorološke postaje, ki merijo meteorološke podatke, nujne za oceno. V vegetacijskem obdobju, ko je stanje tal za kmetijske rastline najbolj pomembno, ARSO na svojih spletnih straneh predstavlja rezultate spremljanja vodne bilance v obliki dekadnega biltena. Rezultati so dostopni le v obliki statičnih aplikacij v rednih časovnih intervalih. Tako v svetu kot tudi v Sloveniji je enovit pristop pri sledenju kmetijske suše med najbolj problematičnimi. Pri analitiki suše se v zadnjem obdobju uporablja tudi SPI (več o tem v poglavju 2.6.5.1.1).

Natančnejše vodnobilančne izračune omogoča agrometeorološki namakalno-napovedovalni model IRRFIB (več o modelu je v poglavju 3.2.1). Posebnost in prednost modela je možnost vključevanja vremenske napovedi za 3–5 dni vnaprej. Na ta način lahko zmanjšamo število namakanj in količino namakalne vode ob eventualnih napovedanih padavinah. To omogoča oceno potencialne vode, ki bo v prihodnjih dneh izhlapela iz

rastline, in temu primerno aplikacijo vode. Kmetijsko svetovalne službe aplikacijo vode in druge morebitne zaščitne ukrepe predlagajo v skladu s tehnologijo pridelave in trenutnim stanjem kmetijskih rastlin. Poskusno sodelovanje s kmetijsko svetovalno službo Kmetijsko- gozdarskega zavoda Maribor (KGZ – Maribor) je v letih 2009 in 2010 potekalo v okviru projekta Alp Water Scarce (Sušnik in sod., 2011). Namen je bil vzpostaviti sodelovanje alpskih držav pri pripravi sistema za zgodnje opozarjanje na pomanjkanje vode na osnovi sistematičnega spremljanja meteoroloških, hidroloških in pedoloških razmer ter izboljšanje upravljanja voda ob upoštevanju vplivov podnebnih sprememb in vplivov človeka.

Model IRRFIB je bil uporabljen tudi pri popisu kmetijstva leta 2010 (Pintar, 2009). Ob tem popisu so bila popisana kmetijska gospodarstva, ki imajo zemljišča opremljena z napravami za namakanje. Ker se je popis izvajal junija 2010, so se podatki o namakanju nanašali na leto 2009, in sicer na vsa evropsko primerljiva kmetijska gospodarstva, tj. na evropsko primerljiva kmetijska podjetja in na evropsko primerljive družinske kmetije. Ker pri vseh pridelovalcih ni bilo mogoče zbrati tudi podatkov o porabljeni količini vode, je bila količina ocenjena z uporabo modela IRRFIB. Tako pridobljene ocene pomenijo idealno količino vode, ki je bila potrebna, in so le grobi kazalci dejansko porabljene količine vode.

Rezultati so, kot izhaja iz grobega opisa trenutnega spremljanja stanja suš v Sloveniji, dostopni le v obliki statičnih aplikacij v rednih časovnih intervalih. Agrometeorološki informacijski sistem (SAgMIS) omogoča dostop do sprotnih podatkov za enostaven izračun vodne bilance kmetijskih rastlin, modelsko oceno vodne bilance z modelom IRRFIB, podrobnejšo analizo sušnih obdobj, porabo vode pri rastlinah v različnih razvojnih obdobjih z možnim upoštevanjem tehnologije namakanja in preverjanjem modelskih izračunov z meritvami vode v tleh (TDR – Time Domain Reflectometry – tehnika). V novejšem času so v analize vključeni tudi prognostični produkti. Operativno spremljajo vsebnost vode v tleh na travnati površini na šestih izbranih meteoroloških postajah: v Biljah, Portorožu, Celju, Ptuj, Mariboru in Murski Soboti. V okviru merilne mreže ARSO so meritve z merilniki TDR zvezne na šestih merilnih mestih na globinah 10, 20 in 30 cm. Na večini postaj se vodna bilanca za referenčno rastlino ocenjuje iz razlike med padavinami in potencialno evapotranspiracijo, in sicer za pretekli dan, pretekli teden, vegetacijsko obdobje, obdobje mirovanja in, če je treba, za izbrano preteklo obdobje. Glede suše bi potrebovali predvsem več meritev vode v tleh, ki je kazalec dejanskega stanja. Izračuni in modeliranje samo po sebi brez možnosti evaluacije z izmerjenimi vrednostmi nimajo velike dodane vrednosti.

V zadnjem času je vse pogostejše, poleg ugotavljanja vodne oskrbe kmetijskih rastlin in skrbi za njihovo optimalno prehrano, v ospredju tudi ocena stopnje suše v razmerah, ko možnosti za oskrbo z vodo ni in govorimo o suši. V tej smeri gre tudi objavljane Dekadnega biltena stanja vodne bilance kmetijskih tal v Sloveniji (<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/recent/wb/currentyear/>), kjer so objavljene meteorološke razmere za dekada, podatki o stanju rastlin in meteorološke vodne bilance, kartografija (karte odklonov temperatur zraka, padavin, sončnega obsevanja in vodne bilance od dolgoletnega povprečja in karte padavinskega indeksa SPI v različnih obdobjih) (Bilteni vodnobilančnega stanja ..., 2013).

Monitoring in zgodnje upravljanje suše se še posebej močno navezujeta na namakanje. V slovenskem prostoru je od potencialno primernih 194 935 ha za zdaj namakanih le malo kmetijskih površin (Glavan in Pintar, 2012). Za oceno možnosti za namakanje so na Biotehniški fakulteti izvedli Ciljni raziskovalni program CRP V4-0478: Ocena vodnih perspektiv na območju Slovenije in možnost rabe vode v kmetijski pridelavi (Cvejič in sod., 2010).

Celotna analiza za izračun potrebnih pretokov je bila narejena na osnovi obdobja 1971–2000. Pri tem hidrologi ugotavljajo (Ocena količin ..., 2013), da je potrebna izredna previdnost pri načinu izračuna in pri obdobju, ki ga vzamemo kot referenčno. Stanje voda se namreč zaradi podnebnih sprememb zelo spreminja. Največje zmanjšanje pretokov je opazno v severovzhodni Sloveniji, kjer je na primer na dveh postajah za zadnje desetletje srednji mali pretok nižji za 40 % glede na obdobje 1971–2000. Primerjava 30-letnih obdobj 1981–2010 in 1971–2000 kaže povprečno zmanjšanje srednjih pretokov za 3,8 % in srednjih malih pretokov za 7,8 %. Tako je za namakanje po novih izračunih glede na obdobje 1981–2000 primernih precej manj vodnih teles. Zaradi opaznega spreminjanja hidroloških značilnosti z negativnimi trendi ARSO predlaga obnovitev izračunov razpoložljivih količin z aktualnimi podatki za vodna telesa površinskih voda, za katere se ocenjuje, da je direkten odvzem vode možen. Čeprav za posamezne vodomerne postaje izračun pokaže, da je neposredno namakanje možno, se lahko v nadaljnjih analizah izkaže, da so te količine premajhne glede na potrebe.

Pri namakanju ima pomembno vlogo tudi napovedovanje izhlapevanja in padavin. Z vključevanjem prognoze in podatkov meteorološkega monitoringa v vodnobilančni model IRRFIB lahko spremljamo trenutno stanje na terenu in vodimo vodne bilance za različne regije v Sloveniji. Tako lahko zmanjšamo število namakanj in količino namakalne vode ob morebitnih napovedanih padavinah. Omogoča oceno potencialne vode, ki bo v prihodnjih dneh izhlapela iz rastline, in temu primerno aplikacijo vode. Model se v okviru projekta BOBER nadgrajuje v kompleksnejši sistem, kar pomeni, da bo v prihodnosti mogoče spremljati vodno bilanco in napovedi namakanja za različne kulture glede na tla, na katerih rastejo, za celotno Slovenijo.

V zadnjem času se začenja tudi usmerjanje v satelitske tehnike. Pri uporabi satelitskih podatkov za določitev suše je treba najprej pridobiti satelitske meritve, izračunati satelitske vegetacijske indekse (osnovne in napredne) in izdelati model za določanja sušnosti posamezne kulture (potrebnih je več satelitskih posnetkov v ustreznih časovnih zamikih, in ne samo posnetek trenutnega stanja).

Trenutno stanje uporabe satelitskih podatkov za podporo pri določanju sušnih območij (Iršič - Žibert, 2013) je opisano v nadaljevanju. ARSO od leta 2012 operativno uporablja satelitske vegetacijske indekse Evropske organizacije za uporabo meteoroloških satelitov EUMETSAT za analizo suše na podlagi izdelanega modela, primerne za Slovenijo za lokalno krajevno ločljivost. Podatki so dnevno osveženi za celo območje Slovenije in so brezplačni, ker je Slovenija članica EUMETSAT. V operativi so na voljo osveženi vegetacijski indeksi EUMETSAT, poleg osnovnih multispektralnih tudi napredni specialni vegetacijski indeksi. Zgrajen je bil tudi model za določanje sušnosti vegetacije na podlagi arhivskih podatkov iz obdobja 2006–2011. Krajevna ločljivost nad Slovenijo je 5 km x 5

km, kar omogoča zelo dobro regijsko analizo suše, ne omogoča pa določitve suše na ravni GERK-ov. ARSO je bil tudi pobudnik projekta v okviru Evropske vesoljske agencije (ESA) za avtomatično določitev suše iz satelitov ESA in MODIS, ki ga izvajata Center odličnosti Vesolje-SI in Univerza na Primorskem, ARSO projekt podpira z dodatnimi talnimi podatki. Arhivski satelitski podatki za izgradnjo modela so brezplačni. Izdelani bodo napredni specialni vegetacijski indeksi in prototip modela za avtomatično določitev suše iz satelitskih podatkov z uporabo tudi naprednih metod strojnega učenja. Projekt je dvoleten, rezultati bodo na voljo ob zaključku projekta. Satelitskih podatkov zelo visoke ločljivosti (10 m x 10 m) doslej ARSO ni naročal, predvsem zaradi visoke cene podatkov, saj za izgradnjo modela sušnosti ne potrebujemo samo posnetka trenutnega stanja, ampak tudi večjo količino satelitskih podatkov preteklega obdobja (tekoče leto in pretekla leta). Če bi bili tovrstni podatki na voljo, bi bilo treba izdelati model določanja sušnosti za izbrane kulture na območju Slovenije.

Zaključimo lahko, da je sledenje kmetijske suše v Sloveniji po letu 2003, ko je Slovenija doživela ekstremno sušo, napredovalo, predvsem zaradi boljšega povezovanja strokovnih služb. Ne glede na to je sistem upravljanja suše še vedno premalo povezan na ravni države, veliko težav pa sproža tudi obstoječa zakonodaja. Večina aktivnosti se še vedno izvaja po nastali gospodarski škodi po suši, premalo pa je dejavnosti v obdobju pred nastopom suše. Spremeniti bo treba zakonodajo, da bo posodobila postopke ocenjevanja škode po suši. Poleg tega bo treba zagotoviti bolj proaktiven pristop k upravljanju suše. Za zdaj so največje težave razpršenost in dostopnost kakovostnih podatkov za analize suše (agronomski, pedološki, podatki o rabi zemljišč, škode ipd.) in neenotne evidence različnih inštitucij. Ob izboljšanju evidenc in integraciji obstoječih in novih podatkov bo možno tudi zmanjšati stroške postopkov za določanje suše. Več poudarka je treba posvetiti primerni rajonizaciji kmetijskih kultur, tehnološkimi navodilom za zmanjšanje tveganja zaradi suše in izobraževanju končnih uporanikov. V obstoječe mehanizme trajnostnega kmetovanja bo treba vključiti primere dobrega gospodarjenja ob suši in to tudi primerno stimulirati. Obenem je treba izvesti horizontalne povezave zakonodajnih okvirov, kot so Zakon o vodah (2002), Zakon o varstvu pred naravnimi nesrečami (1994) in Zakon o odpravi posledic naravnih nesreč (2003) in evropska priporočila.

Slovenija potrebuje metodološki okvir za sledenje kmetijske suše in vpliva suše na kmetijstvo. Tak okvir bi bil dobra osnova pri pripravi smernic in ukrepov za prilagajanje in zmanjševanje posledic suše, pri pripravi programa za odpravo posledic po suši in tudi pri strategijah za upravljanje suše ter študijah o vplivu podnebnih sprememb na kmetijsko pridelavo. Tako se bo izboljšala preventiva, zmanjšalo tveganje zaradi suše in spodbujalo boljše gospodarjenje v kmetijstvu.

2.6 DEFINICIJE GLAVNIH POJMOV

2.6.1 Pomanjkanje vode in suša

Izraza pomanjkanje vode in suša sta zelo kompleksna. Za zdaj nimamo znanstvenega dogovora o natančnih definicijah, še posebno pri izrazu suša; glede na zelo podobne vplive obeh dogodkov upravljavci vode v različnih gospodarskih panogah, javnost in tudi mediji pogosto uporabljajo izraza nesistematično. Univerzalne definicije suše ni (Tate in Gustard, 2000).

Pomanjkanje vode in suša sta neodvisna, a tesno povezana pojava: pomanjkanje vode je povezano z dolgoročnim neravnovesjem med ponudbo in povpraševanjem po vodi ter potrebami ekosistema, suša v svojih različnih oblikah pa pomeni začasno znatno znižanje v primerjavi z dolgoročnimi povprečnimi količinami razpoložljive naravne vode, tako da razpoložljivost vode ne zadosti potrebam trajnostnega razvoja in ekosistemov (Water scarcity ..., 2007).

Evropska komisija (Water scarcity ..., 2007) navaja, da je suša, nasprotno od pomanjkanja vode, naraven in nenapovedljiv fenomen. Pojav suše ni povzročen s človeško aktivnostjo, čeprav so lahko vplivi sušnih epizod večji zaradi napačnega upravljanja. Ključne razlike so prikazane na sliki 25.

		Trajanje (čas)		
		kratkoročno (dnevi, tedni)	srednjeročno (meseči, sezone, leta)	dolgoročno (desetletja)
Vzroki	naravni	suho obdobje	suša	aridnost
	antropogeni	začasno čezmeren odvzem vode	pomanjkanje vode	dezertifikacija zapuščavljanje

Slika 25: Ključni elementi za definicijo pomanjkanja vode in suše.
Figure 25: Key elements for the definition of water scarcity and drought.

Evropski observatorij za sušo (EDO, 2012) poudarja, da je suša ena glavnih naravnih nesreč, povezanih z vremenom. Če vztraja nad nekim območjem več mesecev ali let, lahko sproži velike okoljske, socialne in ekonomske učinke. Ti so odvisni od trajanja, jakosti in prostorske razprostranjenosti padavinskega primanjkljaja ter v veliki meri tudi od okoljske in družbenoekonomske ranljivosti prizadete regije.

Evropska agencija za okolje (Sustainable water ..., 2001) navaja, da je suša rezultat kombinacije meteoroloških, fizikalnih in človeških dejavnikov, pri čemer je primarni vir pomanjkanje padavin, človekov vpliv pa vključuje potrebo po vodi. V poročilu EEA iz leta 2009 je definicija pomanjkanja vode povezana s pretirano eksploatacijo in suša je v nasprotju s pomanjkanjem vode definirana kot naravni fenomen, ki je lahko trajen in ekstenziven pojav podpovprečne dostopnosti vode. Lahko zajame vse komponente

vodnega cikla, ki se manifestira od majhne vsebnosti vode v tleh, zmanjšane ravnih podzemne vode do izsuševanja mokrišč in zmanjšanja pretoka rek.

Suša je normalen, ponavljajoč podnebni pojav (Mainstreaming drought ..., 2012), čeprav se pogosto napačno obravnava kot nepričakovan in neobičajen dogodek. Suša je začasen odklon znotraj naravne variabilnosti in se obravnava kot naravno tveganje. Velika spremenljivost letnih in mesečnih ali obdobjnih količin padavin ter njihova neugodna časovna razporeditev prek določenega obdobja odločilno vpliva na pogostnost pojava suše. Občasne podpovprečne količine padavin so običajen pojav in še ne pomenijo suše. Suša se razlikuje od aridnosti, ki je dolgoročen in značilen pojav nekega podnebja. Na splošno je suša posledica kombinacije naravnih dejavnikov, njen pojav pa lahko pospešijo antropogeni vplivi.

Suša je običajna, pogosta značilnost podnebja, ki se pojavlja v vseh podnebnih pasovih in povzroča ogromno škodo kmetijstvu (Sivakumar, 2011). Suša lahko pomeni naravno nesrečo, če na nekem območju pomanjkanje padavin vztraja daljše obdobje in s tem oskrba z vodo ne zadovoljuje potreb različnih človekovih dejavnosti in okolja (Badripour, 2007). Suša velja za enega izmed kompleksnejših naravnih pojavov; je značilnost v vseh podnebnih tipih, vendar je pri njenih lastnostih in vplivih zaznati precejšnjo regionalno variabilnost (Wilhite in Svoboda, 2000).

Širok nabor področij, na katere vpliva suša, geografska raznolikost pojavljanja suše in zahteve po zalogah vode otežujejo oblikovanje ene same definicije suše. Je posledica naravnega pomanjkanja padavin v daljšem obdobju, navadno v sezoni ali še daljšem obdobju. Primarni vzrok suše je pomanjkanje padavin, še posebno čas, porazdelitev in intenzivnost pomanjkanja padavin v povezavi z obstoječo vodno zalogo, porabo in vrsto rabe. Pomanjkanje se lahko odraža v pomanjkanju vode za ekosisteme in nekatere človekove aktivnosti. Posledica suše je pomanjkanje vode za različne aktivnosti, skupine ali okoljske sektorje (Wilhite in Svoboda, 2000).

Suša je torej rezultat združevanja meteoroloških, fizičnih in človeških dejavnosti. Glavni meteorološki dejavniki so: vzorec atmosferske cirkulacije zraka, pomanjkanje padavin, temperatura in evapotranspiracija. Vzorec splošne atmosferske cirkulacije, predvsem lokacija in trajanje območja visokega zračnega pritiska, ima velik vpliv na količino in razporeditev padavin ter na temperature zraka. Pomanjkanje padavin je značilno za območja visokega zračnega pritiska. Sprememba pozicije, trajanja in intenzitete anticiklona vodijo k spremembam vzorca cirkulacije, kar posledično vodi do odklona od povprečnih temperatur in padavin. Jakost suše ni odvisna samo od velikosti primanjkljaja padavin, ampak tudi od tega, kdaj se pojavi. Dodatni fizični in človeški dejavniki, ki vplivajo na pojav suše, so: obseg naravne zaloge vode (zaloga v tleh, rekah, jezerih, zadrževalnikih, mokriščih) ter družbenoekonomski dejavniki, ki kontrolirajo porabo vode, kot na primer sprememba števila prebivalstva, življenjski standard (Sušnik, 2006). Natek (2002) navaja, da je suša sestavni del naravnega dogajanja, ki ga človek praviloma ne more preprečiti, temveč se mu mora na čim ustreznejše načine prilagoditi.

Kikčeva (2010) navaja, da so poglavitni vzrok za pojav suše klimatske značilnosti območja, zlasti časovna in prostorska razporeditev količine padavin in temperatur, vendar

na njeno pojavljanje vplivajo še številni drugi dejavniki, kot so kamninska podlaga, reliefna izoblikovanost, pedološke, hidrološke značilnosti itn.

Natek (1983) definira, da je suša tolikšno negativno odstopanje od normalne količine in razporeditve padavin, da le-te ne zadoščajo za uspevanje naravnega in kulturnega rastja ter za normalen potek površinskega in podzemeljskega odtokanja vode, kar povzroča motnje v delovanju človeške družbe in s tem škodo.

Suša je močno povezana s časom svojega pojava in učinkovitostjo padavin (intenziteta dežja, število deževnih dogodkov). Vsako sušno obdobje je unikatno po podnebnih značilnostih in vplivih. Suša se od preostalih naravnih nesreč razlikuje na številne načine:

- vplivi suše se akumulirajo počasi v določenem obdobju in lahko kulminirajo v posledice šele po daljšem obdobju. Zato je začetek in konec suše zelo težko določljiv v operativnem smislu. Splošno razširjen je izraz »plazečega« pojava, ki ga je že leta 1947 uvedel Tannehill (Wilhite in Svoboda, 2000).
- pomanjkanje univerzalne in natančne definicije suše sproža neskladja mnenj o tem, ali suša obstaja in kakšna je njena jakost. Univerzalne definicije suše ni (Tate in Gustard, 2000). Vsak sušni dogodek je svojevrsten dogodek, predvsem zaradi različnih podnebnih značilnosti posameznih regij in prostorske razprostranjenosti suše v povezavi z njenimi vplivi in posledicami. Širok nabor področij, na katere vpliva suša, geografska raznolikost pojavljanja suše ter zahteve po zalogah vode otežujejo oblikovanje ene same definicije suše (Lloyd-Huges in Saunders, 2002; Ceglar in Kajfež Bogataj, 2008; Šebenik, 2012; Archive. U.S. Drought ..., 2012).

Številne raziskave so pokazale, da mora definicija suše ostati regionalno ali operativno specifična. Analiza (Wilhite in Glantz, 1985) je pokazala, da obstaja več kot 150 definicij suše, v praksi pa jih je še več. Veliko jih nezadovoljivo opisuje sušo in njen pomen za posamezen gospodarski sektor. Različne ekološke, fizične in družbenoekonomske razmere določajo različne meje za intenzivnost posamezne sušne epizode (A perspective on water ..., 2004).

Najbolj praktična je razvrstitev suš v tri glavne skupine: meteorološka suša, kmetijska suša in hidrološka suša (v podzemnih in površinskih vodah) (Van Lanen in Peters, 2000). Ta delitev pomeni stopnjevanje pogostnosti, jakosti in trajanja suše. Šebenikova (2012) navaja primere različnih disciplinarnih slovarčkov suše, kot na primer Mednarodni hidrološki slovar, ki definira hidrološko sušo kot periodo abnormalno sušnega vremena, ki je dovolj dolga, da povzroči pomanjkanje vode, kar se odraža v nižjem vodostaju rek in jezer od običajnega, zmanjšani zasičenosti tal z vodo in znižanju ravni podtalnice.

Meteorološki slovar Ameriškega meteorološkega društva (Glossary of meteorology, 2012) razlaga sušo kot relativen pojem, zato se mora kakršna koli diskusija v smislu padavinskega primanjkljaja nanašati na specifično aktivnost, povezano z obravnavanimi padavinami. Na primer: pomanjkanje padavin v vegetacijski sezoni se lahko kaže v izpadu pridelka rastlin (kmetijska suša). To definicijo povzema tudi IPCC (Special report ..., 2012). Sušo definira kot obdobje abnormalno sušnega vremena, ki lahko povzroči resno hidrološko neravnovesje.

Ameriško meteorološko društvo je že leta 1979 grupiralo definicije in tipe suš v štiri kategorije: meteorološka, kmetijska, hidrološka in družbenoekonomska (Heim, 2002). Bordi in Sutera (2012) navajata, da so te definicije postale splošno uporabne v znanstvenih krogih, iz tega pa izhajajo tri glavne aktivnosti, ki so potrebne za celovito oceno suše:

- razvoj sušnih indeksov, ki bodo omogočali učinkovito oceno sušnih razmer v regijah z različnimi hidrološkimi režimi in oceno različnih tipov suše;
- izvedba analiz tveganja za preprečitev negativnih vplivov suše;
- razumevanje povezav med podnebno variabilnostjo in pojavom suše v povezavi s spremembami podnebja.

Evropski center za upravljanje suše (EDO, 2012) sušo opredeljuje kot trajen in regionalno obsežen pojav z manjšo razpoložljivostjo vode od povprečne. Ameriški Nacionalni center za upravljanje suše (Archive. U.S. Drought ..., 2012) pa navaja, da je suša normalna, ponavljajoča se značilnost podnebja z manj padavinami, kot se pričakuje v daljšem obdobju, navadno nekaj mesecev ali več, ki se odraža v pomanjkanju vode za nekatere aktivnosti, skupine in okoljske sektorje.

Zaradi izjemno počasnega pojava suše je izjemno težko definirati začetek in konec pojava sušnega obdobja (Iglesias in sod., 2009). Ker je težko vzpostaviti splošno sprejemljivo definicijo suše za različne rabe, so za različne tipe suše definicije določene glede na njihove vplive. V splošnem zato obstajata dve vrsti definiranja suše (Sušnik, 2006; Archive. U.S. Drought ..., 2012):

- pojmovne (konceptualne) definicije pomagajo ljudem razumeti pojem suše kot na primer, da je suša podaljšano obdobje pomanjkanja padavin, ki se odraža v škodi na rastlinah in zmanjšanem pridelku. Konceptualne definicije so zelo pomembne tudi pri vzpostavljanju politike upravljanja suše. Na primer: avstralska nacionalna politika vključuje razumevanje povprečne podnebne variabilnosti v definicijo suše. Država omogoča finančno pomoč kmetom v nekaterih izjemnih sušnih razmerah, kar je nad običajnim načinom upravljanja suše. Razglas suše ima osnovo v znanstveni oceni. Preden so v državi vzpostavili politiko upravljanja suše, so nekateri kmetje v semiaridnem delu Avstralije zahtevali finančno asistenco vsakih nekaj let. Suša kot naravna nesreča je definirana tudi v slovenski zakonodaji (ko škoda preseže prag 0,03 promila državnega proračuna).
- operativne definicije suše pomagajo ljudem prepoznati začetek, konec, pogostnost pojavljanja in jakost suše. Slednje temeljijo predvsem na odstopanju količine padavin od dolgoletnega povprečja in številnih operativnih kazalcih. Definicije suše so uporabne takrat, ko so uporabljene v kontekstu specifične regije ali gospodarskega sektorja (na primer suša na nenamakah kmetijskih površinah). Za definicijo začetka suše operativne definicije določajo stopnjo odklona od povprečnih padavin ali nekatere druge meteorološke spremenljivke v izbranih obdobjih. Navadno je to primerjava trenutne situacije z zgodovinskim povprečjem, ki je navadno določeno s 30-letnim časovnim nizom. Prag začetka suše je po navadi določen arbitrarno, na primer 75 % povprečnih padavin v nekem obdobju. Taka ocena je pogostejša, kot je določanje začetka suše v povezavi s specifičnim vplivom.

2.6.2 Rastlinam dostopna voda v tleh

Dostopnost vode za rastline je odvisna od vodnozadrževalnih lastnosti tal. Rastline imajo različno sposobnost črpanja vode in so različno odporne na sušo. Do neke določene količine vode v tleh, imenovane tudi kritična točka, ki je za posamezno vrsto rastlin in tudi sorto različna, rastlina relativno lahko črpa vodo iz tal. V območju pod to kritično točko pa rastlina del energije, ki bi jo sicer porabila za oblikovanje pridelka, porablja za premagovanje tenzije vode. Rastlina je tedaj v sušnem stresu (Pintar, 2006).

Voda je v tleh v obliki vodne pare ali v obliki kapljevine (tekočine). Ko količina vodnih molekul v talnem zraku doseže nasičenje (maksimalna higroskopičnost), se začne vezava vode na talne delce v obliki kapljevine oz. tekočine (Pintar, 2006). Nanjo delujejo različne sile, zaradi česar potuje po talnem profilu in se veže na talne delce. Vodnozadrževalne lastnosti določajo primernost tal za gojenje rastlin in migracijo snovi v talnem profilu (Šijanec, 2009).

Vodnozadrževalne lastnosti tal opredelijo interval rastlinam dostopne vode v tleh (tj. fiziološko aktivne vode) in omogočijo določitev deleža odcednih por. Izražamo jih v masnih ali volumskih odstotkih vode pri določeni sili vezave vode. Silo vezave vode izražamo v vrednostih pF (pF = potential force), ki je definirana kot negativni logaritem vodnega stolpca (v cm). Centimetri vodnega stolpca predstavljajo energijo, s katero je voda vezana na talne delce (Pintar in sod., 2010). Rastline morajo zato, da lahko sprejmejo vodo skozi koreninske laske, premagati tenzijo, s katero je voda vezana na talne delce. Največja tenzija, ki jo rastline lahko premagajo, je 1500 kPa, četudi korenine nekaterih divjerastočih rastlin lahko dosežejo tudi večjo sesalno moč. Ko je voda v tleh vezana s tako tenzijo, govorimo o točki venenja (TV). Rastline pri takem stanju vode v tleh trajno uvenejo in si ne opomorejo, četudi jih zalijemo. Ko količina vode v tleh narašča in se debeli plast vodnih molekul, ki so vezane na talne delce, postaja voda vedno bolj dostopna rastlinam. Ko je vode v tleh relativno veliko in je vodna plast okoli talnega delca že relativno debela, je voda vezana le še s tenzijo 10 kPa v lahkih peščenih tleh oz. 33 kPa v težkih glinastih tleh. To stanje vode v tleh je poljska kapaciteta tal za vodo (PK) in je največja količina vode, ki jo tla lahko zadržijo. Za večino rastlin je to najprimernejše stanje, saj imajo korenine na voljo dovolj vode in dovolj zraka (Pintar, 2006).

Količina vode, ki jo tla lahko zadržijo, je odvisna od strukture tal, tj. od deleža, velikosti in oblike por in talnih prostorov ter od načina razporeditve ali zlepljanja talnih delcev v skupke različnih oblik in velikosti (Suhadolc in sod., 2008; Rojec, 2009). Je morfološka lastnost, na katero vplivajo številne lastnosti tal: poroznost, razmerje med makro- in mikroporami, dostopnost rastlinskih hranil, delovanje mikroorganizmov, razvoj in rast korenin. Posebno močno se veže na talne koloide gline in humusa. Na količino vode v tleh pa vplivata še tekstura in vsebnost organske snovi v tleh. Vstop vode v tla je odvisen tudi od strukture tal na površini in kmetijske prakse.

Poleg vsebnosti vode v tleh je najpomembnejša karakteristika tal vodni potencial. Predstavlja mehansko delo, ki ga voda v tleh porabi za reverzibilen in izotermalen premik enote količine vode s točke v tleh na referenčno točko. Gradient celotnega potenciala talne

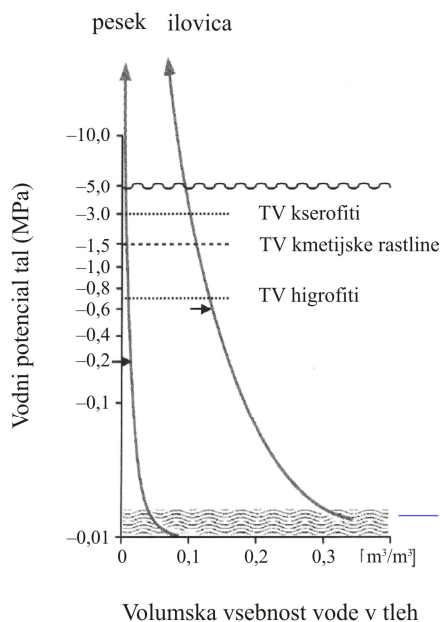
vode določi gonilne sile, ki vplivajo na vodo. Od vodnega potenciala je odvisna gibljivost vode v tleh in njena dostopnost za rastline (Taiz in Zeiger, 2010; Keršič, 2012).

Na vodni potencial Ψ_w vplivajo štirje glavni dejavniki, ki so natančneje razloženi v preglednici 6.

Preglednica 6: Vodni potencial (Taiz in Zeiger, 2010; Vodni potencial ..., 2013).
Table 6: Water potential (Taiz in Zeiger, 2010; Vodni potencial ..., 2013).

Vrsta in izračun	Opis
<p>vodni potencial tal Ψ_w</p> <p>$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_g$</p>	<ul style="list-style-type: none"> - je mera za razpoložljivost vode; - izražamo ga kot razliko med potencialom v danih pogojih in potencialom, izmerjenim v standardnih pogojih; - referenčni vodni potencial ima čista voda pri atmosferskem tlaku in okoljski temperaturi; - enota za vodni potencial je pascal [Pa]; - nanj vplivajo koncentracija, tlak, interakcija vodnih molekul s površino in gravitacija oziroma osmotski Ψ_s, hidrostatični Ψ_p, matrični Ψ_m in gravitacijski potencial Ψ_g;
<p>osmotski potencial oziroma potencial raztopine Ψ_s</p> <p>$\Psi_s = -RT_{abs}c_s$ (van't Hoffova enačba), kjer so: R plinska konstanta [8,31 J mol⁻¹K⁻¹m⁻³] T_{abs} absolutna temperatura [K] c_s osmolalnost raztopine [mol m⁻³]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - je razlika v energiji med čisto vodo in vodo, ki vsebuje raztopljene snovi; - povečana koncentracija raztopljenih snovi zmanjša prosto energijo vode in voda je manj dostopna za druge reakcije (normalna tla Ψ_s -0,02 MPa, zasoljena tla - 0,2 MPa);
<p>hidrostatski tlak raztopine oziroma potencial tlaka Ψ_p</p>	<ul style="list-style-type: none"> - označuje hidrostatski tlak ali turgor, ki je rezultanta delovanja hidrostatičnega tlaka celične vsebine in protipritiska celične stene: zaradi razlik v vodnih potencialih prodira voda v notranjost celice in pritiska ob celično steno; - je pomemben za rast celic in nemoten potek fizioloških procesov; - ob zmanjšanju pride do razgradnje plazmatskih membran in venenja;
<p>matrični potencial Ψ_m</p> <p>$\Psi_m = -2A/r_v$, kjer sta: A površinska napetost vode [7,28 x 10⁻⁸ MPam] r_v polmer meniskov, ki jih oblikuje voda [m]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - interakcije vodnih molekul s površino celičnih sten in površino večjih, v vodi netopnih molekul; - opisuje zmanjšanje razpoložljivosti vode na račun tvorbe tankega sloja na površini struktur npr. celične stene;
<p>gravitacijski potencial Ψ_g</p>	<ul style="list-style-type: none"> - pripišemo vodi zaradi vpliva gravitacijske sile na vodo (drevesa).

Vodni potencial čiste vode je 0, v rastlinskih tkivih pa je negativen, ker ne gre nikoli za čisto vodo, temveč so v njej raztopljene številne substance. Razlike v vodnem potencialu v sistemu tla-rastlina-zrak so pogonska sila za transport vode po rastlini. Za vodni potencial žive rastlinske celice sta pomembna zlasti osmotski potencial in potencial tlaka. V listu rastline, ki je dobro preskrbljena z vodo, se vodni potencial giblje med -0,2 in -1,0 MPa, rastline sušnih območij pa imajo vodni potencial dosti manjši. V povprečju lahko mejno vrednost vodnega potenciala, ki pomeni za rastlino nepovratno izgubo turgorja (točka venenja), postavimo pri -1,5 MPa (Vodnik, 2013; Černelič, 2007) (slika 26).



Slika 26: Vodni potencial tal v odvisnosti od volumske vsebnosti vode v tleh (Vodnik, 2013).
Figure 26: Water potential in dependence from soil water content (Vodnik, 2013).

Rastline črpajo vodo iz okolice korenin in tako zmanjšujejo vodni potencial tal. Pri tem se ustvari gradient tlaka s preostalo okolico tal, ki ima večji vodni potencial. Nastala tlačna razlika je osnova za masni tok, ki je poleg difuzije glavna oblika prenosa vode v tleh. Na hitrost toka vpliva velikost gradienta tlaka ter hidravlična prevodnost tal. Na to pa vplivajo tekstura tal in vsebnost vode v tleh. Večji matrični potencial pomeni več dostopne vode. Pri katerem koli matričnem potencialu zadržijo glinena tla več vode (Zakaj proučevati..., 2013).

Hidravlična prevodnost je funkcija vodnega potenciala tal. Prevodnost je mera za moč toka vode v tleh. Ko se vsebnost vode in s tem vodni potencial zmanjšuje, se hidravlična prevodnost močno zmanjša. Najbolj značilni točki vodnozadrževalnih lastnosti tal sta poljska kapaciteta (PK) in točka venenja (TV), ki določata interval rastlinam dostopne vode (RDV) (preglednica 7). Gravitacijsko odcedna voda se počasi ujame v kapilare tal nekje pri 1,8 do 2,0 pF, gravitacijsko pronicanje vode proti globljim plastem pa se zaustavi pri 2,5 pF. Spodnjo vrednost poljske kapacitete določamo pri 2,5 pF, končno vrednost intervala rastlinam dostopne vode določimo pri točki venenja 4,2 pF (Pintar in sod., 2010). To vodo lentokapilarna točka deli na težje in lažje gibljivo vodo v tleh. Rastline imajo različno sposobnost črpanja vode in so zato različno odporne proti suši (Pintar, 2006).

Na osnovi obeh točk je določena tudi rastlinam dostopna in nedostopna voda v tleh. Voda, ki jo tla zadržujejo med poljsko kapaciteto in točko venenja, je definirana kot dostopna voda. Voda, ki v tleh še ostane po točki venenja, je definirana kot rastlini nedostopna voda. Zasičenost tal pomeni točko, ko so vse pore v tleh napolnjene z vodo (Pintar, 2006).

Preglednica 7: Pomembnejše točke vodnega potenciala v tleh (Allen in sod., 1998; Rojec, 2009; Vodnik, 2013).

Table 7: The most important points of soil water potential (Allen et al., 1998; Rojec, 2009; Vodnik, 2013).

maksimalna vodna kapaciteta	maksimalna količina vode, ki jo tla lahko sprejmejo, vendar je ne morejo zadržati. Vse pore so napolnjene z vodo ($pF = 0$).
poljska kapaciteta	količina vode, ki ostane v tleh zatem, ko zaradi gravitacije voda odteče iz z vodo nasičenih tal in se gibanje vode v tleh skoraj ustavi; odvisna je od teksture, vsebnosti organske snovi in strukture (pri osnovnih teksturnih klasifikacijah je zadržana voda okoli 45 vol. % pri glini, 35 vol. % pri ilovici in 7 vol. % pri pesku). V povprečju imajo tla pri poljski kapaciteti matrični potencial vode okoli 33 kPa (oziroma $pF = 2,5$). Novejša literatura za poljsko kapaciteto označuje vodo v tleh, katere matrični potencial je večji od $pF = 1,8$.
točka venenja	količina vode, pri kateri rastline trajno uvenejo in si kljub namakanju ne opomorejo več; rastlina ni več sposobna črpati vode in odvzem vode je enak 0 (pri osnovnih teksturnih klasifikacijah je zadržana voda okoli 30 vol. % pri glini, 15 vol. % pri ilovici in 7 vol. % pri pesku). Matrični potencial vode v tleh je takrat okoli 1500 kPa (oziroma $pF = 4,2$).
efektivna poljska kapaciteta (EPK) ali rastlini dostopna oziroma fiziološko aktivna voda	količina rastlinam dostopne vode (RDV), ki jo rastline lahko koristijo za fiziološke potrebe. Določena kot razlika med PK in TV. Označuje vodo v tleh, katere matrični potencial je med poljsko kapaciteto ($pF = 2,5$) in točko venenja ($pF = 4,2$).

Teksturno lahka, peščena tla imajo najmanjšo kapaciteto za zadrževanje vode in so zato najbolj ranljiva za sušo. V 1 m³ peščenih tal je zadržane (vezane) le 120–130 l vode (12–13 vol. %). Ker je ta voda slabo vezana, jo lahko rastline izkoristijo do 65 % (Suhadolc in sod., 2008). V Sloveniji je njiv na plitvih tleh, ki so se razvila na peščeno prodnatih naplavinah rek, več kot 10 % (Čergan in sod., 2008). Srednje težka tla, ki so v slovenskem prostoru najbolj zastopana, imajo že precej večjo sposobnost za zadrževanje vode. V 1 m³ teh tal je lahko zadržane 260–390 l vode (26–39 vol. %). Od tega je polovični delež rastlini dostopen. Teksturno težka tla imajo največjo sposobnost za zadrževanje vode. V 1 m³ teh tal je lahko zadržane 520 l vode (52 vol. %). Od tega je sposobnost rastlini dostopne vode precej zmanjšana in predstavlja le še okoli 30 % poljske kapacitete. Sposobnost tal za zadrževanje vode v tleh (poljsko kapaciteto) lahko povečuje tudi vsebnost organske snovi. Vpliv je največji v teksturno težkih tleh. Nasprotno pa vsebnost skeleta (> 2 mm) sposobnost tal za zadrževanje vode v tleh bistveno zmanjšuje (Suhadolc in sod., 2008).

Efektivna poljska kapaciteta tal za vodo v koreninski coni (Allen in sod., 1998):

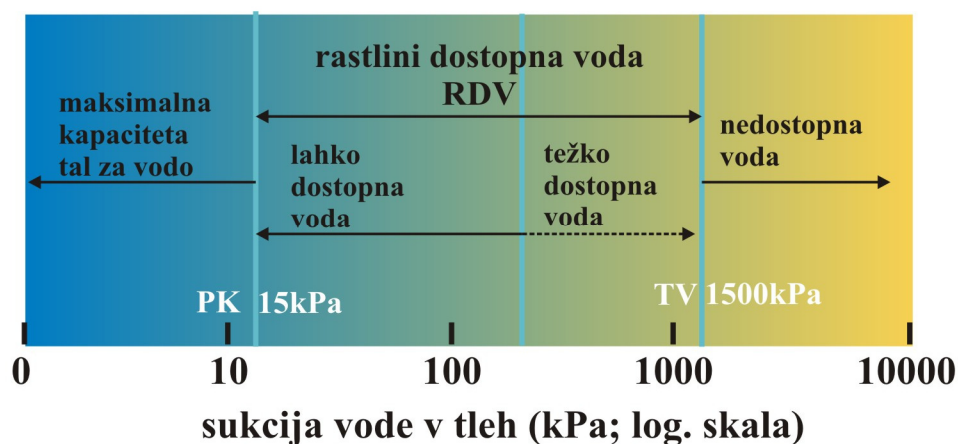
$$EPK = 1000(\Theta_{PK} - \Theta_{TV})D \quad \dots (1)$$

kjer so:

- EPK količina rastlini dostopne vode v koreninski coni [mm]
- Θ_{PK} vsebnost vode v tleh pri poljski kapaciteti [m³m⁻³]
- Θ_{TV} vsebnost vode v tleh pri točki venenja [m³m⁻³]
- D globina korenin [m].

Ko se tla sušijo in se vsebnost vode v tleh približuje točki venenja, rastline prihajajo v območje vodnega stresa in začnejo veneti. Čeprav je voda teoretično dostopna do točke

venenja, rastline črpajo manj vode iz tal, še preden je dosežena točka venenja (Allen in sod., 1998). Kjer so tla zadovoljivo mokra je odvzem vode enak evapotranspiraciji rastline. Ko vsebnost vode v tleh pada, postaja močnejše vezana na talni matriks in jo rastline težje črpajo. Delež EPK, ki jo lahko rastline še srkajo iz koreninske cone brez sušnega stresa, je lahko dostopna voda (slika 27). V praksi je za začetek namakanja pogosto uporabljena vrednost vsebnosti vode v tleh, ki predstavlja 50 % poljske kapacitete ali okrog 100 kPa. Govorimo o lahko dostopni vodi (angl. izraz *readily available water* – RAW) (Managing water ..., 2013).



Slika 27: Prikaz dostopnosti vode v tleh za rast in razvoj rastlin (Managing water ..., 2013).

Figure 27: Representation of the availability of water in soils for plant growth and development (Managing water..., 2013).

2.6.2.1 Vodnozadrževalne lastnosti tal v Sloveniji

V Sloveniji obstaja velika pestrost tal, tako v vrsti tal kot tudi v lastnostih tal. Pedološko karto Slovenije v merilu 1 : 25.000 je leta 1999 izdelal Center za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete in je javno dostopna (Suhadolc in sod., 2010). Podatki o tleh so bili uporabljeni tudi za številna modeliranja in izdelavo tematskih kart, kamor sodi tudi karta vodnozadrževalnih lastnosti tal (oziroma ranljivost za sušo). Pri interpretaciji tematskih kart je treba upoštevati merilo natančnosti karte, reprezentativnost profilov in omejitev izbranih orodij in modelov.

V Sloveniji še nimamo ovrednotenih vodnozadrževalnih lastnosti tal po posameznih talnih sistemskih enotah. Dosedanje meritve so bile omejene na posamezne projekte in so zajemale prostorsko omejen izbor talnih tipov. Velikokrat so bile namesto meritev uporabljene z modeli ocenjene vrednosti. Vernik in Vrščaj (2009) navajata, da pedološki podatki v Sloveniji niso na voljo v ustreznem merilu, niti v ustrezni vsebini. Po njihovem mnenju je natančno pedološko kartiranje oz. pridobivanje fizikalnih podatkov tal v velikem merilu (npr. 1 : 5.000 ali 1 : 10.000) za državo dolgotrajen in finančno zahteven projekt. Obstoječe podatke pedološke karte je možno z uporabo naprednih metod prostorskega vrednotenja podatkov močno izboljšati in tako približati merilu in natančnosti, ki jih zahteva napovedovanje suš oz. ocenjevanje naravnih nesreč na kmetijskih površinah.

Pomembno dejstvo, ki omogoča uvajanje novih metod izboljšave pedoloških podatkov, so nove geokodirane baze podatkov prostora, ki so na voljo v Sloveniji.

2.6.3 Problematika fiziološke suše in sušnega stresa

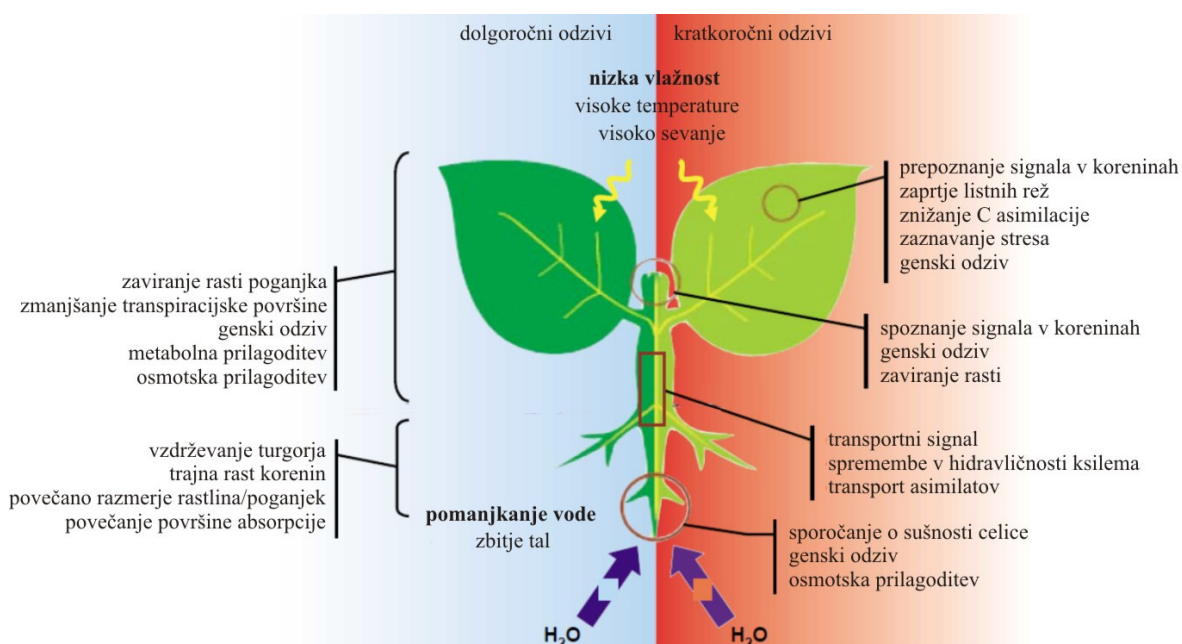
Pri ugotavljanju kmetijske suše največ težav sproža ugotavljanje vpliva sušnih razmer na posamezne kmetijske rastline. Znano je, da na rast in razvoj rastlin lahko vplivajo abiotiski dejavniki, kot so slanost tal, visoke temperature zraka, sevanje, poplave in primanjkljaj vode. Poslabšano delovanje teh okoljskih razmer lahko privede do velikih izgub v produktivnosti oziroma manjšega pridelka.

Skoraj vse rastline so med rastjo in razvojem večkrat izpostavljene pomanjkanju vode, ki je med pogostimi in najbolj škodljivimi abiotiskimi dejavniki. Rastline različno prenašajo abiotiske strese (Bohanec in sod., 2004). Pri soočanju z vodnim stresom se rastline odzovejo vrstno/genško specifično. Po ponovni vzpostavitvi ugodnih vodnih razmer se skoraj vsaka rastlina lahko vrne v normalno stanje, če pa pride do prevelikega vodnega stresa, si rastline težko opomorejo (Zingaretti in sod., 2013). Sušni stres povzroča pri rastlini kratkoročne in dolgoročne učinke (de Oliviera in sod., 2013) (slika 28).

Mehanizem prenosa vode v sistemu tla-rastlina-ozračje poteka v treh glavnih komponentah: s fiziološkega vidika (rastlina-voda), z vidika fizike tal (tla-voda) in z meteorološkega vidika (ozračje-rastlina) (Matajč, 2002a). V fiziologiji je mera za razpoložljivost vode v rastlini vodni potencial (Taiz in Zeiger, 2010). Vodno bilanco rastline lahko prikazujeta dva dejavnika: vsebnost vode in energetski status vode. Vsebnost vode se navadno izraža kot relativna vsebnost vode, energetski status vode pa kot vodni potencial, ki se najpogosteje meri v listih (Šircelj, 2004).

Voda se v rastlino absorbira prek korenin. Absorpcija poteka na osnovi razlike v vodnem potencialu tal in korenine. Gonilo za tok vode po ksilemu je podtlak (tenzija), ki nastaja zaradi izhlapevanja vode iz površine celičnih sten mezofilnih celic. Nastajajo mikroskopsko majhni meniski vode, katerih polmer je z večjim izsuševanjem vedno manjši in temu ustrezno narašča podtlak. Da je tok pod takšnim podtlakom mogoč, je potrebna posebna anatomska prilagoditev prevajalnih celic (Taiz in Zeiger, 2010).

Izhlapevanje iz lista je odvisno od dveh glavnih dejavnikov: razlike v koncentraciji vodne pare v listu in v okoliškem zraku ter od difuzijske upornosti poti vodne pare. Prenos vode z izhlapevanjem omogoča difuzija, ki poteka na osnovi koncentracijskega gradienta vodne pare. Voda je pomembna za vzdrževanje vodnega potenciala v protoplazmi in za metabolične procese. Ob vodnem stresu se zmanjša kemični potencial vode v celicah rastline, turgor pade in posledica je zapiranje listnih rež, poveča se stomatalna upornost (Taiz in Zeiger, 2010). Sušni stres nastopi, ko pride do pomanjkanja rastlini dostopne vode v tleh in atmosferske razmere sprožajo stalno izgubo vode zaradi transpiracije in evaporacije (Jaleel in sod., 2009).



Slika 28: Odziv rastline na vodni stres (de Oliviera in sod., 2013).

Figure 28: Plant responses to water stress (de Oliviera et al., 2013).

Sušni stres je po definiciji vsako značilno odstopanje od optimalnih pogojev za življenje rastline. Povzroči lahko spremembe in odzive na vseh delujočih ravneh organizma (Larcher, 1995). Sušni stres je zmerna izguba vode, ki vodi do zapiranja listnih rež in zmanjševanja izmenjave plinov. Stres je stanje organizma, nastalo pod vplivom notranjih in zunanjih dejavnikov, ki glede na svojo jakost in trajanje sprva vplivajo negativno. Pozneje, če organizem preživi, pa stres vpliva pozitivno, ker postane odporen proti različnim stresnim dejavnikom (Sušnik in Pogačar, 2011).

Stres označuje zmanjšanje vsebnosti vode v rastlini, zmanjšanje vodnega potenciala lista in izguba turgorja, zapiranje rež ter zmanjšano povečevanje celic in rast rastline (Jaleel in sod., 2009). Med najbolj občutljivimi fiziološkimi procesi so: celična rast, izgradnja celične stene, sinteza proteinov in redukcija nitratov (Sušnik in Pogačar, 2011). Pri hudem sušnem stresu utegne priti do ustavitve fotosinteze, motenj v metabolizmu in tudi do propada rastline. Sušni stres večinoma zmanjšuje rast listov, kar se kaže kot venenje listne ploskve in sušenje celotnih listov, povzroča slabše razvite generativne organe ter manjši in manj kakovosten pridelek.

Posledice suše se v rastlinah postopno kopičijo in se ohranijo daljši čas, zato po navadi težko določimo začetek in konec suše (Šircelj, 2004). Organizem, ki je pod stresom, gre skozi zaporedja značilnih faz. Stres je stanje, pri katerem prevelik napor rastline prvotno vodi v destabilizacijo nekaterih funkcij, sledi normalizacija in v končni fazi izboljšanje. Če pa je meja presežena in je zmožnost prilagajanja precenjena, je posledica tega lahko trajna poškodba ali celo smrt organizma. Prva je alarmna faza. Pojavu nenehnih motenj sledi destabilizacija strukturnih (na primer proteini, biološke membrane, celični skelet) in funkcionalnih (biokemični procesi, energetska presnova) okoliščin, ki so potrebne za normalno opravljanje življenjskih aktivnosti. Alarmna faza se začne s stresno reakcijo, v kateri razgradnja prevlada nad izgradnjo. Če se intenzivnost dražljajev ne spremeni, se

hitro začne sinteza obrambnih snovi. Nato se proces nadaljuje v fazo rezistence. V tej fazi se odpornost poveča, tudi če se stres ponavlja. Zaradi izboljšanja lahko pride do normalizacije kljub nenehnemu stresu. To imenujemo prilagoditev. Če pa to stanje traja predolgo oziroma če stresni dejavnik predolgo deluje na rastlino, se intenzivnost stresa poveča. To pa povzroči fazo izčrpanosti (Šuštaršič, 2012).

Suša je fizikalni stresni dejavnik, posledično pa so pri sušnem stresu prisotni še dejavniki, kot so suh zrak, vročina in presežek sevanja (Vodnik, 2013). Najboljši kazalec sušnega stresa je sprememba v vodnem potencialu tkiva, in sicer zmanjšanje potenciala turgorja v rastlini. Posledice primanjkljaja vode v rastlini, ki jih navaja Vodnik (2013), so: spremembe v hidratacijskem ovoju okoli proteinov, prerazporeditev celičnih organelov, spremembe na plazmalemi, moten transport prek plazmodezm, spremembe koncentracije različnih molekul, vpliv na rast, vpliv na fotosintezo, vpliv na dihanje, vpliv na presnovo dušika.

2.6.3.1 Fiziološki aspekti sušnega stresa

Fotosinteza

Ko so rastline izpostavljene pomanjkanju vode, se zgodijo mnoge metabolne spremembe, ki se začnejo z redukcijo vsebnosti fotosinteznih pigmentov. Eden izmed glavnih odzivov na sušni stres, ki povzroči manjšo rastlinsko produkcijo, je nižja fotosintetska aktivnost (Zingaretti in sod., 2013), ki se kaže v manjšem privzemu CO₂ v liste, v vsebnosti adenoza-trifosfata in vsebnosti ribuloze bifosfata. Zaprtje aparata listnih rež omeji situacijo vodnega primanjkljaja in posledično zviša delovanje hormona rubisco, ki je odgovoren za fiksacijo CO₂. Zaradi nižje koncentracije CO₂ se zgodi redukcija v dinamiki procesov karboksilacije (vezave CO₂). Prav tako je znižan transport elektronov in uporaba trioza fosfatov v biološki kontroli. Pomanjkanje vode se pri fotosintetskih reakcijah kaže tudi v nižanju oziroma pomanjkanju fotosintetskih pigmentov. Spremembe v vsebnosti ogljikovih hidratov, skupaj s hormonalno vlogo, so signal, ki kaže na vodni stres. Fiziološki mehanizmi rastlinskega odziva so prikazani na sliki 29.

Izmenjava CO₂ in sušni stres rastlin sta močno povezana. Ob daljšem pomanjkanju vode se upornost poveča, in sicer do vrednosti, ko je izmenjava CO₂ praktično nemogoča. Učinkovitost izrabe vode je določena z razmerjem med količino vode, ki izhlapi iz rastline, in količino fotosintetsko asimiliranega ogljika. Fotosinteza in stomatalna upornost sta neizogibno povezana prek difuzijske poti CO₂ in vode skozi listne reže. Zapiranje rež zaradi suše lahko povzroči zmanjšanje medcelične koncentracije CO₂ in posledično zmanjšanje fotosinteze (Šircelj, 2004). Stomatalna upornost (omejen prehod skozi listne reže) in aerodinamična upornost (upornost plasti zraka tik na površino rastline) sta pomembna dejavnika, ki nadzorujeta izgubo vode iz listov.

V Penman-Monteithovi enačbi za izračun ET_0 sta prenos toplote in vodne pare, ki izhlapeva iz površine v zrak nad rastlinskim sklopom, določena z aerodinamično upornostjo (r_a). Površinska upornost (r_s) pa pomeni upornost prenosa vodne pare skozi rastlino in izhlapevajočo površino tal (Allen in sod., 1998).

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_m - d_n}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_h - d_n}{z_{oh}} \right]}{k^2 u_z} \quad \dots (2)$$

kjer so:

r_a	upornost mejne plasti ali aerodinamična upornost [sm^{-1}]
z_m	višina meritev vetra [m]
z_h	višina meritev temperature in vlažnosti [m]
d_n	premik ničelne višine zaradi vegetacije [m]
z_{om}	parameter hrapavosti za tok [m]
z_{oh}	parameter hrapavosti za prenos toplote in vodne pare [m]
k	von Karmanova konstanta [0,41]
u_z	hitrost vetra na višini z [ms^{-1}].

Indeks aktivne listne površine (LAI) je brezdimenzijska količina, ki jo izražamo v m^2 listne površine na m^2 površine tal. LAI vrednosti se razlikujejo za različne rastline.

$$r_s = \frac{r_l}{LAI} \quad \dots (3)$$

kjer so:

r_s	površinska upornost [sm^{-1}]
r_l	stomatalna upornost dobro osvetljenega lista [sm^{-1}]
LAI	indeks listne površine [m^2m^{-2}].

Stomatalna upornost, r_l , je povprečna upornost posameznega lista, specifična za vrsto rastline. Narašča s starostjo rastline. Upornost narašča pri rastlinah v vodnem stresu in ko težko dostopna talna voda ovira rastlinsko evapotranspiracijo. Za travo, ki je izbrana kot referenčna rastlina za izračun po Penman-Monteithu, je privzeta višina rastline 0,12 m, fiksna površinska upornost 70 sm^{-1} in albedo 0,23. Referenčna površina je negojena travnata površina enotne višine, ki popolnoma pokriva tla in je zadostno preskrbljena z vodo (Allen in sod., 1998).

Hormonska regulacija

Rastline so razvile številne mehanizme, ki omogočajo, da premostijo strese in s tem regulirajo fiziologijo ter metabolizem. Dober primer je sposobnost rastlin, da regulirajo vodne izgube prek zapiranja listnih rež ali z zmanjšanjem razvoja listne površine, preden se pojavijo permanentna izguba listnega turgorja in nepovratne poškodbe membranskih sistemov. Najnovejše raziskave rastlinske molekularne biologije (Zhang in sod., 2006) so nakazale grupe genov, ki so vezani na odziv rastlin na sušo. Čeprav vsi geni niso povezani z abscizinsko kislino (ABA), še vedno obstaja dejstvo, da ima ABA osrednjo vlogo.

Abscizinska kislina (ABA) je hormon, najmočneje povezan z vodnim stresom. Rastline, izpostavljene suši, povišajo vsebnost ABA v poganjkih in koreninah, kar vpliva na

aktivacijo G-proteina, produkcijo reaktivne oblike kisika (ROS), porast citosolnega Ca^{2+} , proteinsko fosforilacijo in defosforilacijske procese in zaprtje listnih rež.

Nadzor zapiranja listnih rež se pojavi ne samo zaradi delovanja ABA, ampak tudi zaradi ravnovesja hormonov avksina (A_x) in citokininov (C_k). Medsebojno delovanje C_k in ABA pa vpliva na kontrolo senescence oziroma staranja. Visoke koncentracije ABA verjetno vplivajo tudi na etilensko akumulacijo (ETI), kar vpliva na rast rastlin in poganjkov. Povečanje vsebnosti ABA sproži produkcijo ROS in superoksidne dismutaze (SOD), da bi zmanjšali oksidativni stres, hkrati pa nastajajo katalaza (CAT), askorbat peroksidaza (APX) in glutation reduktaza (GR).

Citokinini so navadno vpleteni v razvoj korenin in poganjkov, dokazano pa je bilo, da se povečana koncentracija citokininov v listih, ki se transportirajo iz korenin, kaže pri vodnem stresu. Giberelini (GA), A_x in brasinosteroidi (BR) niso direktno povezani z vodnim stresom, kakor koli pa je akumulacija GA povezana s funkcijo delovanja listnih rež.

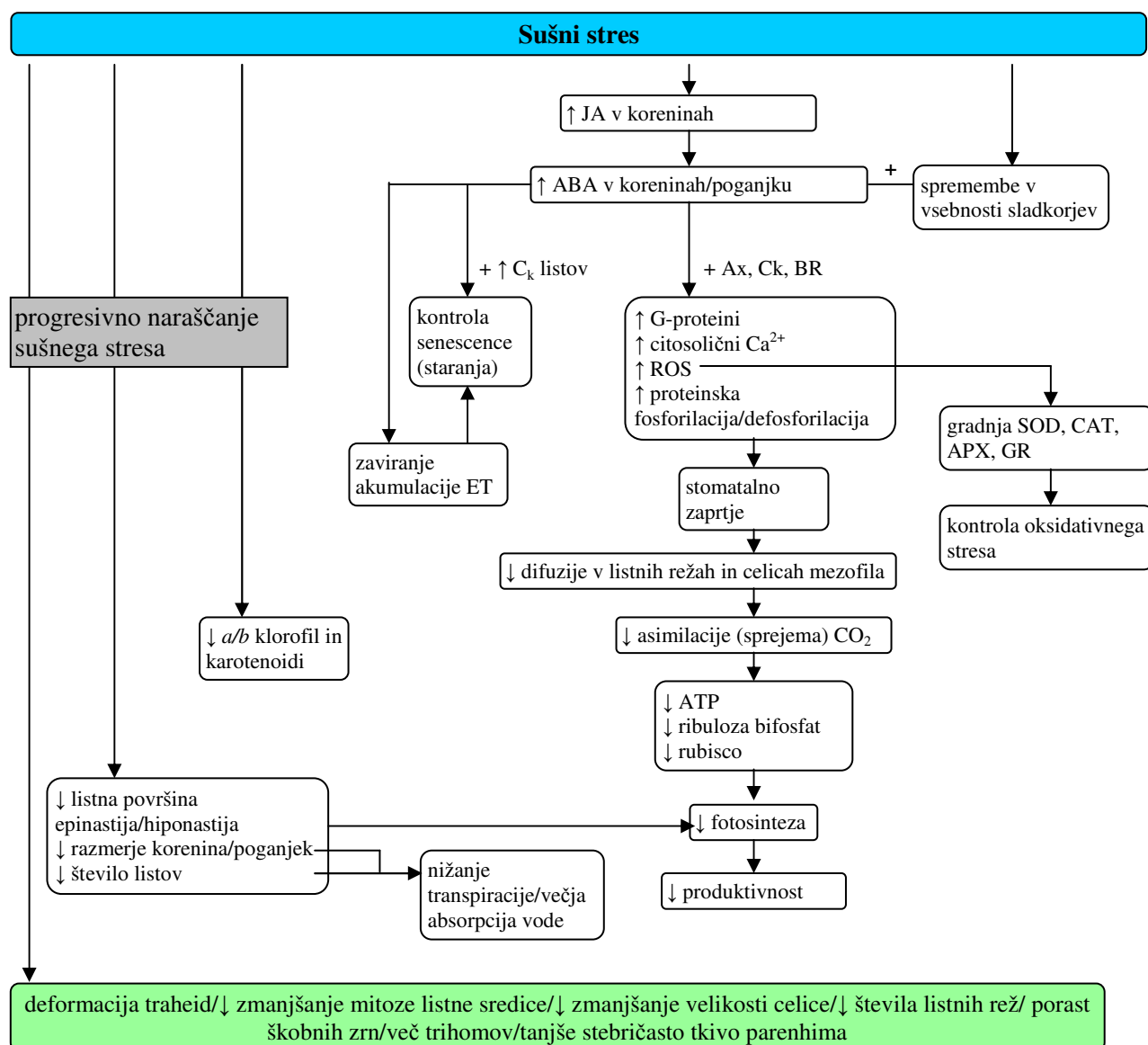
Vsebnost A_x v koreninah in listih se zmanjša v stresnih razmerah, kar povzroči povišanje vsebnosti ABA. Vse morfološke in anatomske spremembe, ki se pojavijo v rastlini ob vodnem primanjkljaju, so lahko povezane s hormonskim delovanjem. Rastline proizvajajo več korenin pri višji vsebnosti vode, poveča se razmerje korenina/poganjek, zniža se število listov in velikost listne površine, to pa vodi do nižanja fotosinteze in biomasne produkcije ter razvoja epinastije/hiponastije. Ob vodnem stresu pride tudi do deformacije traheid v ksilemu zaradi nižanja osmotskega potenciala, do redukcije mitotskih aktivnosti mezofilnih celic, do porasta škrobnih zrn v kloroplastu in produkcije trihomov, pa tudi do zmanjšanja velikosti celic in števila rež ter debeline palisadnega parenhima (Zingaretti in sod., 2013).

Odziv C_3 in C_4

Odziv na vodni stres je pri rastlinskih tipih C_3 in C_4 različen. Produkcija vodikovega peroksida je ob vodnem stresu višja v rastlinah C_3 , rastline C_4 pa so bolj občutljive za vodni stres zaradi zaprtja listnih rež in nižanja delovanja fotosintetskih encimov, indukcije senescence oziroma staranja in sprememb v listni anatomiji (Zingaretti in sod., 2013).

Ob povečani vsebnosti CO_2 v ozračju pa se poveča gradient CO_2 med rastlino in okolico, zaradi česar pride v rastlino večja količina CO_2 . Še bolj pomembno je, da povečanje koncentracije CO_2 zavira fotorespiracijo, proces, pri katerem rastlina iz ozračja črpa O_2 in oddaja CO_2 . Povečanje fotosinteze in zmanjšanje fotorespiracije navadno privede do večjih in močnejših rastlin ter večjega pridelka suhe snovi (Bergant in sod., 2004).

Drug pomemben neposreden vpliv povečane vsebnosti CO_2 v ozračju na rastline je delno zaprtje listnih rež, kar zmanjša transpiracijo, ne zmanjšuje pa fotosintetske učinkovitosti. Podobno kot pri fotosintetski učinkovitosti, je tudi v primeru transpiracije učinek večji pri rastlinah C_4 , saj imajo razvito učinkovitejšo izrabo vode že pri sedanjih vsebnostih CO_2 v ozračju. Zmanjšana transpiracija zaradi višje vsebnosti CO_2 bi lahko ublažila vpliv višjih temperatur, zaradi katerih naj bi se transpiracija povečala.



Slika 29: Fiziološki mehanizmi, ki jih povzroča vodni stres (Zingaretti in sod., 2013: 153)
Figure 29: Physiological mechanisms induced by water stress (Zingaretti et al., 2013: 153)

- Legenda:
- JA – jasmonska kislina
 - ABA – abscizinska kislina
 - G-proteini – družina proteinov
 - ROS – reaktivne oblike kisika
 - A_x – avksin (hormon)
 - C_x – citokinini (hormoni)
 - BR – brasinosteroidi (hormon)
 - rubisco – hormon
 - SOD – superoksidna dismutaza (encim)
 - CAT – katalaza (encim)
 - APX – askorbat peroksidaza (encim)
 - GR – glutation reduktaza (encim)
 - ETI – etilen
 - ↓ – nižanje
 - ↑ – višanje

Skupaj s povečano fotosintetsko učinkovitostjo bi imele predvsem rastline C₃ boljšo izrabo vode, ki je merilo za količino asimiliranega CO₂ glede na količino porabljene vode. Omogočena bi jim bila rast v toplejših in sušnejših razmerah, kjer zdaj prevladujejo rastline C₄. 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. Kljub delnemu zaprtju listnih rež se zaradi večjega gradienta vodne pare lahko poveča transpiracija. Ali je rastlina v stresu, lahko odgovorimo le tako, da jo primerjamo z rastlino v normalnem stanju. Razlike med destruktivnimi in konstruktivnimi procesi težko opredelimo, saj se lahko pojavijo hkrati (Šuštaršič, 2012). Stres prepoznavamo prek specifičnih in nespecifičnih kazalcev, ki jih tudi merimo (preglednica 8). Po Larcherju (1995, prevod v Šuštaršič /2012/) so nespecifični kazalci stresa lahko:

Preglednica 8: Nespecifični kazalci stresa (Larcher, 1995, povzeto po Šuštaršič, 2012).
Table 8: Non-specific stress indicators (Larcher, 1995, op. cit. Šuštaršič, 2012).

Kazalec	Predstavniki
spremenbe pri delovanju encimov	detoksikacijski encimi: peroksidaza, glutation reduktaza, dehidroaskorbat reduktaza
kopičenje antioksidantov	askorbinska kislina, tokoferol
kopičenje kompatibilnih osmotsko aktivnih snovi	aminokislina prolin, betain, sladkorni alkohol
biosinteza proteinov, poliaminov in številnih sekundarnih snovi	polifenoli, flavonoidi
tipični stresni hormoni	abscizinska kislina, jasmonska kislina, etilen
spremenbe pri lastnostih membrane	membranski potencial, prenos snovi
povečano dihanje	
zmanjšana fotosinteza	
zmanjšana tvorba suhe snovi	
motnje rasti, zmanjšan pridelek	
prezgodnje staranje	

Odzivi rastlin na sušni stres se razlikujejo, kar lahko spremljamo z različnimi tehnikami, na primer z analizo proetinjskih profilov (Franko, 2010).

Blag sušni stres lahko na nekatere rastline (vinska trta) vpliva tudi pozitivno, kot na primer ugoden vpliv blagega sušnega stresa na primarne metabolite v grozdju: vsebnosti sladkorjev, fenolov in arome (Vivodinac, 2011).

2.6.3.2 Sušni stres pri izbranih rastlinah

Koruza ima največje potrebe po vodi v obdobju od cvetenja do mlečne zrelosti. Ima sicer nizek transpiracijski koeficient, ker pa lahko daje izredno visoke pridelke suhe snovi, so potrebe po vodi sorazmerno velike. Poškodbe zaradi pomanjkanja vode so odvisne od faze rasti, ko je prišlo do sušnega stresa. Najbolj kritično obdobje je metličenje, svilanje in oplodnja, ki lahko traja tudi do 20 dni. V času hitre rasti koruze pred cvetenjem suša

povzroči zmanjšanje višine rastlin in slabo zasnovo storža, v cvetenju slabšo oplodnjo ali celo jalovost rastlin, od oplodnje do mlečne zrelosti zmanjšanje števila zrn v vrsti, po mlečni zrelosti pa manjšo težo zrn. V vseh fazah rasti lahko pride do sušenja listov. Zaradi suše poškodovana koruza je praviloma bolj občutljiva za poškodbe zaradi glivičnih bolezni in škodljivcev (Čergan in sod., 2008).

Dognano je, da je sušni stres zelo pomemben omejevalni dejavnik v začetnih fazah rasti in razvoja rastlin (Jaleel in sod., 2009). V setveni strukturi imamo okoli 65.000 ha njiv s koruzo. Dejstvo je, da prihaja zaradi sušnega stresa do čedalje večjih izgub pridelka, še posebej na pretežno prodatih tleh, kjer pa tudi v povsem povprečnih letih pridelava ni optimalna. Nasprotno se škoda zaradi fiziološkega pomanjkanja vode na težjih tleh pri koruzi zelo poredko pojavlja. Drugi problem, ki prizadene koruzo, je prenizka zračna vlaga, ki, ne glede na tip tal, povzroči sušenje laskov (pestičev), zaradi česar lahko oploditev in s tem pridelek delno ali v celoti izpade. V tem primeru ne moremo govoriti o hibridih, bolj ali manj odpornih proti suši, pa tudi dolgoletna prizadevanja žlahtniteljev niso prinesla za sušne razmere primernejših hibridov. Pri pšenici nam na primer skoraj praviloma lahko dajo višje in zanesljivejše pridelke rane sorte (Bavec, 2012).

Vsa strna žita potrebujejo sorazmerno veliko vode. Za tvorbo enega kilograma suhe snovi porabijo od 400 do 700 litrov vode. Najmanjše potrebe po vodi imata ječmen in rž, nekoliko večje imata pšenica in tritikala, najbolj zahteven glede vode je oves. Izpad pridelka zaradi pomanjkanja vode pri žitih je največji, kadar to nastopi v obdobju od začetka kolenčenja do klasenja. V ekstremnih primerih se lahko pridelek zmanjša celo za 80 %. V tem obdobju, ko je rast najbolj intenzivna, rastline porabijo kar okoli 50 % vse potrebne količine vode. K sreči se v naših rastnih razmerah suša v tem obdobju pojavi redko. Pri nas suša posevek najbolj pogosto prizadene v obdobju mlečne zrelosti in nalivanja zrnja. Zaradi tega je zrnje drobnejše in slabše kakovosti (Čergan in sod., 2008).

Za Slovenijo je značilen velik delež trajnega travinja. Precejšen del tega travinja pogojujejo naravne razmere in ga ne moremo spremeniti v njive ali trajne nasade. Velik del travinja je na kraških območjih, kjer se pogosto srečamo s sušnimi razmerami. Na območjih z velikim deležem trajnega travinja je kmetijstvo (živinoreja) skoraj izključno odvisno od pridelovanja krme na travinju. Ruša trajnega travinja se je zelo sposobna prilagajati naravnim razmeram. Kljub temu lahko s pravilno rabo gospodarjenje še izboljšamo in ga prilagodimo tudi sušnim razmeram. V nasprotju z mnogimi drugimi kmetijskimi rastlinami je travna ruša trajnega travinja večletna. Posledice hudih suš na eni strani vplivajo na pridelovalno sposobnost travinja tudi v naslednjih letih, hkrati pa se botanična sestava ruše trajnega travinja nenehno spreminja in prilagaja rastnim razmeram, torej tudi pomanjkanju vode. Rast travne ruše se poleg tega časovno prilagaja obdobjem z dovolj razpoložljive vode. Spomladanski bujni rasti tako sledi poletno mirovanje in ob ugodnih razmerah ponovna rast v jesenskem obdobju. To pomeni, da moramo pri pridelovanju krme na travinju posebno pozornost posvetiti prvi košnji, s katero količinsko in kakovostno pridelamo zelo pomemben del celoletnega pridelka. Sejano travinje (trave, metuljnice in njihove mešanice) pridelujemo praviloma v njivskem kolobarju. Zaradi potreb živinoreje po kakovostni krmi se v Sloveniji obseg sejane travinja v zadnjih letih povečuje. Sodobni načini siliranja omogočajo zgodnjo košnjo, zgodaj košena krma je dobro prebavljiva in jo živali rade uživajo. V sejani travni ruši prevladujejo kakovostne

trave in metuljnice, ki so selekcionirane za večji pridelek, boljšo hranilno vrednost, trpežnost, odpornost proti boleznim in tudi boljšo odpornost proti stresnim razmeram. Poleg pridelave krme ima sejano travinje v njivskem kolobarju velik pomen za ohranjanje rodovitnosti in strukture tal. Sejano travinje veča vsebnost organske snovi v tleh, kar ugodno vpliva na zadrževanje vode v tleh. Za setev v sušnih razmerah je med travami najprimernejša pasja trava. Negativno lastnost hitrega staranja in zmanjševanja kakovosti nadoknadimo z zgodnjo in pogosto rabo. V mešanici z belo deteljo je zelo primerna za intenzivno rabo na sušnih območjih (Čergan in sod., 2008).

2.6.4 Kmetijska suša

Karakterizacija kmetijske suše je popolnoma drugačna od drugih suš. Pomanjkanje padavin ali njihova nepravilna časovna razporeditev v kmetijskih regijah je pogosto vzrok, da kmetijskim rastlinam v pomembnih razvojnih fazah primanjkuje vode, še posebno na tleh s slabo zadrževalno sposobnostjo za vodo. Kadar tako stanje povzroči slabšo kakovost pridelka, govorimo o t. i. kmetijski suši. Na sposobnost zadrževanja padavinske vode v tleh pred izhlapevanjem vplivajo še številni dejavniki mikrolokacije, zlasti stanje in lastnosti tal ter pokritost z vegetacijo in način gospodarjenja s tlemi.

Pri definiciji kmetijske suše je treba upoštevati primanjkljaj padavin skupaj s fizikalnimi in biološkimi lastnostmi rastlin v povezavi s sistemom tla-rastlina-ozračje in razmerjem med porabo vode pri rastlinah in njihovo dejansko oskrbo (Das in sod., 2003).

Operativne definicije kmetijske suše določajo stopnjo zmanjšanja vode v tleh na osnovi primerjave vrednosti dnevni padavin in evapotranspiracijske stopnje ter nato izražajo razmerje v obliki vpliva suše na stanje (rast in pridelek) rastlin v različnih razvojnih fazah (Archive. U.S. Drought ..., 2012). Poleg padavin je v tem primeru treba upoštevati še zaloge vode v tleh ter razliko med dejansko in potencialno evapotranspiracijo. Količina vode, ki jo rastlina potrebuje, je odvisna od vremenskih razmer (temperatura zraka, relativna vlažnost, veter), fiziologije rastline in njene razvojne faze ter od sestave tal, na katerih rastlina raste.

Značilnost kmetijske suše je tudi v tem, da se pri kateri koli drugi obliki suše lahko rastline ob zadovoljivi količini padavin povrnejo v normalno stanje, kmetijska suša v določeni fazi razvoja rastlin pa ne omogoča povratnega mehanizma, ker pride do trajnih poškodb na rastlinah. Tudi posameznega sušnega dogodka ne smemo opazovati samostojno. Občasno vpliv sušnega dogodka kontinuirano vpliva na neko območje v zaporednih letih. Analiza kmetijske suše je zelo kompleksna, ker je začetek in konec suše zelo težko določljiv, ker se vplivi suše med določenim obdobjem navadno akumulirajo in so lahko opazni šele na koncu obdobja (na primer ob koncu vegetacijske sezone, pri večletnih rastlinah lahko tudi v naslednji sezoni) (Archive. U.S. Drought ..., 2012).

Operativne definicije suše se lahko uporabljajo za analizo frekvence, jakosti in obdobja suše in po možnosti tudi vpliva (pridelek) v odvisnosti od narave uporabljene definicije. Zaradi kompleksnosti je največ težav ravno pri sledenju kmetijske suše. Izbira orodja za zaznavanje suše in podatkovnega nabora za monitoring je odvisna od definicije suše oziroma pomembnosti njenih posledic. V kmetijstvu je lahko usodna že zelo kratkotrajna

suša – že nekajtedenski izpad padavin lahko v občutljivem ravnem obdobju povzroči hude posledice.

Univerzalna definicija kmetijske suše, ki bi bila ustrezna za vsa okolja, ne obstaja, še zlasti če govorimo o geografsko razgibanih regijah. Zato se ne moremo zanašati na uporabo enega sušnega kazalca, temveč je zelo zaželeno, da preučimo kombinirano uporabo primernih kazalcev – enostavnih ocen suše, meritev vodnega stanja tal, modelskih izračunov simulacije suše v kombinaciji s sušnimi indeksi.

Prav tako kot pri konceptualnih definicijah meteorološke, klimatološke in hidrološke suše obstaja obsežen seznam definicij kmetijske suše. Nekaj od njih je povzetih v Sušnik (2006) in Šebenik (2012).

Maracchi (2000) navaja, da je kmetijska suša posledica podnebnih razmer in nekaterih drugih dejavnikov, kot so povečana poraba vode, spremenjena raba tal ali neučinkovita izraba vode. Povzroči močno zmanjšanje pridelka ali poslabšanje njegove kakovosti.

Kmetijsko sušo kot kombinacijo meteorološke in hidrološke suše definirata Evropska okoljska agencija (Impacts of Europe's ..., 2004) in Ameriški Nacionalni center za upravljanje suše (Archive. U.S. Drought ..., 2012). Namesto izraza kmetijska suša poročilo IPCC (Special report ..., 2012) uporablja izraz suša vlage v tleh (angl. *soil moisture drought*). Razlog je v tem, da ima deficit vode v tleh poleg vpliva na agroekosisteme, številne dodatne vplive na naravne ekosisteme ter na infrastrukturo prek mehaničnih procesov v tleh.

Seneviratne in sod. (2010) poudarjajo, da so vplivi kmetijske suše nelinearni; obstajajo na primer diskretni pragovi vode v tleh, ki vplivajo na vegetacijo in površinske tokove vode, kar pomeni, da enako velik padavinski primanjkljaj ne bo vplival na regije enako (na primer kratkotrajno pomanjkanje padavin v humidnem podnebjju ne bo kritično za kmetijstvo zaradi zaloge vode v tleh).

Meteorološki slovarček Ameriškega meteorološkega društva (AMS policy ..., 2011) kmetijsko sušo navaja kot razmere, ki se odražajo v neugodnih odzivih rastlin, po navadi zaradi tega, ker rastline ne morejo doseči potencialne evapotranspiracije kot rezultat visokih atmosferskih zahtev in/ali omejene vode v tleh. Jakost suše definirajo z indeksi (na primer PDSI) in ga funkcionalno izražajo kot vodni stres, ki zmanjša pridelek. Sun in sod. (2011) definirajo kmetijsko sušo kot razmere, ko oskrba rastlin z vodo v regiji konsistentno ne dosega potreb nekaterih rastlin v določenem času in s tem močno vpliva na produktivnost.

Kmetijsko sušo v največji meri opredeljuje vsebnost vode v tleh. Vsebnost vode pa je morda v večji meri odvisna od tipa tal kot od vremenskih razmer. Zato je treba dobro poznati strukturo in teksturo tal ter njihove vodnozadrževalne lastnosti; kmetijska suša bolj prizadene območja z lahkimi, bolj prepustnimi tlemi z manjšo sposobnostjo zadrževanja vode. Poznavanje tal pa je težko, saj so za natančen izračun rabe vode na kmetijskih površinah potrebni detajlniji podatki o vodnozadrževalnih lastnostih. Za zdaj je na voljo omejeno število meritev in se je treba zatekati k približkom in posplošitvam. Porabo vode

za različne kmetijske rastline izračunamo s pomočjo modelov vodne bilance. Na voljo so domača in tuja modelska orodja, ki na enostaven ali kompleksen način upoštevajo tridimenzionalni sistem rastlina-tla-ozračje. Najosnovnejši način je določanje vodne bilance kot razlike med izmerjeno količino padavin in izračunano potencialno evapotranspiracijo.

Kmetijska suša je posledica več naravnih (padavine, temperature, geološka sestava itn.) in družbenih (namakalni sistemi, organizacija, razvitost gospodarstva, tehnologij, postopkov itn.) okoliščin, ki imajo ob svojem negativnem sovpadanju za posledico pomanjkanje vode za ugoden razvoj kmetijskih rastlin in gozda. V kmetijstvu takrat prihaja do slabše kakovosti ali manjše količine pridelka, ali celo do popolnega uničenja letine in poškodb trajnih nasadov (Sušnik, 2006).

Kumulativni padavinski primanjkljaj lahko nastane v nekem obdobju zelo hitro ali nastaja postopno. Zaradi plazeče narave (angl. *creeping nature*) kmetijske suše se njeni vplivi pojavljajo šele po nekaj tednih ali celo mesecih. Po navadi se kmetijska suša najprej pojavi kot primanjkljaj vode v tleh in je zato kmetijstvo prvi sektor, ki ga prizadene.

Maracchi (2000) poudarja, da je pri kmetijski suši treba razlikovati med dvema tipoma kmetijske suše, prostorsko in časovno. Prostorska suša predstavlja geografski vidik suše. Vsebinsko se približa konceptu aridnosti. Povezana je s pomanjkanjem padavin znotraj leta in je stalen podnebni pojav, ki ga povzroča vzorec splošne atmosferske cirkulacije. Na območjih, kjer je tak tip suše običajen, se je lokalno prebivalstvo sčasoma nanjo prilagodilo s posebnimi tehnikami in življenjskim slogom, v kmetijstvu pa s tehnikami kmetovanja. Časovni vidik dostopnosti vode za regijo je posledica medletnega nihanja in trenda zmanjševanja količine padavin, ali zaradi različne razporeditve padavin med letom. Geografska opredelitev kmetijske suše zelo pogosto poteka tudi na osnovi administrativnih mej ali na osnovi razporeditve glavnih kmetijskih kultur v regiji.

Za vodo v tleh sta glavni gonilni spremenljivki padavine in/ali naraščajoča evapotranspiracija. Čeprav je največkrat najbolj izpostavljena vloga padavinskega primanjkljaja, številni kazalci kmetijske suše direktno ali indirektno upoštevajo vpliv evapotranspiracije. V izjemno sušnih razmerah suša v tleh postane omejevalni dejavnik za evapotranspiracijo, saj onemogoča nadaljnje zmanjševanje količine vode v tleh. Pomemben aspekt za vodo v tleh so razmere pred pojavom suše. Voda v tleh je močno povezana z vodno zalogo in s tem tudi odzivni čas na sušo (Seneviratne in sod., 2010). Stopnja suše v tleh je odvisna od talnega tipa, topografije in vegetacije. Natančnejša analiza suše zahteva tudi določanje učinkovitih padavin, ki napolnjujejo talni profil. Učinkovitost padavin je še posebno pomembna pri daljših sušnih obdobjih. Evropski observatorij za sušo navaja, da sušo povzroča pomanjkanje padavin v daljšem obdobju. Zaradi prostorske variabilnosti povprečne količine padavin definicija sušnih obdobjev zahteva vključevanje lokalnih karakteristik (EDO, 2012).

2.6.5 Kazalci kmetijske suše

Mishra in Singh (2010) navajata, da sušni kazalec predstavlja spremenljivko za oceno suše in določanje različnih sušnih parametrov, ki vključujejo intenzivnost, trajanje in prostorsko razprostranjenost suše. Naloga indeksa je, da kvantificira sušo v različnih obdobjih, za kar je treba imeti na voljo daljše časovne nize podatkov.

Najbolj pogosta časovna enota za analizo suše je leto, vendar je največkrat namenjena za ugotavljanje regionalnega obnašanja suše. Za monitoring kmetijske suše je pogosto uporabljeno mesečno obdobje.

V sklopu iniciative Svetovne meteorološke organizacije leta 2010 so strokovnjaki izvedli pregled sušnih kazalcev za zaznavanje kmetijske suše v različnih regijah sveta, njihove prednosti in slabosti ter oceno primernosti indeksov za oceno jakosti suše in njenega vpliva na kmetijstvo (Sivakumar in sod., 2011).

Odločitev za izbiro primerne sušnega kazalca je pogojena s številnimi dejavniki: z dostopnostjo informacij, specifičnostjo sušnega dogodka in raznovrstnostjo vplivov ter prostorsko in časovno pojavnostjo.

Cloppet (2011) je izdelal pregled indeksov kmetijske suše v Evropi (preglednica 9). Ugotovil je, da je na evropski ravni diverziteta indeksov kmetijske suše podobna kot v drugih regijah sveta: od enostavnih, ki vključujejo samo padavine, do indeksov, ki bazirajo na vsebnosti vode v tleh in številnih vhodnih spremenljivkah, kot so temperatura zraka, relativna zraka, sončno sevanje, hitrost vetra in talne karakteristike. Ključna spremenljivka je ocena evapotranspiracije. V veliki meri se uporablja Penman-Monteithova enačba za izračun potencialne evapotranspiracije, v široki uporabi je tudi modeliranje vodne bilance. Težave nastopijo le pri dostopnosti podatkov na lokalni ravni; različni vodnobilančni modeli zahtevajo tudi lokalno kalibracijo modelov.

Preglednica 9: Kazalci kmetijske suše v Evropi (Cloppet, 2011: 84–85).
Table 9: Agricultural drought indicators in Europe (Cloppet, 2011: 84–85).

Kazalec	Avtor	Vhodne spremenljivke	Prednosti	Slabosti
nacionalni padavinski indeks (National Rainfall Index – RI)	Gommes in Petراسي (1994)	letno povprečje padavin v regiji	konsistentni rezultati na nacionalni ravni, dobra korelacija s kmetijsko pridelavo	samo na nacionalni ravni
sušne razmere in čezmerna namočenost (DM- indeks)	Meshcherskaya in Blazhevich (1997)	padavine in temperatura zraka	enostavnost izračuna	specifična kalibracija za posamezno regijo
sušni indeks, specifičen za posamezno rastlino (CSDI)	Meyer in sod. (1993)	povprečna/normalna evapotranspiracija v vegetacijski sezoni	enostavnost izračuna	specifična za posamezno rastlino
Keetch-Byramov sušni indeks (KBDI)	USDAFS (1999)	padavine in temperatura zraka	osnova je izračun vlažnosti goriva	empirična, uporablja se za izračun indeksa požarne ogroženosti gozda
indeks vode v tleh (Soil Water Index – SWI) iz sheme modela ISBA (Interactions between the Soil Biosphere and Atmosphere)	Météo France	vhodni podatki: 8 meteoroloških spremenljivk, talni in vegetacijski parametri izhodni podatki iz modela, ki opisuje interakcije med biosfero in atmosfero	Météo France ga poganja v operativnem kontekstu (model SWAT iz operativnega prognoističnega modela)	dnevni indeks ni integriran v času
standardiziran indeks SWI	Météo France	izhaja iz indeksa SWI uporablja vsote/povprečja mesečne spremenljivke v n mesecih kvantilna projekcija v normalno porazdelitev	Météo France ga uporablja v eksperimentalnem kontekstu	izračun glede na referenčno 50-letno lokalno podnebje korespondenčne vrednosti indeksa/verjetnost neprekoračitve prostorska konsistenca različna obdobja: 1–24 mesecev
model SWAT model AMBAV	Nemška meteorološka služba (DWD)	vhodni podatki: 8 meteoroloških spremenljivk, talni in vegetacijski parametri izhodni podatki iz modela, ki opisuje interakcije med biosfero in atmosfero	DWD ga poganja v operativnem kontekstu za 13 rastlin	dnevni indeks vlage v tleh ni integriran v času

„se nadaljuje“

„nadaljevanje“

Kazalec	Avtor	Vhodne spremenljivke	Prednosti	Slabosti
indeks vlažnosti poljščin (Crop Moisture Index – CMI)	Palmer (1968)	padavine in temperatura zraka	neodvisen od prejšnjih anomalij CMI predstavlja oskrbo v krajšem obdobju med različnimi kmetijskopridelovalnimi regijami	samo tedenski izračun zaradi oblike monitoringa kratkotrajnih vlažnostnih razmer, ki vplivajo na razvoj poljščin CMI ni dobro orodje za analizo dolgotrajnejših suš
indeks prepoznavanja suše (Reconnaissance Drought Index – RDI)	Tsakiris (2004)	padavine potencialna evapotranspiracija	izračun možen za različna obdobja podoben SPI z dodano evapotranspiracijo	malo odzivov primeren za Mediteran
Palmerjev indeks jakosti suše (Palmer Drought Severity Index (PDSI) (glej še v preglednici 10)	Palmer (1965)	mesečne padavine mesečna povprečna temperatura zraka vsebnost vode v tleh	popularen različne aplikacije v ZDA	kompleksen manj primeren za gorate predele empiričen vrednosti arbitrarno kvantificirajo intenzivnost, začetek in konec suše dva sloja tal znotraj vodne bilance sta poenostavljena (sneg, snežna odeja in zmrznjena tla niso vključeni v indeks) PET je ocenjen s Thornthwaitovo enačbo
umerjeni Palmerjev indeks jakosti suše (Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index – SC-PDSI)		mesečne padavine mesečna povprečna temperatura zraka vsebnost vode v tleh	empirični parametri PDSI so izračunani za posamezno regijo	kompleksen malo odzivov
Palmerjev indeks anomalije vlažnosti (Palmer Moisture Anomaly – Z-index)		mesečne padavine mesečna povprečna temperatura zraka vsebnost vode v tleh	ne upošteva kratkotrajnih suš	empiričen kompleksen

2.6.5.1 Enostavni meteorološki kazalci za oceno kmetijske suše

Za izračun sušnih indeksov so najbolj splošno uporabljeni podatki o padavinah, saj so dostopni tudi za daljša obdobja. Mnenja znanstvenikov glede uporabe le meteoroloških/padavinskih indeksov za oceno jakosti in razsežnosti kmetijske suše so deljena, ker je problem kmetijske suše preveč kompleksen, da bi ga lahko ovrednotili samo z eno meteorološko spremenljivko, brez upoštevanja fizikalnih lastnosti tal in dejavnikov rastlin.

2.6.5.1.1 Standardiziran padavinski indeks

SPI je statistični kazalec, ki primerja skupne padavine na neki lokaciji v določenem obdobju mesecev (n) z dolgoletno porazdelitvijo padavin na izbrani lokaciji in v izbranem obdobju. SPI spada v skupino kazalcev, ki potrebujejo kot vhodni podatek le padavine (Factsheets of EDO ..., 2013). Sepulcre-Canto in sod. (2012) navajajo, da odziv vegetacije na pomanjkanje padavin poteka z manjšim zamikom. Tudi vpliv primanjkljaja padavin na vsebnost vode v tleh in s tem posredno na razvoj kmetijskih rastlin zaznavamo v obdobjih 2–4 mesecev (vrednosti SPI2, SPI3 in SPI4). Seveda je logična predpostavka, da samo primanjkljaj količine padavin v večmesečnem obdobju (brez upoštevanja razvojnih faz rastlin, vodnozadrževalnih lastnosti tal in drugih dejavnikov) ne more pojasniti morebitnega nastanka škode zaradi sušnega stresa pri kmetijskih rastlinah.

Kot smo navedli že v poglavju 2.5, je v zadnjih letih v številnih državah za ugotavljanja suše uporabljen enostaven standardiziran padavinski indeks, ki pomeni le odklon padavinskega deficita v primerjavi s povprečnimi količinami. SPI se uporablja v Združenih državah Amerike (Heim, 2002), v Evropi (Lloyd-Hughes in Saunders, 2002) in tudi v drugih regijah sveta.

Podrobnejša metodologija za izračun kazalca SPI je dostopna v originalni študiji McKeeja in sod. (1993; 1995). Navodila za izračun SPI in program za izračun je objavljen tudi v publikaciji WMO (Standardized precipitation ..., 2012). Pri pretvorbi mesečnega časovnega niza padavin se uporabljajo različne statistične porazdelitve. Med najbolj uporabljanimi, ki jo uporablja tudi EDO, je gama porazdelitev (Factsheets of EDO..., 2013). Metode za oceno parametrov porazdelitve so dostopne v pregledu Lloyd-Hughesa in Saundersa (2002), vpliv dolžine podatkovnega niza padavin na SPI pa so analizirali Wu in sod. (2005) ter Guttman (1999). Svetovna meteorološka organizacija priporoča, da se za tovrstne potrebe statistike padavin uporablja vsaj 30-letni niz podatkov. Bordi in Sutera (2012) opozarjata, da dolgi nizi podatkov zahtevajo tudi visoko kakovost, kar pogosto ni doseženo in obstaja velika spremenljivost na postaji in tudi v regiji. To močno vpliva na oceno parametrov porazdelitve in s tem tudi na vrednosti SPI.

V preglednici 10 je navedena razvrstitev suše z vrednostjo SPI in prilegajoče verjetnosti pojava stopenj suše, ki izhajajo iz funkcije normalne verjetnostne porazdelitve. Za posamezno lokacijo in posamezen mesec je verjetnost pojava zmerne suše 9,2 %, ekstremne suše imajo verjetnost 2,3 % (Lloyd-Hughes in Saunders, 2002).

Izračun SPI je na mesečni osnovi za premično okno n mesecev, kjer n pomeni obdobje akumulacije padavin, ki je tipično 1, 3, 6, 9, 12, 24 ali 48 mesecev. SPI se poimenuje glede na izbrano obdobje (SPI1, SPI3, SPI6 itn.) Za statistično primerjavo mokrih in sušnih podnebij bazira SPI na transformaciji padavin v standardno normalno porazdelitev, ki ima povprečje 0 in varianco 1. V splošnem velja, da so vrednosti indeksa med -1 in 1 povezane z normalnimi razmerami, ki so statistično pričakovane (seveda brez upoštevanja podnebnih trendov po kalibracijskem obdobju) približno v 70% časa. Preostalih 30% je razdeljeno med izrazito sušna (vrednosti SPI manj kot -1) in izrazito mokra (vrednosti SPI več kot 1) obdobja.

Haylock in sod. (2008) so vzpostavili podatkovnik za obdobje 1950–2006 za Evropo. Ugotovili so veliko negotovost dnevnega povprečevanja in interpolacije padavin v regiji ter veliko odvisnost od sezone in števila opazovalnih postaj. Trenutno še vedno velja standard WMO za referenčno obdobje 1961–1990, marsikatera država članica EU pa uporablja tudi novejša tridesetletna obdobja, kot so 1971–2000 in 1981–2010, da bi primerjali dejanske spremembe padavin s padavinskim režimom glede na podnebne spremembe in za primerjavo sprememb padavinskega režima v novejšem obdobju. Zaradi primerljivosti podatkov v Evropi in v različnih obdobjih je izjemno priporočljivo uporabljati skupno referenčno obdobje za izračun SPI.

Preglednica 10: Razvrstitev suše z vrednostjo standardiziranega padavinskega indeksa s spremljajočo verjetnostjo pojava (McKee in sod., 1993; Factsheets of EDO ..., 2013).
Table 10: Drought classification by standardized precipitation index and corresponding event probabilities (McKee et al., 1993; Factsheets of EDO ... 2013).

Vrednosti SPI		Verjetnost pojava
2,0 in več	ekstremno mokro	2,3 %
od 1,5 do 1,99	zelo mokro	4,4 %
od 1,0 do 1,49	zmerno mokro	9,2 %
od 0 do 0,99	mokro	34,1 %
od -0,99 do 0	sušno	34,1 %
od -1,49 do -1,0	zmerno sušno	9,2 %
od -1,99 do -1,5	zelo sušno	4,4 %
-2,0 in manj	ekstremno sušno	2,3 %

EDO (Factsheets of EDO ..., 2013) navaja tudi ključno razlago za uporabo SPI. Pomanjkanje padavin je ključni povzročitelj suše, ki se kaže v postopnem pomanjkanju padavin za različne potrebe človekove dejavnosti in ekosistemov. Negativne vrednosti od standardiziranega povprečja označujejo sušna območja, pozitivne vrednosti pa vlažnejša od povprečnih. Velikost odklona od povprečja je mera jakosti sušnega oziroma mokrega dogodka. Ker je izračun SPI možen za različne akumulacije padavin, različni SPI omogočajo oceno različnih potencialnih vplivov meteorološke suše:

- SPI za kratka akumulacijska obdobja (od SPI1 do SPI3) so indikatorji za ugotavljanje takojšnjega vpliva, kot na primer zmanjšana količina vode v tleh, zmanjšana snežna odeja, manjši pretoki;
- SPI za srednja akumulacijska obdobja (od SPI3 do SPI12) so indikatorji za zmanjšane pretoke vodotokov in vodnih rezervoarjev;
- SPI za daljša akumulacijska obdobja (od SPI12 do SPI48) so indikatorji za zmanjšane vodne rezervoarje in obnovo zaloge podzemne vode.

Natančno razmerje med akumulacijskim obdobjem in vplivi je v veliki meri odvisno od naravnega okolja (geologije, tal) in človekove interference (na primer namakanje). Za celotno sliko suše je treba primerjati SPI za različna akumulacijska obdobja. Le primerjava z drugimi indikatorji omogoča oceno aktualnih vplivov na vegetacijski pokrov in na različne ekonomske sektorje.

Poleg portala EDO v Evropi narašča uporaba kazalca SPI in njegovih različic tudi v sklopu lokalnih monitoringov suše. Na osnovi modifikacije kazalca SPI so za območje južne Španije določili normaliziran indeks padavin (Garrido, 1999).

Szalai in Szinell (2000) sta ugotovila, da je SPI v različnih obdobjih sposoben identificirati vse vrste suš. Za kmetijsko sušo (ocenjeno z vsebnostjo vode v tleh) navajata, da jo najbolje opiše SPI v 2–3-mesečnem obdobju. Uporabila sta mesečno vsebnost vode v tleh od aprila do septembra v globini 50 cm. Ugotovila sta tudi, da je korelacija s PDSI slaba. Pri tem sta ugotovila, da nemeteorološki dejavniki igrajo pomembno vlogo pri vsebnosti vode v tleh. Domonkos (2003) je SPI uporabil pri analizi trendov padavin na Madžarskem. Dubrovsky in sod. (2009) so za primerjavo med padavinskimi postajami na Češkem in za potrebe analiz podnebnih sprememb uporabili relativni kazalec SPI (rSPI).

Na Poljskem je oceno pogostnosti pojava suše s SPI v osrednjem delu Poljske uporabil Łabędzki (2007). Na osnovi analize leta 2000 ugotavlja, da 1–3-mesečni SPI bolje odraža kmetijsko sušo kot 6-mesečni SPI. Ugotavlja tudi, da je treba za natančnejšo kmetijsko oceno uporabiti dodatne kazalce.

Variabilnost pojava suše na Siciliji s pomočjo SPI so analizirali Bonaccorso in sod. (2003). Ugotovili so medletno variabilnost in po sedemdesetih letih tendenco v smeri sušnejših obdobj.

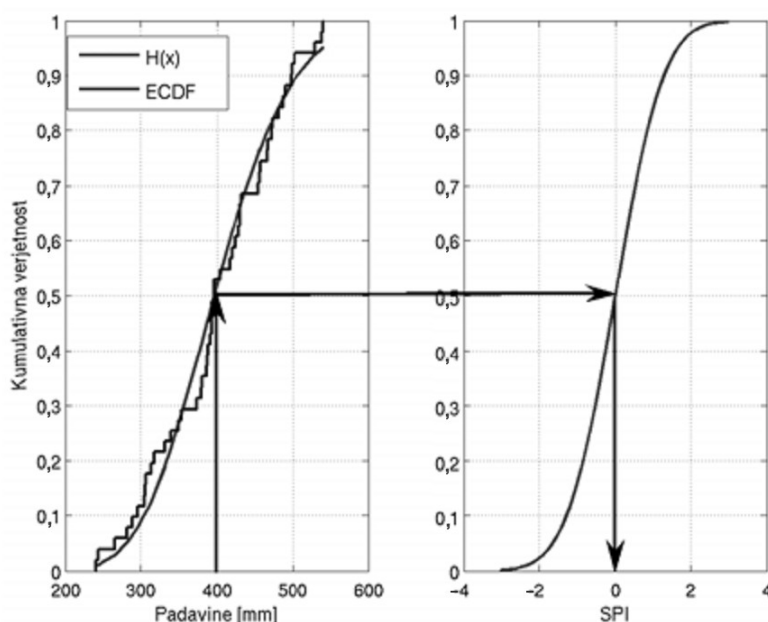
V Grčiji je uporaba SPI postala praksa sušnega monitoringa (Tsakiris in Vangelis, 2004). V Grčiji (Tsakiris in sod., 2007) in na Cipru poleg SPI vključujejo tudi RDI. Nobena od analiz ne kaže eksplisitne povezave s kmetijsko sušo. V večjem delu Grčije je SPI orodje, ki ga uporabljajo za prvo oceno pojava suše in časovno variabilnost pojava suše.

Pogosto pa se SPI uporablja tudi v povezavi s simulacijo pridelka. Za regijo Märkisch-Oderland v Nemčiji so za obdobje 1952–2004 analizirali razmere in pridelek pšenice glede na spremembe medletnega režima vode v tleh (Nain in sod., 2005). Z modelom CERES-WHEAT so simulirane pridelke z uporabo gama porazdelitve spremenili v t. i. kazalec na osnovi modelske simulacije pridelka (The Crop Simulation based Drought Index – CSDI) in z njim za pšenico detektirali 3 suše (1989, 1992 and 2000) od 4 v 13 letih, s SPI pa le eno. Raziskava potrjuje ugotovitve, da je za karakterizacijo kmetijske suše treba uporabiti tedensko ali še krajše obdobje zaradi tega, ker pomanjkanje vode tudi v krajšem obdobju lahko v občutljivih fazah razvoja naredi več škode kot pomanjkanje vode v manj občutljivih fazah.

SPI se vse bolj uporablja tudi v jugovzhodni Evropi: v Srbiji (Šovljanski in sod., 2012), na Hrvaškem (Cindrić in sod., 2012) in v Romuniji (Mateescu in sod., 2012). V zadnjem času je bilo narejenih precej analiz časovnih nizov SPI za različne namene tudi za Slovenijo. Za potrebe operativnega dela sta transformacijo na osnovi originalne metode izvedla Ceglar in Kajfež Bogataj (2008) (slika 30). Priročnik za uporabo SPI je dostopen na spletni strani DMCSEE (Drought bulletin ..., 2013). Še več referenc o uporabi SPI v obdobju 1993–2013 je zbranih v Cheval (2013).

V Sloveniji je v uporabi SPI kot eden od kazalcev suše. V operativni rabi je izračun indeksa za 1- in 3-mesečni korak kot prva ocena gradacije suše v kmetijstvu; izvaja se na Agenciji RS za okolje (slika 31).

Več o uporabi SPI v DMCSEE pa je dostopno tudi v Alexandris in sod. (2012). V Sloveniji Ceglar in Kajfež Bogatajeva (2008) v analizi SPI prikazujeta empirično kumulativno verjetnostno porazdelitev za omenjeno vsoto padavin v poletnih mesecih v Ljubljani za obdobje 1961–2000. Gladka krivulja na levem grafu pomeni kumulativno verjetnostno porazdelitev $H(x)$, krivulja na desnem grafu pa kumulativno verjetnostno porazdelitev standardizirane normalne naključne spremenljivke. Vrednost SPI odčitamo na x osi na desnem grafu, kot kaže vrisana puščica (če na primer v poletnih mesecih skupno izmerimo 400 mm padavin, tej vrednosti po transformaciji pripada vrednost SPI okrog 0). Računski postopek pretvorbe kumulativne verjetnostne porazdelitve $H(x)$ v standardizirano normalno spremenljivko je podrobneje opisan v članku (Guttman, 1999).



Slika 30: Pretvorba vsote poletnih padavin (v našem primeru 400 mm) v vrednost standardiziranega padavinskega indeksa. Gladka krivulja na levem grafu $H(x)$ pomeni izračunano kumulativno porazdelitev padavin, lomljena črta (ECDF) pa nam predstavlja empirično kumulativno porazdelitev (Ceglar in Kajfež Bogataj, 2008).

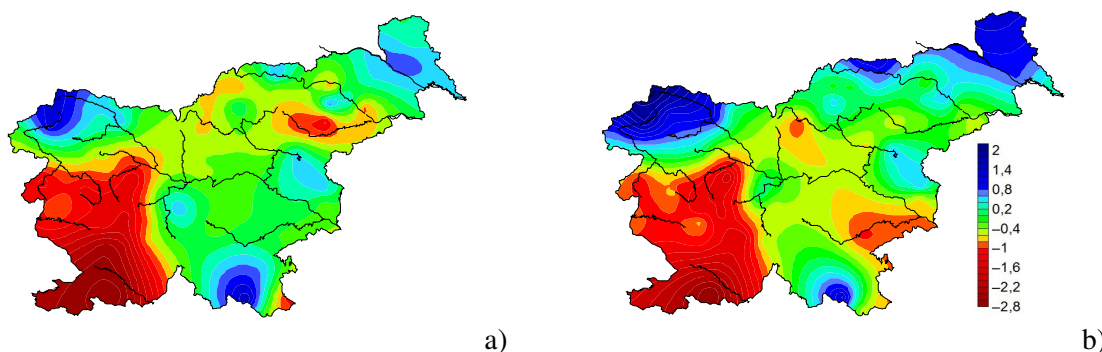
Figure 30: Transformation of summer precipitation cumulative (400 mm in our case) into standardized precipitation index. Smooth curve $H(x)$ on left graph represents derived cumulative precipitation distribution, graded line ECDF represents empirical cumulative distribution (Ceglar and Kajfež Bogataj, 2008).

Šebenikova (2012) je za izbrane meteorološke postaje z izbrano teoretično porazdelitvijo izračunala SPI v šestih obdobjih (1-, 2-, 3-, 6-, 9- in 12-mesečno). Za presečno obdobje 1951–2004 je ponovno opravila izračun indeksov za vse izbrane postaje in obdobja. Ugotovila je, da v večini primerov meteorološke postaje Ljubljana Bežigrad, Novo mesto in Trst kažejo podoben vzorec pojavljanja sušnih in mokrih obdobj, kar bi lahko rekli tudi za meteorološki postaji Celje in Maribor Tabor. Bokalova (2010) pa je ugotovila, da je SPI zaradi pomanjkanja informacij o tleh in rastlinah indeks za določanje kmetijske suše pomanjkljiv, je pa uporaben pri določanju sušnega signala.

Sušnik in sod. (2012) so ovrednotili SPI in neto namakalne potrebe (NIR) z modelom WinISAREG (Paredes in Pereira, 2010a). Ta vodnobilančni model je preizkušen v okviru delovnih aktivnosti Centra za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi – DMCSEE. V

študijo so bile vključene lokacije po Sloveniji z različnimi podnebnimi značilnostmi, za primer koruze, v obdobju 1961–2010. Analizirana so bila vegetacijska obdobja (april–september), z 1-mesečnim in 6-mesečnim SPI. V študiji so bila uporabljena tla s slabo zadrževalno kapaciteto za vodo. Sezonski NIR (obdobje rasti rastline) v splošnem ustreza 6-mesečnemu SPI. Popova (2012) ugotavlja močno korelacijo med sezonsko kmetijsko sušo, ki jo opisuje SPI2 za julij in avgust, in zmanjšanjem pridelka nenamakane koruze v regiji Plovdiv v Bolgariji ($r^2 > 91\%$).

V zadnjem času za potrebe indeksnega zavarovanja posevkov pred nevarnostjo pomanjkanja padavin, meteorološko sušo, SPI uporablja tudi zavarovalnica Triglav. Indeksno zavarovanje je zavarovanje, ki temelji na meteorološkem indeksu, in ne na dejanskih škodah na pridelkih. Zavarovalnica Triglav (Triglav, 2013) utemljuje, da o meteorološki suši govorimo takrat, ko je vrednost SPI negativna. Do izplačila zavarovalnine pride, ko je vrednost SPI enaka ali nižja od vrednosti, dogovorjene v zavarovalni pogodbi. Izračun SPI se izvaja na ARSO in objavlja na spletni strani.



Komentar: Negativne vrednosti SPI1 še ne pomenijo sušnosti, pač pa le negativno oziroma pozitivno odstopanje od dolgoletnega povprečja za julij, vseeno pa v primeru velikih odstopanj nakazujejo izredno stanje. Julija 2012 je bilo nadpovprečno veliko padavin le v hribovitih predelih severozahodne Slovenije in v delu severne in severovzhodne Slovenije, zato je tam SPI1 na mokri strani lestvice odstopanj. V jugozahodnem delu Slovenije so bile padavine pod povprečjem, SPI1 pa kaže na ekstremno sušno oziroma zelo sušno stanje. Drugod je bilo stanje zmerno sušno oziroma normalno. Podobne signale je bilo zaznati tudi v tromesečnem obdobju maj–julij na območju južne in jugozahodne Slovenije ter v delu Štajerske, kjer je bilo bistveno manj padavin, kot je značilno za to obdobje, sicer pa je bilo v večjem delu Slovenije stanje normalno oziroma ponekod celo bolj mokro kot povprečno. Legenda vrednosti SPI je v preglednici 10.

Slika 31: Standardiziran padavinski indeks za 3-mesečno obdobje (SPI3) maj–julij 2012 (a) in enomesečni SPI1 za julij 2012 v Sloveniji (b), objavljen v Dekadnem biltenu vodnobilančnega stanja kmetijskih tal v Sloveniji (Bilteni vodnobilančnega ..., 2013). Jakost suše po SPI je opisana v preglednici 10.

Figure 31: Standardized precipitation index for 3-month period (SPI3) from May to July 2012 (a) and 1-month SPI1 for July 2012 (b) in Slovenia, published in Ten-day bulletin of agricultural soil water balance status in Slovenia (Bilteni vodnobilančnega ..., 2013). Drought severity according to SPI is described in table 10.

Zavaruje se lahko posevke (poljščine) in trajno travinje (preglednica 11). Čas sklepanja zavarovanja je odvisen od izbrane kulture. Zavarovanje posevkov (poljščin) za 3-mesečno obdobje mora biti sklenjeno do 31. marca. Zavarovanje posevkov (poljščin) oziroma trajnega travinja za 4-mesečno obdobje pa mora biti sklenjeno do 15. maja.

Zavarovanje posevkov (poljščin) je mogoče skleniti le za površine, ki so zavarovane pred nevarnostjo toče, požara ali udara strele. Zavarovanje trajnega travinja je mogoče skleniti v primeru zavarovanja gospodarskih živali ali zavarovanja drugih poljščin pred nevarnostjo toče, požara ali udara strele.

Preglednica 11: Izbor zavarovanih poljščin in obdobje zavarovanja (Triglav, 2013).

Table 11: List of insured crops and period of insurance (Triglav, 2013).

Standardiziran padavinski indeks za 3-mesečno obdobje – SPI3 (16. marec–15. maj) (90 dni)	Standardiziran padavinski indeks za 4-mesečno obdobje – SPI4 (2. maj–1. september) (120 dni)
pšenica, ječmen oves, rž/tritikala, proso, oljna ogrščica, oljna repica	koruza merkantilno zrno, koruza za silažo, semenska koruza, ajda, soja, sirek za krmo, buče, trajno travinje, sončnice za krmo in sončnice za zrno

2.6.5.1.2 Palmerjev indeks jakosti suše

Palmerjev indeks jakosti suše (PDSI) (Palmer, 1965) je meteorološki sušni kazalec, ki temelji na podatkih o padavinah in temperaturi zraka ter spremenljivki, ki označuje lokalno dostopno vodo v tleh (AWC), oziroma na enostavni vodni bilanci (Wells in sod., 2004). Kazalec označuje dostopnost vode v tleh in se uporablja za študij razsežnosti in jakosti suše oziroma moče. Sušno obdobje je Palmer definiral kot časovni interval v zaporedju mesecev ali let, v katerem dejanska oskrba z vodo na neki lokaciji vztraja pod klimatološko primerno oskrbo (Alley, 1984; Wells in sod., 2004). PDSI je bil eden prvih postopkov za oceno jakosti suše v različnih podnebnih območjih. Osnovni princip enačb je, da kratka obdobja padavin še ne prekinajo dolgotrajne suše in nimajo velikega vpliva na vrednost indeksa. Izračun indeksa temelji na izračunu mesečne ali tedenske vodne bilance glede na pretekle podatke o padavinah in temperaturi zraka. Glede na razliko med količino padavin, potrebno za vzdrževanje normalne vlažnosti tal, in dejansko količino padavin model izračuna odstopanje vlažnosti. Z upoštevanjem podnebnih značilnosti (utežni faktor) na izbranem območju model odstopanje vlažnosti ustrezno priredi v relativno odstopanje glede na povprečne vrednosti v določenem obdobju v letu, torej v tednu oziroma mesecu. Po uteženi vsoti odstopanj vlažnosti dobimo vrednost indeksa PDSI. Postopek je zasnovan tako, da vrednost indeksa določa stanje, stopnjo suše oziroma moče, z uvrstitvijo v enajst razredov. PDSI vrednosti so v razponu med $-4,0$ ali manj (ekstremno sušno) in $4,0$ ali več (ekstremno mokro) (Alley, 1984) (preglednica 12). Podrobnejši opis PDSI je dostopen v Alley (1984), Karl (1986), Trošt (2011a).

PDSI je v Združenih državah Amerike postal standard za določanje meteorološke suše (primer monitoringa suše

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/regional_monitoring/palmer.gif) ali kmetijske suše (Wilhite in Svoboda, 2000; Dupigny-Giroux, 1999). V zadnjem desetletju pa se uporablja tudi v drugih predelih sveta (Briffa in sod., 1994; Dai in sod., 2004; Lloyd-Hughes in Saunders, 2002). Kazalec je uporaben tudi v Evropi (Lloyd-Hughes in Saunders, 2002; Cabrinha in Santo, 2000; Szalai in Szinell, 2000). Na začetku je

bilo veliko kritik zaradi nekonsistentnega obnašanja in slabe primerljivosti kazalca v različnih podnebnih regijah (Karl, 1986; Alley, 1984; Guttman in sod., 1992), kot so:

- arbitrarno izbrana lestvica PDSI na osnovi podatkov dveh študijskih območij Iowe in zahodnega Kansasa;
- odvisnost kazalca od ocene sposobnosti zadrževanja vode v izbranih tleh, zaradi česar ni primeren za splošno uporabo pri opisu podnebja;
- upoštevanje vodne bilance le dveh plasti tal, kar je za opis nekaterih območij preveč poenostavljeno;
- neupoštevanje rahlih padavin, snežne odeje in zmrznjenih tal, zato so v zimskem času vrednosti časovno zamaknjene oziroma nepravilne;
- neupoštevanje zaostanka med padavinami in odtekanjem vode. Odtekanje vode se začne šele, ko je vodna kapaciteta obeh plasti polna, zato je odtekanje lahko podcenjeno;
- ocena potencialne evapotranspiracije po Thornthwaitovi metodi. Uporaba slednje metode je sicer splošno razširjena, vendar daje grobo oceno.

Še bolj izrazita je bila šibkost PDSI na kontinentalnem območju (Briffa in sod., 1994; Dai in sod., 2004). Osnovna prednost PDSI pa je njegova standardizirana narava (Lloyd-Hughes in Saunders, 2002), ki olajša kvantitativno primerjavo nastopa suše na različnih krajih in v različnem času. Pri izračunu so uporabili kalibrirano verzijo PDSI, ki izračuna klimatske uteži za vsako lokacijo posebej. V prvotni verziji (Palmer, 1965) so bili ti koeficienti zaradi računske zahtevnosti in nerazvite računalniške tehnologije določeni za omejeno območje v ZDA, zato so bili rezultati izračuna za druge predele sveta vprašljivi (Alley, 1984).

Preglednica 12: Razvrstitev stopnje suše glede na vrednost Palmerjevega indeksa jakosti suše (Alley, 1984).
Table 12: Drought classification by Palmer drought severity index (Alley, 1984).

Vrednosti PDSI	Klasifikacija
4,0 ali več	ekstremno mokro
med 3,0 in 3,99	zelo mokro
med 2,0 in 2,99	mokro
med 1,0 in 1,99	zmerno mokro
med 0,5 in 0,99	kratko mokro obdobje
med 0,49 in -0,49	normalno
med -0,5 in -0,99	kratko sušno obdobje
med -1,0 in -1,99	zmerno sušno
med -2,0 in -2,99	sušno
med -3,0 in -3,99	zelo sušno
-4,0 ali manj	ekstremno sušno

Da bi odpravili težave, so razvili novo različico PDSI, umerjeni Palmerjev indeks jakosti suše (Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index – SC-PDSI) (Wells in sod., 2004), ki samodejno prilagodi obnašanje kazalca za katero koli lokacijo, tako da v izračunu kazalca nadomesti fiksne Palmerjeve empirične konstante z dinamično izračunanimi vrednostmi. Nove vrednosti konstant temeljijo na klimatoloških podatkih za izbrano lokacijo. SC-PDSI pomeni standardizirane vlažnostne razmere glede na lokalne podnebne značilnosti ter

omogoča časovno in krajevno primerjavo (Lloyd-Hughes in Saunders, 2002). Podrobnejši opis spremenjenega algoritma za izračun SC-PDSI je dostopen v Wells in sod. (2004) in van der Schrier in sod. (2006a).

SC-PDSI je bil uporabljen v številnih novejših študijah. Van der Schrier in sod. (2007) so priredili SC-PDSI za izračun vodne bilance v alpskih območjih z enostavnim modelom za upoštevanje akumulacije in taljenja snežne odeje. Program ponudi še izračun naslednjih kazalcev: WPLM (*weighted PDSI* oziroma uteženi PDSI), PHDI (Palmer hydrological drought index oziroma Palmerjev indeks hidrološke suše) in ZIND (Palmer Z-index oziroma Moisture Anomaly Index oziroma Palmerjev indeks odstopanja vlažnosti) ter CMI (Crop Moisture Index oziroma indeks omočenosti poljščine), ki jih v nadaljnji obdelavi nismo uporabili. Z-indeks ne upošteva spremembe vlažnosti preteklega meseca, zato je njegova variabilnost iz meseca v mesec velika (Quiring in Papakryakou, 2003). Dubrovsky in sod. (2009) zaključujejo, da je PDSI bolj primeren kazalec v primerjavi s SPI tudi pri ocenah potencialnega vpliva podnebnih sprememb na pojav suše.

Tudi v Sloveniji so bile že izvedene analize z uporabo PDSI in SC-PDSI (Ceglar in Kajfež Bogataj, 2008; Trošt, 2011b). Ugotovljeno je bilo, da pri PDSI v splošnem ni zaznati tako velike variabilnosti kot pri SPI (v krajših obdobjih). Na sušnih dogodkih, ki so bili obravnavani v študijah, lahko vidimo, da ima PDSI večji »spomin«, torej bolje opiše dogodke v daljšem in krajšem obdobju. PDSI ima »vgrajeno« obdobje devet mesecev, zato lahko razliko med SPI v devetmesečnem obdobju ter PDSI razložimo z upoštevanjem tal in vodne bilance v izračunu PDSI.

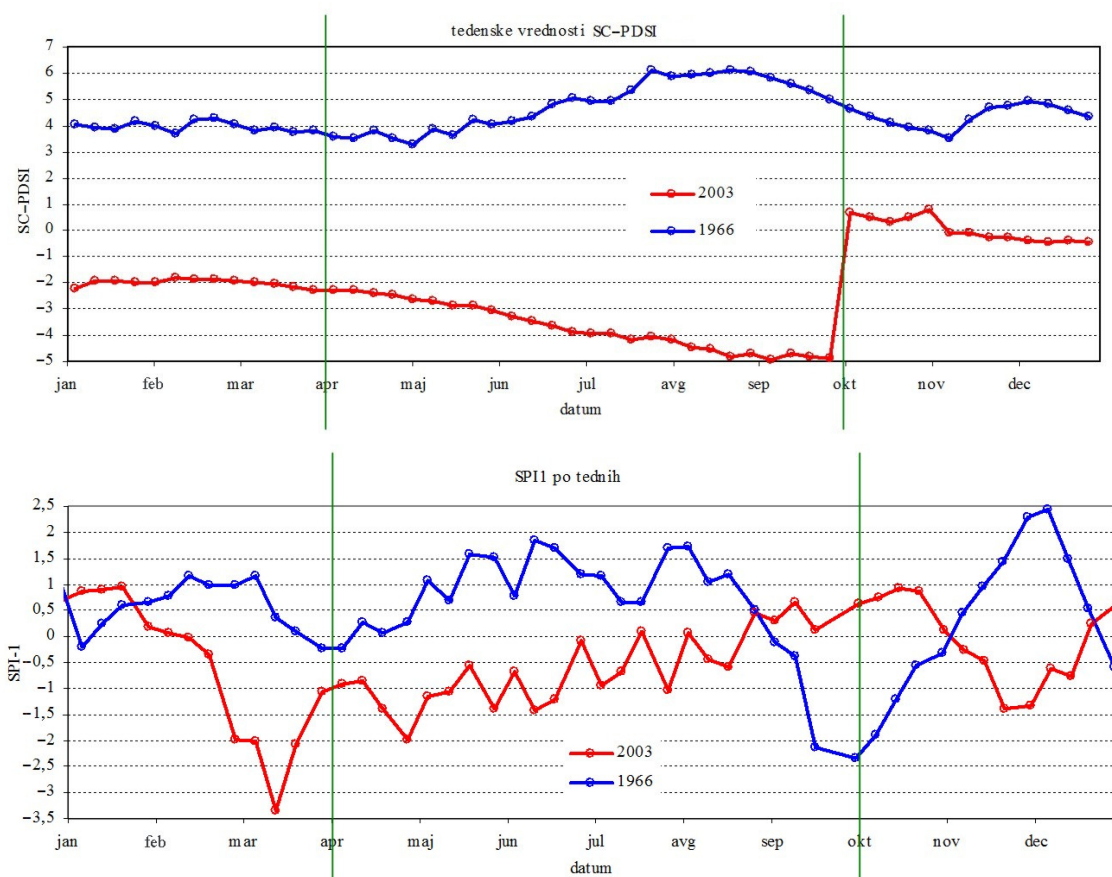
To je tudi razlog za manjšo variabilnost PDSI, saj lahko zaloga vode v tleh odloži začetek suše, ravno tako pa tudi ublaži padavinski primankljaj, če ta ni prevelik in ne traja predolgo. Po daljšem padavinskem primanjkljaju PDSI po navadi nekoliko pozneje konča sušno obdobje, saj izsušena tla potrebujejo nekaj časa za vzpostavitev vodnih zalog v talnem vodnem rezervoarju. Med sušnim obdobjem manjši padavinski skoki, ki jih zaznamo pri SPI v krajših obdobjih, ne pomenijo nujno bistvenega izboljšanja sušne situacije v daljšem obdobju. Tipičen primer te vrste vidimo ob koncu osemdesetih ter začetku devetdesetih let. V začetku leta 1989 je zelo ekstremen padavinski primankljaj povzročil začetek suše v daljšem obdobju. Padavinski primankljaj se je v naslednjih nekaj letih večal (SPI9 ter SPI12 sta bila večino časa negativna), zato je stalno upadal tudi PDSI. Tudi po ekstremnih padavinah ob koncu leta 1992 se je PDSI le malo povečal; znatno povečanje je videti šele v aprilu 1993 (Ceglar in Kajfež Bogataj, 2008).

Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Trošt (2011b). Pri analizi podatkov za postajo Starše v sušnem letu 2003 in mokrem letu 1996 je ugotovil, da SC-PDSI prikaže sušo v letu 2003 proti septembru kot vse resnejšo, SPI pa predvideva najbolj alarmantno stanje v začetku oziroma sredini vegetacijskega obdobja (slika 32).

Primerjava SPI v različnih obdobjih ter PDSI za Ljubljano (Ceglar in Kajfež Bogataj, 2008) je pokazala, da se slednji najbolje ujema s SPI v 9- ter 12-mesečnem obdobju. PDSI ima v primerjavi s SPI krajši odziv na padavinska odstopanja in se v splošnem obnaša bolj stabilno. Počasnejši odziv bi lahko povzročil težave pri določanju začetka ter konca sušnega dogodka. SPI je z možnostjo izračuna v več obdobjih boljše orodje za

karakterizacijo sušnega dogodka. Prilagodljiva obdobja pri SPI bi nam lahko pomagala nadzirati sušo tudi v kmetijstvu in hidrološkem sistemu (kmetijske rastline se odzovejo že na krajše pomanjkanje padavin, hidrološki sistem pa na daljše). Ugotavljata, da je v splošnem odziv SPI na padavinske razmere v daljšem obdobju počasnejši.

Iz mesečnih meteoroloških podatkov o padavinah in temperaturi zraka na 63 postajah na območju jugovzhodne Evrope sta bila v sklopu DMCSEE izračunana SPI in PDSI za obdobje 1961–2009. Za izračun povprečja je bilo uporabljeno referenčno obdobje tridesetih let 1971–2000. Količina rastlini dostopne vode na vseh postajah je bila enaka vrednosti 100 mm (Trošt, 2011b). Analiza je pokazala, da sušna območja v izjemno sušnem letu 2003 po SPI in PDSI skoraj sovpadajo. Primerjava vegetacijskega obdobja leta 2001 kaže nekoliko slabše ujemanje. Prav gotovo je razlog tudi v tem, da je bila v tem letu suša milejša in bolj lokalna kot leta 2003, zaradi česar se veliko lažje pojavijo večja razlikovanja v klasifikaciji. V splošnem PDSI kategorizira interesno območje jugovzhodne Evrope leta 2001 za bistveno bolj sušno kot SPI, kar potrjuje večjo natančnost ocene dejanskega stanja. V nasprotju s SPI pravilno uvrsti območje Makedonije kot sušno, saj je leto 2001 prineslo uničujočo sušo. S pomočjo PDSI so boljše kot s SPI na izbranih lokacijah opisane tudi suše v letih 2000, 2001 in 2003 v Sloveniji (slika 33).

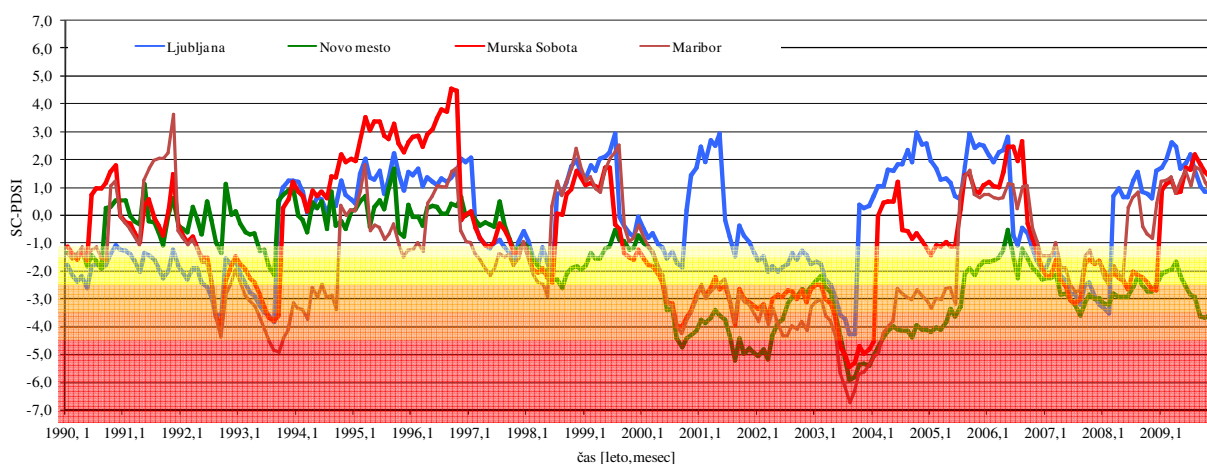


Slika 32: Tedenski umerjeni Palmerjev indeks jakosti suše in 1-mesečni standardiziran padavinski indeks za meteorološko postajo Starše (efektivna poljska kapaciteta tal je 156 mm/m) (Trošt, 2011b).

Figure 32: Weekly self-calibrating Palmer drought severity index and 1-month standardized precipitation index for meteorological station Starše (soil water holding capacity is 156 mm/m) (Trošt, 2011b).

V zadnjem času so se pojavile številne analize o uporabnosti enega ali drugega kazalca. Dai (2011) navaja, da je PDSI fizikalno osnovan kazalec, ki upošteva vpliv globalnega ogrevanja prek Palmerjeve enačbe vodne bilance. Pod vprašanje pa postavlja statistične karakteristike sušnih kazalcev, ki bazirajo na upoštevanju le ene meteorološke spremenljivke. Izpostavlja tudi standardiziran padavinsko evapotranspiracijski indeks – SPEI (več v poglavju 2.6.5.1.3), ker temelji na potencialni in ne dejanski evapotranspiraciji. Razlaga je v tem, da dejanska evapotranspiracija determinira vodno bilanco in sušne razmere.

Na kritiko odgovarjajo Vicente-Serrano in sod. (2011), češ da številne raziskave kažejo močno korelacijo med PDSI in SPI ter SPEI v različnih obdobjih (Guttman, 1999; Ceglar in Kajfež Bogataj, 2008; Vicente-Serrano in sod., 2010), kar pomeni, da se PDSI obnaša bolj kot klimatski sušni kazalec kot pa mera za vodno bilanco tal.



Slika 33: Mesečni umerjeni Palmerjev indeks jakosti suše v obdobju 1990–2009 za štiri meteorološke postaje v Sloveniji (efektivna poljska kapaciteta tal je 100 mm/m) (Trošt, 2011b).

Figure 33: Monthly self-calibrating Palmer drought severity index in the period from year 1990 to 2009 for four meteorological stations in Slovenia (soil water holding capacity is 100 mm/m) (Trošt, 2011b).

V sklopu DMCSEE je bil na območju jugovzhodne Evrope testiran tudi modificiran Palfajjev indeks suše (PaDI) (Herceg, 2012). Osnovni Palfajjev indeks je bil razvit v začetku osemdesetih na Madžarskem za kmetijstvo in upravljavce voda. Kazalec temelji na povprečni mesečni temperaturi zraka in mesečni vsoti padavin. Je relativni kazalec, povezan z enim vegetacijskim obdobjem. V novejšem času so izvedli modifikacijo osnovne enačbe, tako da so uvedli tri utežne faktorje za mesečno temperaturo zraka in padavine. Opis kazalca je dostopen v Herceg (2012) in Blanka in sod. (2013).

Herceg (2012) ugotavlja, da PaDI dobro opiše sušo za določeno leto z majhnim naborom vhodnih podatkov, je proporcionalen z zmanjšanjem pridelka, večjo težo daje poletnim padavinam. Ugotavlja tudi, da obstaja dobra korelacija med SC-PDSI in PaDI ($r^2 > 0,7$) ter da PaDI in SPI3 (za pomlad in poletje) skupaj izboljšata oceno jakosti suše. Študija predlaga indeks PaDI tudi za srednjeročne napovedi in za analizo dolgih časovnih serij pri oceni vpliva podnebnih sprememb na pojav suše. Blanka in sod. (2013) so uporabili kazalec pri analizi tveganja suše v prihodnosti.

2.6.5.1.3 Standardiziran padavinsko-evapotranspiracijski indeks

Za analize variabilnosti suše raznolikih obdobjih je bil razvit tudi standardiziran padavinsko-evapotranspiracijski indeks (SPEI) (Vicente-Serrano in sod., 2010). Osnova kazalca je koncept poraba-oskrba, ki upošteva padavine in potencialno evapotranspiracijo.

SPEI je uporaben za sledenje in analizo suše za različne znanstvene discipline. Je kazalec jakosti in trajanja suše. Z njim lahko opredelimo začetek in konec sušnega obdobja. Omogoča tudi primerjavo sušnih dogodkov v času in prostoru, saj je podobno kot SPI uporaben za regije z različnim podnebjem. Keyantash in Dracup (2002) navajata, da mora biti za sušne kazalce značilna statistična robustnost in enostavnost izračuna. To sta značilnosti SPEI, ki ima tudi to prednost, da vključuje vpliv evapotranspiracije na jakost suše (Vicente-Serrano in sod., 2010). Kazalec omogoča tudi zaznavanje različnih tipov suše in njihovih vplivov v preučevanju posledic podnebnih sprememb. Izračun SPEI temelji na originalnem postopku za izračun SPI. SPEI uporablja mesečne (ali tedenske) razlike med padavinami (RR) in evapotranspiracijo (ETP). To pomeni enostavno vodno bilanco. SPEI uporabljajo za različna obdobja.

Težava, ki se pojavi pri izračunu SPEI, je izračun ETP. ETP je spremenljivka, ki potrebuje številne meteorološke spremenljivke, kot so temperatura zraka, relativna zračna vlaga, sevanje, pritisk vodne pare ter tokove zaznavne in latentne toplote (Allen in sod., 1998). Predlagane so bile številne metode za posredno oceno ETP iz merjenih meteoroloških spremenljivk. Glede na dostopnost podatkov ločimo kompleksne fizikalno osnovane metode (kot na primer Penman–Monteithova metoda (PM)) in metode na podlagi empiričnih razmerij, kjer za izračun ETP potrebujemo manj vhodnih podatkov. Metodo PM so določili kot standardno proceduro za izračun ETP Mednarodna komisija za namakanje (ICID), Organizacija za kmetijstvo in prehrano (FAO) ter Ameriško društvo za civilni inženiring (ASCE). V številnih regijah sveta tovrstnih podatkov ni na voljo. Glede na to so bile predlagane alternativne empirične enačbe (Allen in sod., 1998). Čeprav nekatere metode na splošno dajejo boljše rezultate ocene ETP kot druge (Droogers in Allen, 2002), je vključevanje ETP v izračun sušnega kazalca namenjeno predvsem relativni časovni oceni, zato izračun ETP ni kritičen. Mavromatis (2007) je v svoji analizi dokazal, da uporaba enostavnih ali kompleksnih metod za izračun ETP daje podobne rezultate pri izračunu sušnega kazalca PDSI. Vicente-Serrano in sod. (2010) so zato pri metodi SPEI uporabili najenostavnejši pristop izračuna ETP po Thornthwaitu, ki ima prednost v tem, da potrebuje le podatke o povprečni mesečni temperaturi zraka.

Tsakiris in sod. (2007) so predlagali razmerje med ETP in RR kot parameter za izračun sušnega kazalca pri spremljanju podnebnih sprememb. Vicente-Serrano in sod. (2010) so ugotovili, da ima pristop nekatere pomanjkljivosti, saj parameter ni določen, ko je $ETP = 0$ (kar je značilnost številnih svetovnih regij v zimskem času). Razmerje RR/ETP zmanjšuje razpon spremenljivosti in zmanjšuje vlogo temperature zraka pri suši.

Potopova in Možny (2011) ugotavljata, da ima SPEI kapaciteto za določanje intenzivnejše jakosti suše zaradi povečanja temperature v desetletjih 1981–1990 in 1991–2000 neodvisno od obdobja analize. Potopova in sod. (2012a) so kazalec SPEI uporabili za študijo razvoja suše v obdobju 1901–2010 v nižinskih predelih Češke republike. Za oceno

časovnega vzorca suše so uporabili SPEI in SPI za kratkoročno obdobje (1–2 meseca), za srednjeročno sušo (3–12 mesecev) in za dolgotrajno sušo (13–24 mesecev). Ugotovili so, da je dolgotrajna zimska suša pogosta v začetku 20. stoletja, spomladanske in poletne suše pa prevladujejo ob koncu stoletja. Povprečno trajanje sušnih obdobj, izračunanih na osnovi obeh kazalcev je bilo podobno v kratkoročnem obdobju med 2,2 in 2,5 meseca, srednjeročne in dolgotrajne suše na osnovi SPEI pa so bile daljše kot izračunane s kazalcem SPI. Ugotovili so tudi relativno značilno korelacijo med SPEI od aprila do septembra in pridelkom z izločitvijo trenda gomoljaste zelenjave ($r = -0,68$). Linearni regresijski model na osnovi SPEI pojasni 59,1 % variabilnosti letnega pridelka z izločitvijo trenda. Rezultati so pokazali večjo pogostnost sušnih obdobj v vegetacijski sezoni zelenjadnic *Brassica*, kar povzroča škodo, še posebno med sajenjem in oblikovanjem stebela pri stebelni kolerabi, razvoju glav cvetače ter formiranju glav zelja (poznopomladanska in zgodnjepoletna suša). Ugotovili so, da je gomoljna zelenjava ob saditvi manj občutljiva za daljše sušno obdobje (zgodnjepomladanska suša). Plodovke so bile izpostavljene tveganju zaradi suše pri daljših sušnih obdobjih v času cvetenja in oblikovanja prvih plodov (poletne suše; $\text{SPEI} \leq -1,5$ v obdobju med julijem in avgustom). Vendar pa se največji delež v upadu pridelka plodovk pojavi ob ekstremno vlažnem obdobju v juniju ($\text{SPEI} \geq 1,5$).

V drugi analizi Potopove in sod. (2012b) je bilo s pomočjo SPEI ugotovljeno, da se kratkotrajne suše (meteorološke suše) in suše srednjega trajanja (ki že vplivajo na kmetijsko proizvodnjo) pojavljajo na območju celotne Češke približno vsako tretje oziroma peto leto. Dolgotrajne suše (z vplivom na vodno oskrbo) se pojavijo na območju celotne države vsako deveto leto v vseh regijah. Ugotavljajo, da ima SPEI sposobnost zaznavanja intenzivnejših suš zaradi povečane temperature zraka v obdobju 1990–2000.

2.6.5.2 Kompleksnejši kazalci kmetijske suše

V svetu so bili razviti še številni drugi kazalci kmetijske suše. Za Češko republiko uporabljajo sušni kazalec Si, ki ga je razvil Ped leta 1976. Natančnejša metodologija je opisana v študiji Potopove in sod. (2012b). To je kazalec, ki je bil razvit za ugotavljanje sušnih in mokrih obdobj in omogoča razlikovanje med meteorološko in kmetijsko sušo. Kazalec so široko uporabljali v državah Commonwealtha; nekaj poskusov obstaja, da bi postal bolj uporaben tudi v osrednji Evropi. V tej študiji navajajo, da ima kazalec glede na PDSI precej prednosti: je enostaven, ne vsebuje konstant ali koeficientov in se lahko računa za poljubno obdobje in lokacijo. Slabost kazalca Si je njegova odvisnost od dostopnosti in kakovosti časovnih serij podatkov o vodi v tleh in gostote mreže, kjer meritve izvajajo. Zato obstajajo poenostavljene verzije: Si se lahko računa po treh metodah (Si-m, meteorološka suša; Si-p, pedološka suša; Si-a, kmetijska suša). Kazalec je merilo za intenzivnost dolgotrajnih suš iz podatkov o anomaliji temperature zraka, padavin in kombiniranega vpliva na vodo v tleh. Na splošno povezava med različnimi metodami Si kaže, da največji delež variabilnosti pridelka oceni Si-a (več kot 45 % variabilnosti pridelkov poljščin) v sušnih letih 1964, 1976, 2000, 2002, 2003 in 2006.

Kazalec so uporabljali tudi pri klimatološki študiji suše z različnimi kazalci suše (SPI, Si-m, SPI, SPEI, Si-a, Si-m) v Moldaviji (Potop in sod., 2010). Tudi v Moldaviji Si-a pojasni 43 % opazovane variabilnosti pridelka koruze, ko se suša pojavi v maju, juliju in avgustu.

Na dolgoletnih podatkih o vsebnosti vode v tleh v obdobju 1931–2008 so v Češki republiki testirali kazalec vode v tleh (Soil Moisture Index – SMI) (Možný in sod., 2012). Uporabljajo ga za računanje vodnega stresa v Češki republiki. Analizo so izvajali na obdobju 2001–2008. Določili so tudi vrednosti kazalca pod -3 kot del integriranega sistema opozarjanja na Češkem, predvsem v sistemu sledenja meteorološke in hidrološke suše. Kazalec je bil razvit v Nebraski (Hunt in sod., 2009), temelji na dejanski vsebnosti vode v tleh in na znanih podatkih o poljski kapaciteti in točki venenja. SMI je kontinuirana funkcija, z lestvico od $-5,0$ do $5,0$, kjer $5,0$ pomeni dejansko vsebnost vode v tleh pri poljski kapaciteti in $-5,0$ dejansko vsebnost vode v tleh pri točki venenja. SMI je bil uporabljen za študijo vegetacijskih sezon (1. april–1. oktober) v obdobju 1999–2006 v Nebraski. Omogoča opis začetka suše in identifikacijo pomanjkanja talne vlage.

Pogostokrat izdelajo platforme oziroma modele, pri katerih za različne potrebe kombinirajo različne kazalce. Tak primer je multiindeks suše (Multi-index drought – MID), ki vključuje različne kazalce (SPI1, SPI3, SPI6, PDSI in Z-indeks) za oceno tveganja kmetijske suše v kanadskih stepah (Sun in sod., 2011). Model je bil razvit tako, da upošteva prednosti nekaterih kazalcev v primerjavi s pridelkom spomladanske pšenice. Model avtomatično izbira in kombinira optimalni sušni kazalec preteklega in tekočega meseca na način, da najbolje opiše realne razmere tako prostorsko kot časovno. Ugotovitve kažejo, da je napoved MID boljša ali enaka kot uporaba samo enega kazalca. Ocena modela kaže, da rezultati omogočajo boljši vpogled v prostorsko porazdelitev razvoja suše pred in med vegetacijsko sezono in so komplementarna informacija v upravljanju tveganja kmetijske suše. Za zdaj model ne vključuje kazalcev na krajši časovni enoti za oceno kratkotrajnih sušnih obdobj v kritičnih razvojnih fazah rastlin.

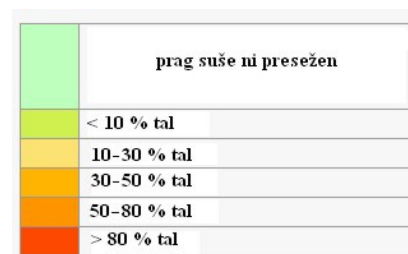
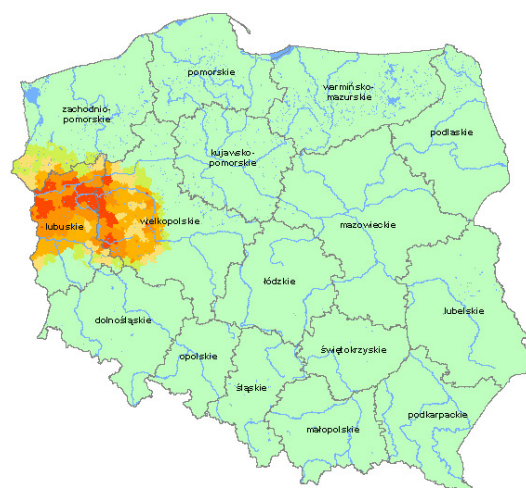
Na Poljskem so razvili sistem monitoringa kmetijske suše (Agricultural Drought Monitoring System – ADMS), ki je oblikovan predvsem za potrebe ugotavljanja škode ob državnih povračilih.

Osnova je kazalec, ki bazira na klimatski vodni bilanci (Climatic Water Balance – CWB) (Kozyra in sod., 2009). CWB je izračunan kot razlika med padavinami in potencialno evapotranspiracijo. Za ugotavljanje območij s sušo so poleg vodne bilance vključili še podatke o tleh in s statistično-empirično enačbo tudi vpliv vodnega primanjkljaja na pridelok. Določili so pragove CWB za določene skupine rastlin in specifične rastline (14 rastlin oziroma skupin rastlin). Meja za posamezno rastlino je odvisna od vodne retenzije tal in je določena s kmetijsko kategorijo tal pedološke karte (štiri kategorije tal: zelo lahka I, lahka II, srednja III in težka tla IV). Da bi upoštevali razlike v porabi vode pri rastlinah, so vegetacijsko sezono razdelili v pet (60-dnevnih) sezon z različnimi mejami vodne bilance. Na primer: vodna bilanca -162 mm od 1. aprila do 31. maja pomeni, da bodo pod močnim sušnim stresom ozimna in jara žita v kategoriji I (zelo lahka tla) in spomladanska žita na tleh v kategoriji II (lahka tla) (preglednica 13).

Preglednica 13: Razredi klimatske vodne bilance glede na rastlino in tla, ki ponazarjajo sušne razmere (Crop and soils ..., 2013). Opomba: Podatki so podani v pozitivnih vrednostih, izražajo pa negativno vodno bilanco.

Table 13: Crop and soils specific climatic water balance levels indicated crop drought conditions (Crop and soils ... 2013). Remark: Data are expressed in positive values, representing negative water balance.

Vrsta rastline	Obdobje																			
	april–maj				maj–junij				junij–julij				julij–avgust				avgust–september			
	Kategorija tal																			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
ozimna žita	150	170	210	240	180	200	250	280	230	260	300	320	x	x	x	x	x	x	x	x
jara žita	150	160	200	220	150	170	200	230	220	250	290	310	x	x	x	x	x	x	x	x
koruza za zrnje	x	x	x	x		250	290	310		250	290	320		230	290	320	x	x	x	x
koruza za silažo	x	x	x	x		220	280	300		280	340	360		200	240	260	x	x	x	x
oljna repica in repa		230	280	290		180	240	270	x	x	x	x	x	x	x	x		170	220	250
krompir	x	x	x	x	240	260	300	320	220	250	280	300	160	170	200	220	x	x	x	x
sladkorna pesa		250	290	310		250	290	310		240	270	290		210	240	260		170	190	210
hmelj	x	x	x	x	230	250	290	320	210	240	270	290	190	210	250	270	x	x	x	x
tobak	x	x	x	x	190	200	230	250	200	220	240	250	200	210	240	250	x	x	x	x
zelenjava na njivah	x	x	x	x	190	210	250	270	220	240	280	310	200	220	250	270	x	x	x	x
jagodičevje	140	160	200	220	180	200	240	270	200	230	270	300	160	170	200	220	x	x	x	x
sadno drevje	170	190	230	240	210	240	290	300	220	250	290	320	210	240	290	320	x	x	x	x
jagode	150	160	200	220	190	200	240	270	210	240	270	300	x	x	x	x	x	x	x	x
leguminoze	x	x	x	x	170	190	240	270	210	240	270	300	130	170	210	220	x	x	x	x



Slika 34: Karta ogroženosti zelenjave zaradi suše v letu 2011 na Poljskem (4. poročilo za obdobje 1. maj–30. junij 2011) (Crop and soils ..., 2013).

Figure 34: Map of drought danger on the vegetable fields in the year 2011 in Poland (4th report for the period from May 1 to June 30, 2011) (Crop and soils ... 2013).

ADMS vključuje aplikacijo, ki integrira meteorološke podatke za izračun vodne bilance skupaj s pedološkimi podatki. Informacije v obliki 60-dnevnih poročil posredujejo Ministrstvu za kmetijstvo in razvoj podeželja in objavijo na spletnih straneh Inštituta za pedologijo in pridelavo rastlin (Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute /IUNG-PIB/) <http://www.susza.iung.pulawy.pl/>. Dejavnost se izvaja prek akta Ministrstva za kmetijstvo in razvoj podeželja za 3064 poljskih občin (slika 34).

Pojav določene vrednosti CWB v preglednici 13 povzroči okrog 20-odstotno zmanjšanje pridelka, kar je določeno na osnovi dolgoletnih povprečij (Crop and soils ..., 2013).

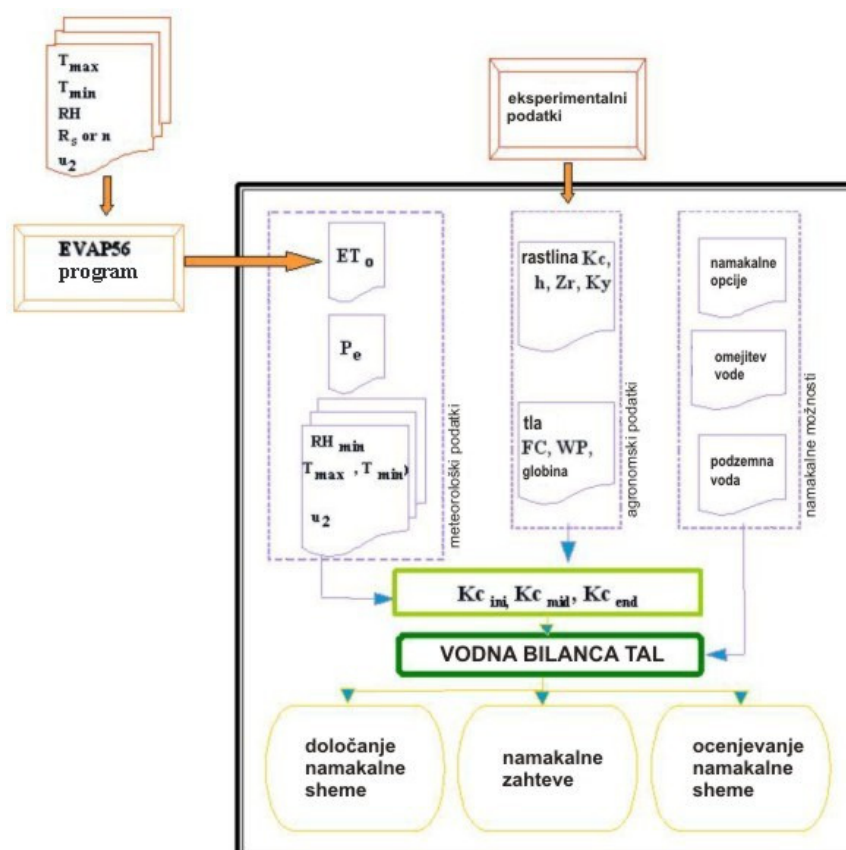
Tudi v številnih državah jugovzhodne Evrope so v uporabi kompleksnejši modeli sledenja kmetijske suše. V Srbiji uporabljajo za operativni monitoring sledenja kmetijske suše CropSyst model (Cropping System Simulation model /Stöckle in Nelson, 1994/). Rezultati modela za šest lokacij za koruzo so objavljeni na spletnih straneh Republiškega Hidrometeorološkega zavoda Srbije (Produkti modela ..., 2013).

Za ugotavljanje ranljivosti za kmetijsko sušo (Popova, 2012) je bil v sklopu DMCSEE testiran model WinISAREG (Pereira in sod., 2003; Paredes in Pereira, 2010a; 2010b) za območje Bolgarije za obdobje 1951–2004. Simulacije z modelom so bile izvedene tudi za nekatere lokacije v Sloveniji (Valher in sod., 2011; Sušnik in Valher, 2012b). Model WinISAREG je integracija dveh različnih modelov, modela EVAP56 za izračun referenčne evapotranspiracije in modela ISAREG, namakalnega modela, ki simulira vodno bilanco (Pereira in sod., 2003). Vključuje tudi algoritem, ki upošteva vpliv slanosti na dejansko evapotranspiracijo in pridelek (Campos in sod., 2003; Pereira in sod., 2007), ter algoritem za izračun prispevka podzemne vode in pronicanja (Liu in sod., 2006). Pronicanje izvira iz odvečne vode v koreninski coni in je ocenjeno s parametrično enačbo kot funkcija lastnosti tal in presežka vode od poljske kapacitete (Liu in sod., 2006). Namakalna količina in čas namakanja sta določljiva glede na talne značilnosti. V model je vključen tudi vpliv sušnega stresa na pridelek (Stewart in sod. 1977 cit. po Paredes in Pereira, 2010a). Relativna izguba pridelka je odvisna od evapotranspiracijskega deficita prek odzivnega faktorja (angl. *water-yield response factor*). Model ISAREG izračunava vodno bilanco glede na metodologijo po Allenu in sod. (1998) in upošteva različne alternative namakalnih shem (Teixeira in Pereira, 1992; Liu in sod., 2006; Fortes in sod., 2005; Popova in sod., 2006; Cholpankulov in sod., 2008). Na sliki 35 je prikazana poenostavljena shema modela WinISAREG. Model je dostopen na spletni strani <http://ceer.isa-utl.pt/cms>.

Sušnikova in sod. (2012) so ovrednotili dva kazalca: SPI in neto potrebe po namakanju (NIR), izračunane s programom WinISAREG. Vrednosti kazalcev za analizirano obdobje so primerjali z arhivskimi podatki o sušah, dostopnih v agrometeoroloških zapisih na ARSO. Analizirana so bila vegetacijska obdobja, ki trajajo od aprila do septembra, zato sta bila uporabljena SPI1 in SPI6. V študiji so bila uporabljena tla s slabo zadrževalno kapaciteto za vodo. Sezonskemu NIR v splošnem ustreza SPI6. Agrometeorološki zapisi so potrdili ekstremno sušna leta glede na oba kazalca. Pojavili pa so se tudi primeri, ko so bila nekatera sušna leta potrjena z NIR, s SPI6 pa ne in obratno. Oba kazalca dobro zaznata dolgotrajne suše, in sicer SPI6 le meteorološko sušo na račun pomanjkanja padavin, NIR pa upošteva tudi visoko izhlapevanje, povzročeno s temperaturnim stresom. Študija je

pokazala, da se trend vrednosti NIR na vseh izbranih lokacijah v zadnjem desetletju (2001–2010) povečuje na tleh s slabo zadrževalno kapaciteto za vodo.

V Sloveniji je od kompleksnejših modelskih orodij v uporabi model IRRFIB (Sušnik, 2006), ki je predstavljen v poglavju 3.2.1. Študija Sušnikove in sod. (2010) o različnih enostavnih in kompleksnih kazalcih suše v primerjavi s pridelkom koruze (SPI6, potencialna evapotranspiracija, padavine, vodni primanjkljaj – CWD, dnevi s sušnim stresom) je pokazala, da pridelek koruze kaže najboljšo povezanost s CWD ($r^2 = 0,65$) in z indeksom SPI6 za september ($r^2 = 0,61$). SPI se v študiji ni izkazal za primernega pri obravnavi obdobj z višjo stopnjo potencialne evapotranspiracije. Iz študije tudi izhaja priporočilo, da bi bilo treba za bolj kmetijsko usmerjen monitoring suše vključiti več različnih kazalcev. Pridelek se zmanjšuje s povečanjem CWD in sušnih dni. Leta z visokim CWD so bila potrjena tudi s poročili o vplivih suše. To dokazuje, da sušne informacije na posameznem območju, z vključenimi podatki o rastlinah in tleh, izboljšajo informacijo o suši.



Slika 35: Poenostavljen diagram modela WinISAREG (Paredes in Pereira, 2010a: 13).
 Figure 35: Simplified flowchart of WinISAREG model (Paredes and Pereira, 2010a: 13).

Razumevanje kmetijske suše zahteva aktiven pristop na podlagi proučevanja in kombiniranja številnih podnebnih, hidroloških in drugih parametrov ter kazalcev različnih vrst suše – od enostavnih do kompleksnih (Palmer, 1965; Heim, 2002; Keyantash in Dracup, 2002; Wells in sod., 2004; Steinemann in sod., 2005; Matera in sod., 2007; Ceglar

in Kajfež Bogataj, 2008; Vicente-Serrano in sod., 2010; Liu in sod., 2011; Sivakumar in sod., 2011; Shahabfar in sod., 2012; Šebenik, 2012).

V obstoječih praksah uporabljajo različne pristope k sledenju kmetijske suše. Enotno vsem je, da en kazalec kmetijske suše ne more opisati vseh faz kmetijske suše in zato pretežno združujejo več različnih kazalcev za monitoring kmetijske suše. Večinoma je osnova dobrega sledenja kmetijske suše kazalec, ki vključuje vsaj meteorološko vodno bilanco, največkrat pa vodno bilanco kmetijskih rastlin in določa jakosti suše za posamezno rastlino (Wu in Wilhite, 2004; Narasimhan in Srinivasan, 2005; Matera in sod., 2007; Todisco in sod., 2008; Potop, 2010a; Potop in sod., 2010; Kozyra in sod., 2009; Sivakumar in sod., 2011).

Iz tega izhaja, da kompleksni kazalci bistveno boljše opisujejo sušo na kmetijskih rastlinah. Jakost in trajanje suše na posamezni kmetijski rastlini brez vključevanja drugih vhodnih podatkov ne daje zelenih informacij. Natančnost ocene suše na kmetijskih površinah je večja glede na količino integriranih kakovostnih vhodnih podatkov. V ekstremno sušnih letih se na sušo odzivajo vsi kazalci, v letih zmerne suše pa je odzivnost zelo odvisna od tal in rastline.

Zaključimo lahko, da za kredibilno informacijo o kmetijski suši v Sloveniji poleg analiz enostavnih kazalcev potrebujemo tudi kazalec, ki vključuje lastnosti posamezne rastline in njeno vodno bilanco na različnih tleh, ki lahko detektira sušni stres kmetijskih rastlin v času in prostoru.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

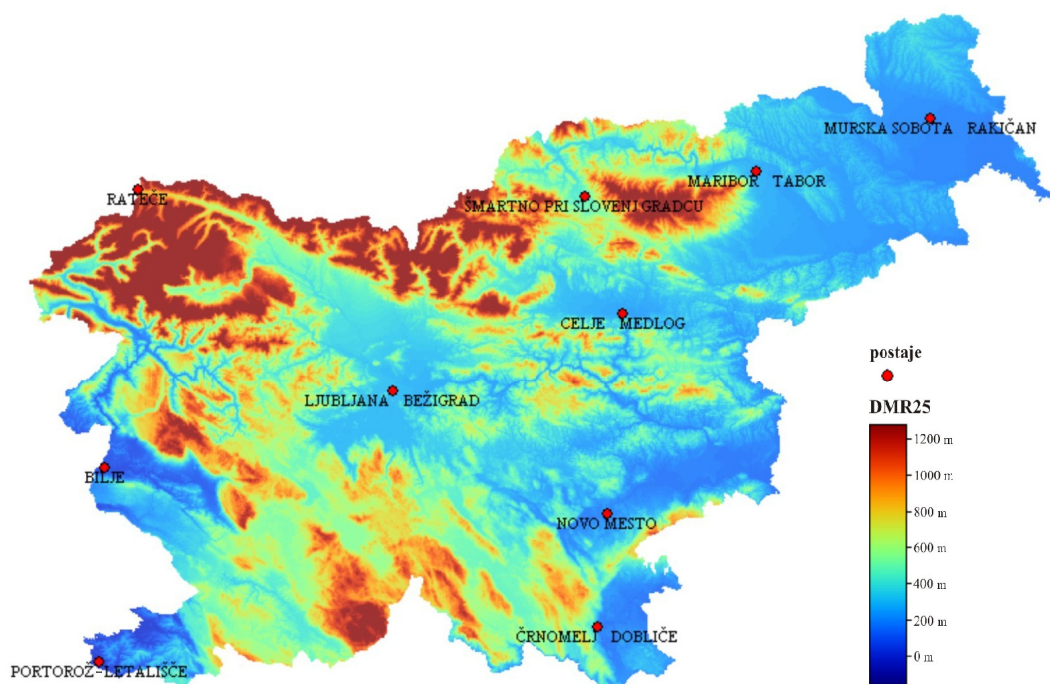
3.1.1 Izbor lokacij

Prostorska raznolikost kmetijske suše je zelo odvisna od trajanja in obsežnosti suše; v nekaterih letih je zelo lokalna, spet v drugih zajame celo Slovenijo. Za analizo simptomatike kmetijske suše in razvoj kazalca kmetijske suše v Sloveniji smo izbrali lokacije meteoroloških postaj tako, da so dokaj enakomerno razporejene v glavnih kmetijskih regijah Slovenije in so tudi v klimatološkem smislu reprezentativna mesta. Njihova nadmorska višina sega od 2 m v Portorožu do 864 m v Ratečah. Zelo pomemben element pri izbiri lokacij je bil dolg in kakovosten niz meteoroloških podatkov. Na osnovi regionalne zastopanosti, kakovosti in homogenosti meritev smo izbrali deset meteoroloških postaj ARSO: Rateče, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana Bežigrad, Maribor Tabor, Novo mesto, Celje Medlog, Črnomelj Dobliče, Murska Sobota Rakičan, Bilje in Portorož - letališče za obdobje 1961–2012. V posameznih analizah smo uporabili tudi podatke za leto 2013.

Lokacije izbranih meteoroloških postaj so prikazane na sliki 36, njihovi geografski podatki pa v preglednici 14. Iz fotografij na slikah 37 in 38 so vidne tudi druge lastnosti posamezne lokacije.

Ključni moment pri izboru postaj je bila tudi dostopnost drugih podatkov, potrebnih za izračun vodne bilance izbranih kmetijskih rastlin, kot so lastnosti tal in rastlin. Te bomo obravnavali v nadaljevanju. Zaradi lastnosti kmetijske suše, ki je počasen, tako imenovan plazeč dogodek, lahko lastnosti izbranih lokacij pomenijo osnovne karakteristike širše regije, logično pa ne predstavljajo lastnosti specifične mikrolokacije. Pri modeliranju vodne bilance že posamezen padavinski dogodek lahko vpliva na trenutni razvoj kratkotrajne kmetijske suše na izbrani lokaciji, pri daljši trajajoči suši pa tudi tovrstni dogodki stanja bistveno ne spremenijo.

Podnebne razmere izbranih lokacij smo opisali s tipizacijo na osnovi podnebnih tipov, ki Slovenijo razvršča v tri glavne tipe podnebja: gorsko, zmernokontinentalno in submediteransko podnebje, znotraj tega pa je še podrobnejša razdelitev v devet klasifikacijskih skupin (Ogrin, 2002). Razdelitev raziskovanih lokacij po podnebnih tipih je v preglednici 14. V raziskavo niso bile vključene lokacije, ki bi pokrivale podnebje višjega gorskega sveta. Za opis podnebnih razmer na izbranih lokacijah smo uporabili povprečne vrednosti meteoroloških podatkov v referenčnem obdobju 1971–2000. Po priporočilih Svetovne meteorološke organizacije je povprečne podnebne razmere na nekem območju smiselno obravnavati v daljšem, vsaj 30-letnem obdobju.



Slika 36: Lokacije izbranih meteoroloških postaj (digitalni relief Slovenije: SAZU, 2013), označene z rdečimi točkami.

Figure 36: Locations of chosen meteorological stations (digital relief of Slovenia: SAZU, 2013) marked by red dots.

Preglednica 14: Razvrstitev po podnebnih tipih in nekatere geografske lastnosti meteoroloških postaj (Ogrin, 2002; Meteorološki podatki ..., 2013).

Table 14: Climate classification and some geographical characteristics of meteorological stations (Ogrin, 2002; Meteorološki podatki ..., 2013).

Meteorološka postaja (Okrajšava)	Tip podnebja	Geografska širina	Geografska dolžina	Nadmorska višina [m]
Rateče (RA)	podnebje nižjega gorskega sveta v zahodni Sloveniji	46° 30'	13° 43'	864
Šmartno pri Slovenj Gradcu (ŠSG)	podnebje nižjega gorskega sveta v severni Sloveniji	46° 29'	15° 7'	444
Ljubljana Bežigrad (LJ)	zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije	46° 4'	14° 31'	299
Maribor Tabor (MB)	zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije (subpanonsko podnebje)	46° 32'	15° 39'	275
Novo mesto (NM)	zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije	45° 48'	15° 11'	220
Celje Medlog (CE)	zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije	46° 14'	15° 14'	242
Črnomelj Dobliče (ČR)	zmerno celinsko podnebje jugovzhodne Slovenije (subpanonsko podnebje Bele krajine)	45° 34'	15° 9'	157
Murska Sobota Rakičan (MS)	zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije (subpanonsko podnebje)	46° 39'	16° 12'	187
Bilje (BI)	zaledno submediteransko podnebje	45° 54'	15° 38'	55
Portorož - letališče (PO)	obalno submediteransko podnebje	45° 29'	15° 37'	2

3.1.2 Podatki meteorološkega arhiva za obravnavane lokacije

Za analizo kmetijske suše in razvoj kazalcev kmetijske suše smo uporabili dnevne padavinske podatke izbranih meteoroloških postaj in podatke meritev meteoroloških spremenljivk, ki so potrebne za izračun referenčne evapotranspiracije. Padavine in evapotranspiracija sta glavni komponenti vodnobilančnih izračunov. Za sledenje kmetijske suše je bistvenega pomena, kakšna je meteorološka mreža, različni tipi meritev in opazovanj ter dostopnost podatkov. Glavno izhodišče pri izbiri meteoroloških postaj za analizo so bili polni in čim bolj homogeni nizi podatkov. Predvsem pri analizi klimatologije kmetijske suše smo potrebovali izbrane meteorološke spremenljivke v dolgem obdobju. Uporabili smo postaje, ki imajo vsaj 30-letni niz podatkov. Dolgi in popolni časovni nizi meteoroloških podatkov so dostopni le v manjšem številu točk v mreži postaj ARSO. Pri določanju lokacij smo stremeli tudi k dejstvu, da se na izbranih postajah ohranja enoten način merjenja in opazovanj ter da se okolica v obravnavanem obdobju ni bistveno spreminjala. Izjema so le podatki za postajo Portorož, kjer se je lokacija v obravnavanem obdobju spreminjala.



a) Rateče



b) Šmartno pri Slovenj Gradcu



c) Ljubljana



č) Maribor

Slika 37 (a–č): Fotografije izbranih meteoroloških postaj (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).

Figure 37 (a–č): Photos of chosen meteorological stations (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).

Spremembe merilnih mest in merilnih tehnik lahko namreč pomembno vplivajo na izmerjene nize podnebnih spremenljivk, zato morajo temeljiti na homogeniziranih nizih, kjer so umetni vplivi čim bolj odstranjeni. Za osem izbranih meteoroloških postaj so bili nizi (razen podatkov za trajanje sončnega obsevanja) dokaj polni, za lokacijo Bilje so dostopni podatki od leta 1962 dalje, pri postaji Črnomelj pa v nizu manjkata leti 1986 in 1988. Dnevni meteorološki podatki za celotno obdobje 1961–2012 so bili pridobljeni iz

arhiva ARSO (Meteorološki podatki ..., 2013), kjer se zbirajo in preverjajo v okviru nacionalne meteorološke mreže. Fotografije merilnih postaj v analizi so na sliki 37 (a–č) in sliki 38 (a–e). V naslednjih poglavjih bomo ponekod uporabljali le skrajšane oblike imen ali kratice imen postaj (preglednica 14).



a) Novo mesto



b) Celje



c) Črnomelj



č) Murska Sobota



d) Bilje



e) Portorož

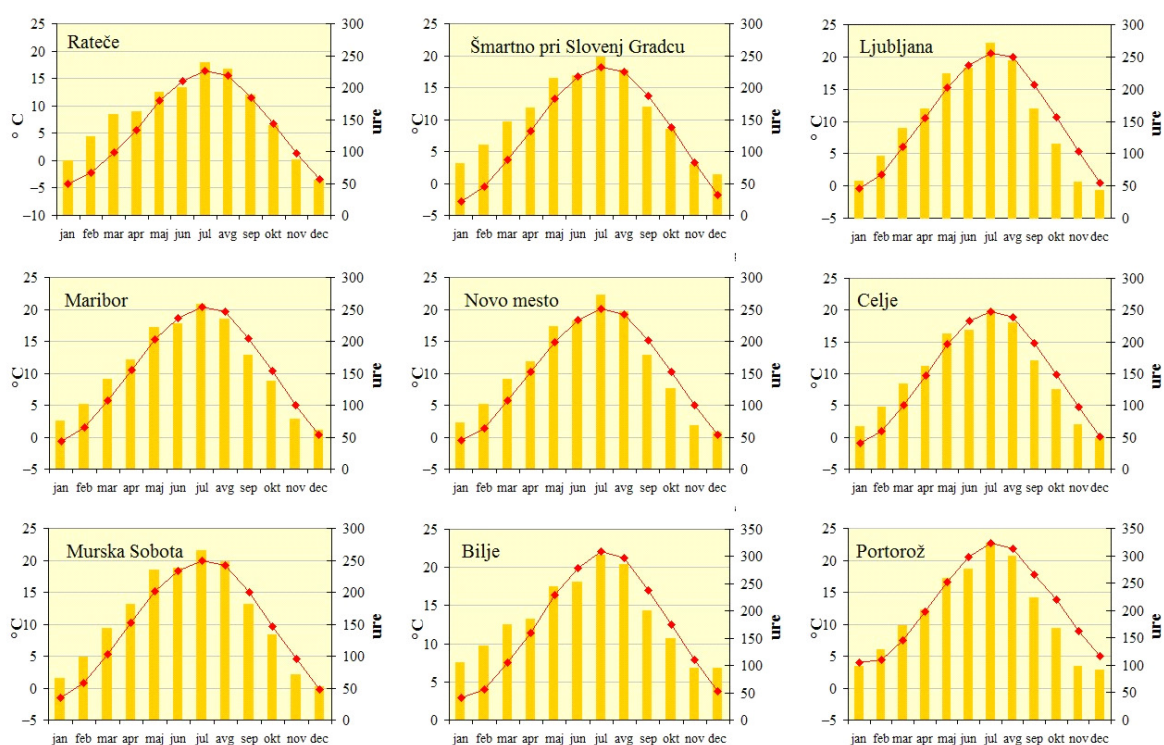
Slika 38 (a–e): Fotografije izbranih meteoroloških postaj (Dokumentacija meteorološke..., 2013).
Figure 38 (a–e): Photos of chosen meteorological stations (Dokumentacija meteorološke..., 2013).

Pri analizi so bili uporabljeni naslednji dnevni meteorološki podatki: padavine RR [mm], maksimalna T_{\max} in minimalna T_{\min} temperatura zraka na dveh metrih [$^{\circ}\text{C}$], relativna vlaga zraka na dveh metrih RH [%], trajanje sončnega sevanja n [ure] in hitrost vetra na dveh metrih u_2 [ms^{-1}]. Nekatere značilnosti glavnih podnebnih spremenljivk v celotnem obdobju 1961–2012 za izbrane lokacije so na slikah 39–42. Nekatere interpretacije so vezane tudi na vegetacijsko obdobje (april–september).

Za izračun vodne bilance so ključni podatki o padavinah. Pri določanju količine padavin v krajih, v katerih ni dostopnih meritev, je potrebna velika pazljivost. V našem primeru smo združili podatke različnih postaj za niz meteoroloških podatkov pri postaji Portorož. Tu smo uporabili podatke s postaj, na katerih so na tem območju merili v tem obdobju 1961–2012; sicer pa so izbrana obdobja ustrezno krajša. Za posamezne analize smo uporabili tudi dostopne podatke za leto 2013. Meritve na postaji letališče Portorož potekajo šele od leta 1974. Pred tem je bila postaja na lokaciji Beli Križ in lokaciji Koper.

K suši v veliki meri prispevata tudi temperatura zraka in trajanje sončnega obsevanja. Predvsem v vročih in sončnih poletnih dneh temperatura zraka močno poveča izhlapevanje. Ugotovitve Cesarjeve (2010) kažejo, da je vpliv temperature zraka na vrednost evapotranspiracije najbolj izrazit v Portorožu in Murski Soboti, s korelacijskim koeficientom 0,84.

Povprečna temperatura zraka v vegetacijskem obdobju na obravnavanih lokacijah je med 15 in 16 °C, najhladnejše je vegetacijsko obdobje v Ratečah z 11,6 °C, najtoplejše pa v Biljah in Portorožu z malo nad 17 °C. Letni hod temperatur zraka na izbranih lokacijah je razviden s slike 39.



Slika 39: Povprečne mesečne temperature zraka v °C (rdeče linije) in mesečno trajanje sončnega obsevanja v urah (rumeni stolpci) za izbrane meteorološke postaje v obdobju 1961–2012 (enota sekundarne osi pri grafih za Bilje in Portorož je določena na 350 ur).

Figure 39: Average monthly air temperature in °C (red lines) and sunshine duration in hours (yellow bars) for chosen meteorological stations in the period 1961–2012 (secondary y-axis unit at graphs for Bilje and Portorož is fixed to 350 hours).

Pri izračunu smo uporabili podatke o trajanju sončnega obsevanja. Meritve sončnega obsevanja so za nekatere postaje dostopne za krajše časovne nize: Rateče 1972–2012, Šmartno pri Slovenj Gradcu 1964–2012, Maribor Tabor 1961–1997 (po letu 1997 smo uporabili podatke s postaje Maribor - letališče) in Bilje 1962–2012.

Meritve sončnega obsevanja na postaji Portorož – letališče potekajo šele od leta 1991, pred tem so na voljo podatki za postajo Koper (1961–1974) in Beli Križ (1974–1991), zato smo v nadaljevanju upoštevali vse tri nize podatkov skupaj. Črnomelj nima meritev sončnega obsevanja, za preostale lokacije so nizi podatkov o trajanju sončnega obsevanju polni.

Od izbranih lokacij ima za obdobje 1961–2012 največ sončnih ur v vegetacijskem obdobju Portorož (1580 ur). Najmanj osončenja v vegetacijskem obdobju imata lokaciji Rateče in Šmartno pri Slovenj Gradcu, skupaj malo nad 1200 ur. Povsod tam, kjer podatkov o trajanju sončnega obsevanja nimamo, smo si pri izračunu pomagali s podatki o oblačnosti.

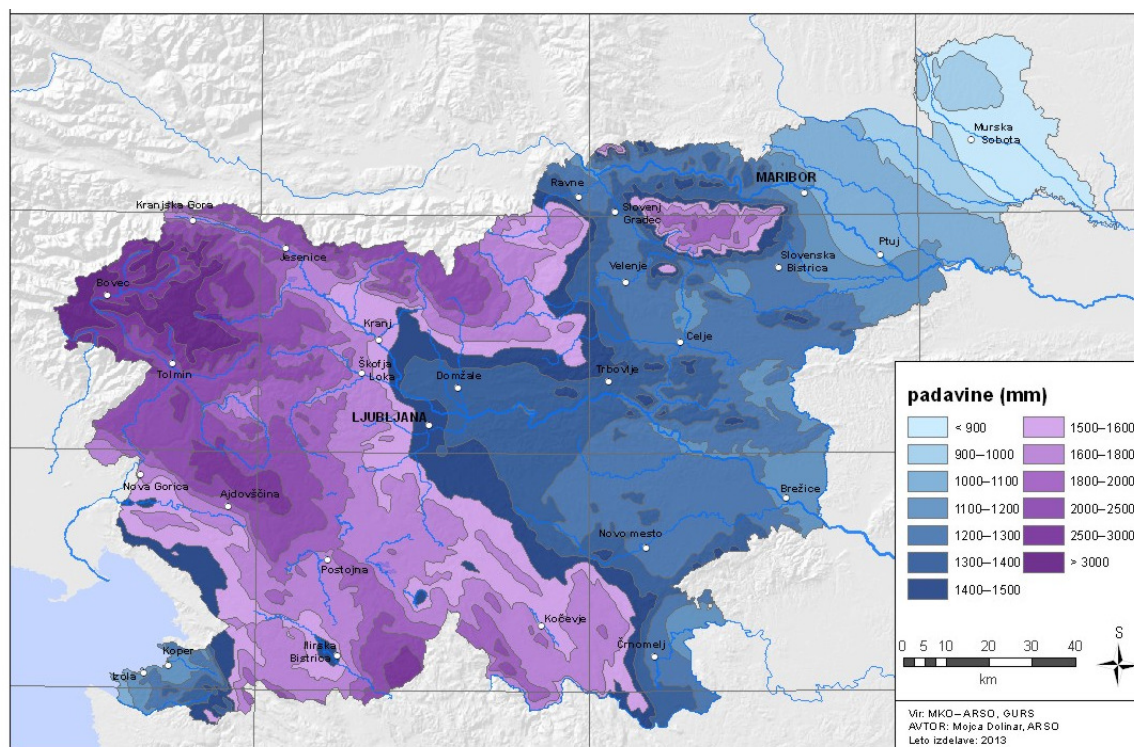
ARSO meri veter zvezno šele v zadnjem dobrem desetletju. Velikokrat lokacija meritev vetra ni značilna za širše območje. To lahko vpliva na izračun evapotranspiracije. Cesarjeva (2010) ugotavlja, da je evapotranspiracija v veliki meri odvisna od neto energije sončnega sevanja, sledi temperatura zraka in zasičeni parni tlak, najmanj pa je odvisna od hitrosti vetra.

V primeru kartografskih analiz posameznih let v obdobju 2003–2013 smo uporabili tudi večje število meteoroloških postaj (leta 2013 124 padavinskih in 30 klimatoloških), ker smo želeli opazovati tudi reprezentativnost uporabljenih kazalcev za širši prostor. Karte meteoroloških postaj, uporabljenih za prostorske prikaze, so v prilogi A in B. Širši nabor podatkov smo prav tako pridobili iz arhiva ARSO (Meteorološki podatki ..., 2013). Metodologija prenosa kazalcev v prostor je predstavljena v poglavju 3.2.3.4.

3.1.2.1 Padavinski režim obravnavanih lokacij

Porazdelitev padavin kaže, da so izbrane postaje uvrščene v območja z različnimi padavinskimi režimi, kar je posledica izrazito razgibanega reliefa Slovenije. Najmanj letnih padavin na izbranih lokacijah je v Murski Soboti, v obdobju 1961–2012 letno povprečno 803,6 mm, sledi Portorož, kjer je letna količina padavin 994,3 mm. Največ letnih padavin na obravnavanih lokacijah je v obravnavanem obdobju v Ratečah (1532,1 mm) in Biljah (1425,0 mm).

Dolgoletna povprečja za količino padavin v vegetacijskem obdobju (od začetka aprila do konca septembra) se med izbranimi lokacijami nekoliko manj razlikujejo kot celoletne količine: od 512,3 mm v Murski Soboti do 868,1 mm v Ratečah. V vegetacijskem obdobju na obravnavanih lokacijah pade od 51 do 63 % letnih padavin (preglednica 15). V Sloveniji nimamo izrazito sušnega ali mokrega dela leta. Na slikah 41 in 42 so prikazani klimadiagrami za izbrane postaje za obdobje 1961–2012.

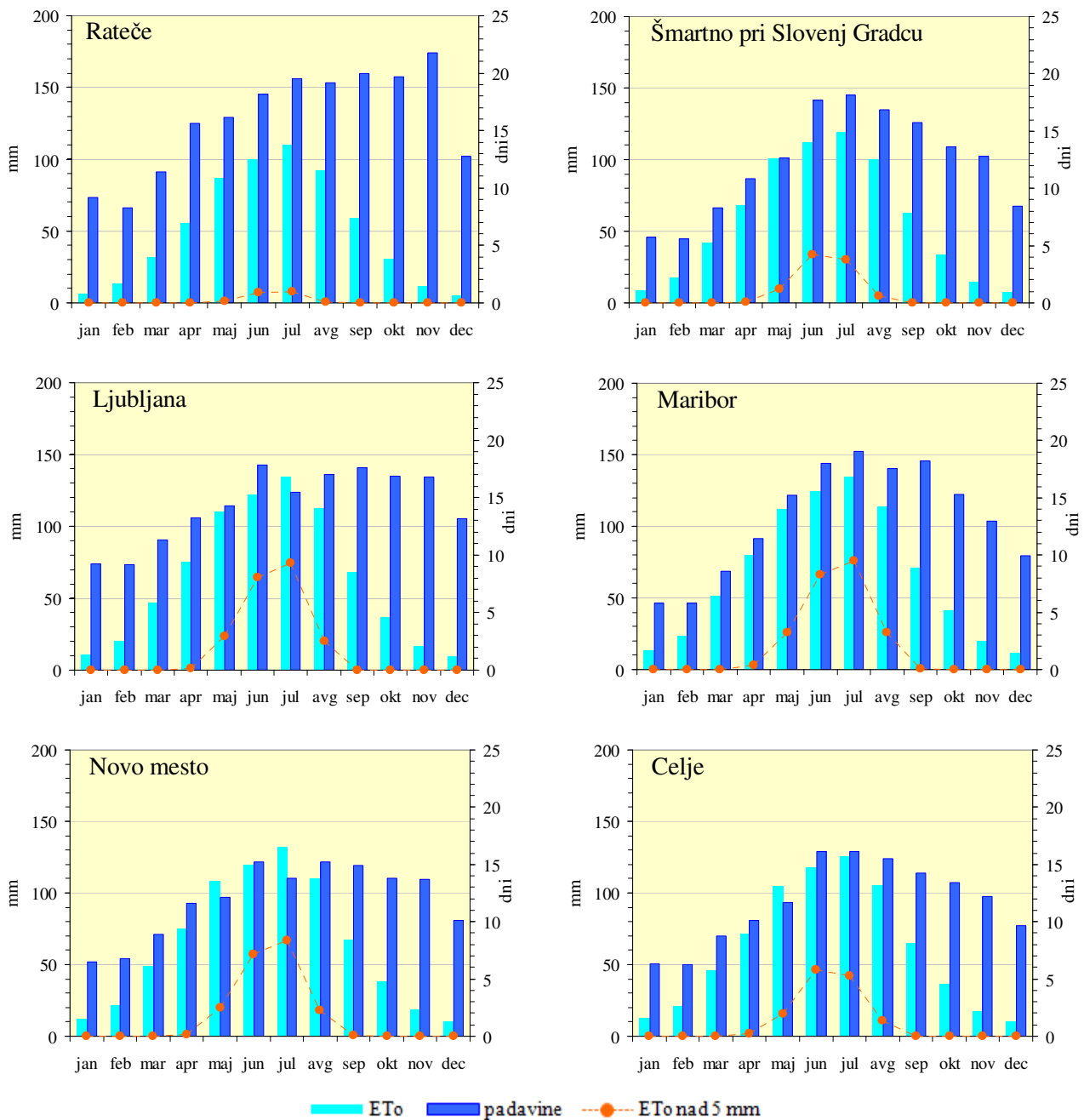


Slika 40: Povprečna letna vsota padavin (mm) za referenčno obdobje 1971–2000 (Dolinar, 2013).
Figure 40: Mean annual precipitation totals (mm) for the reference period 1971–2000 (Dolinar, 2013).

Preglednica 15: Povprečna vsota padavin v letu in v vegetacijskem obdobju (mm), delež padavin v vegetacijskem obdobju glede na letno količino padavin ter delež suhih in padavinskih (> 0,0 mm) dni v vegetacijskem obdobju za izbrane meteorološke postaje v Sloveniji v obdobju 1961–2012.

Table 15: Average precipitation totals in the year and in the vegetation period (mm) and share of precipitation amount in the vegetation period related to annual precipitation amount and average share of dry and wet days (> 0,0 mm) in the vegetation period for chosen meteorological stations in Slovenia in the period 1961–2012.

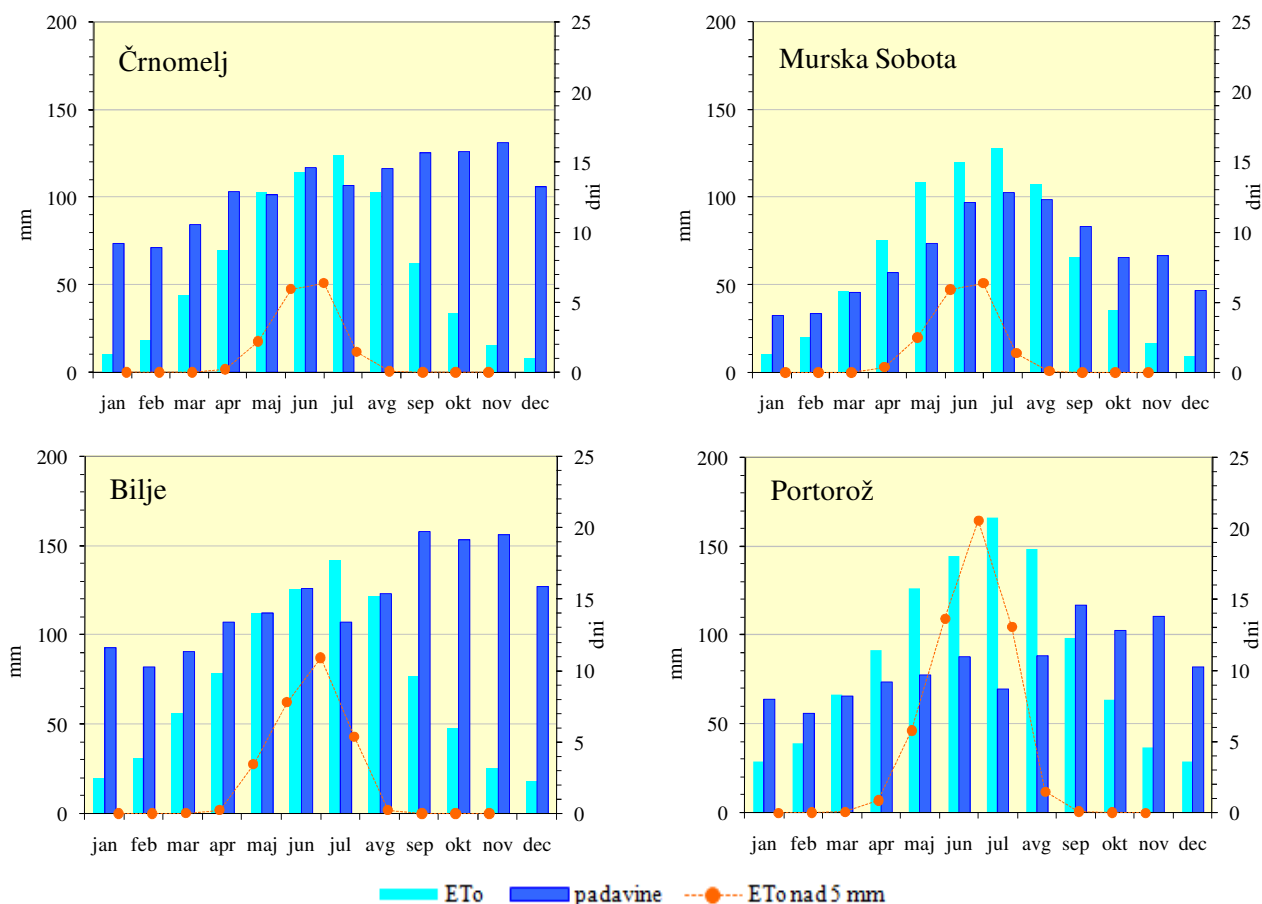
Meteorološka postaja	Povprečna letna vsota padavin) [mm]	Povprečna vsota padavin v veg. obdobju [mm]	Povp. delež padavin v veg. obdobju glede na letno vsoto [%]	Povp. delež suhih dni v veg. obdobju [%]	Povp. delež mokrih dni v veg. obdobju [%]
Rateče	1532,1	868,1	57,0	51	49
Šmartno pri S. G.	1170,9	735,7	62,8	46	54
Ljubljana	1375,1	763,5	55,5	48	52
Maribor	1263,4	796,1	62,1	52	48
Novo mesto	1140,0	663,0	58,1	48	52
Celje	1122,7	670,0	59,5	51	49
Črnomelj	1254,6	662,4	52,3	54	46
Murska Sobota	803,7	512,3	63,6	55	45
Bilje	1425,0	728,8	51,2	61	39
Portorož	994,3	513,9	51,3	60	40



Slika 41: Povprečne mesečne vsote padavin (mm) in evapotranspiracije (mm) ter mesečno število dni z evapotranspiracijo nad 5 mm za izbrane meteorološke postaje v obdobju 1961–2012.

Figure 41: Average monthly sums of precipitation (mm) and evapotranspiration (mm) and monthly number of days with evapotranspiration above 5 mm for chosen meteorological stations in the period 1961–2012.

Do večjih odstopanj količine padavin prihaja zlasti v sušnih letih, ko pade le neznatno padavin. Ekstremno sušnega leta 2003 je tako v Murski Soboti marca padlo le 3,2 % običajne marčevske vrednosti padavin, avgusta 1992 pa le 7,5 % običajne avgustovske vrednosti padavin. Ob tem je treba dodati, da se v vsakem sušnem letu pojavijo tudi nadpovprečno namočeni meseci; največkrat sta to maj in oktober (Kikec, 2010).



Slika 42: Povprečne mesečne vsote padavin (mm) in evapotranspiracije (mm) ter mesečno število dni z evapotranspiracijo nad 5 mm za izbrane meteorološke postaje v obdobju 1961–2012.

Figure 42: Average monthly sums of precipitation (mm) and evapotranspiration (mm) and monthly number of days with evapotranspiration above 5 mm for chosen meteorological stations in the period 1961–2012.

Za stanje vodne zaloge pred vstopom v vegetacijsko obdobje in razvoj spomladanske suše je poleg padavin v vegetacijskem obdobju zelo pomembna tudi snežna odeja, vendar je ne bomo podrobneje obravnavali.

3.1.2.1.1 Padavinski in suhi dnevi v vegetacijskem obdobju

Tako kot je za pojav kmetijske suše pomembna količina padavin v vegetacijskem obdobju, je enako ali še celo bolj pomembna tudi njihova razporeditev. Analiza razmerja deževnih (več kot 0,0 mm) in suhih dni v vegetacijskem obdobju kaže, da je na vseh obravnavanih lokacijah v povprečju največ deževnih dni v vegetacijskem obdobju v Šmartnem pri Slovenj Gradcu (54 % vseh dni v vegetacijskem obdobju ali skupno 99 dni).

Več kot polovico sezone je v povprečju deževnih dni tudi v Novem mestu in Ljubljani. Najmanj deževnih dni je v povprečju v Biljah, skupno v vegetacijskem obdobju 39 % oziroma 71 dni. Proporcionalno je največji delež suhih dni v vegetacijskem obdobju v Biljah (61 % oziroma 111 dni), v Portorožu 60 % (110 dni) in v Murski Soboti 55 % (101 dan).

Za kmetijske rastline je ključno, kako razporeditev padavinskih in suhih dni sovпада z njihovim fenološkim razvojem. K težavam s poletno kmetijsko sušo pri poljščinah visokega poletja, kamor sodi na primer koruza, pripomore razmerje suhih in padavinskih dni, ki kaže, da je delež suhih dni v meteorološkem poletju (junij–avgust) na vseh obravnavanih lokacijah večji kot v celotnem vegetacijskem obdobju. Na vseh obravnavanih lokacijah je poleti od 47 do 56 suhih dni, v Črnomlju 56, v Biljah 59 in v Portorožu 65. To pomeni, da je na večini obravnavanih lokacij v povprečju več kot pol poletnih dni suhih; v Črnomlju je delež 61 %, v Biljah 64 % in v Portorožu 71 %. Največ suhih dni je v Portorožu, pogosto nad 60 dni, leta 2012 celo 80 dni oziroma 87 % poletnih dni. Tu zaporedje suhih dni ni upoštevano.

3.1.2.2 Referenčna evapotranspiracija obravnavanih lokacij

Pri ugotavljanju vodne bilance je ključnega pomena evapotranspiracija ali izhlapevanje. Evapotranspiracija je sestavljena iz dveh procesov: evaporacije in transpiracije. Evaporacija je izhlapevanje vode z vodne površine ali iz tal, transpiracija pa je izhajanje vode iz rastline prek listnih rež ali drugih nadzemnih organov (Allen in sod., 1998). Evapotranspiracija (ET) je definirana kot prehajanje vode v obliki vodne pare s površine tal in skozi listne reže rastlin v ozračje (Meteorološki terminološki ..., 1990). Razlikujemo dejansko in potencialno ET . Potencialna ET predstavlja največjo možno ET , ko je na razpolago neomejena količina vode (Meteorološki terminološki ..., 1990). Referenčna evapotranspiracija (ET_0) se nanaša (odvisno od metode računanja) na prosto vodno gladino ali na potencialno evapotranspiracijo referenčne kulture (Pintar, 2006).

Evapotranspiracija je odvisna od več vremenskih parametrov (vlage in temperature zraka, sončnega obsevanja, vetra). Podajamo jo v debelini vodne plasti, ki izhlapi v določenem obdobju (na primer mm/dan, mm/mesec) (Pintar, 2006).

Evapotranspiracija ni odvisna le od podnebnih dejavnikov, temveč tudi od vrste rastline ter od stopnje njenega razvoja. Podatek potencialna evapotranspiracija 5 milimetrov na dan pomeni, da dnevno iz z vodo dobro preskrbljene travnate površine izhlapi 5 litrov vode na kvadratni meter. Poleti so dnevne vrednosti v povprečju višje, med 4 in 5 mm, pozimi pa pod 1 mm.

Pri naši analizi smo za izračun potencialne evapotranspiracije uporabili Penman-Monteithovo metodo, ki upošteva naslednje meteorološke spremenljivke: temperaturo zraka, relativno zračno vlago, hitrost vetra in sončno sevanje. To je najbolj splošno uporabljena definicija, ki uvaja pojem referenčne evapotranspiracije (ET_0) (Kurnik, 2002).

Penman-Monteithova metoda (Allen in sod., 1998) za oceno ET_0 se izračunava po naslednji enačbi:

$$ET_0 = \frac{K_1 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{K_2}{T + K_3} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + K_4 u_2)} \quad \dots (4)$$

kjer je: ET_0 referenčna evapotranspiracija [mmdan⁻¹]
 Δ parameter odvisen od temperature [kPa°C⁻¹]
 R_n neto obsevanje površin rastlin [MJm⁻²dan⁻¹]
 G tok toplote iz površja [MJm⁻²dan⁻¹], dnevne vrednosti so dosti manjše od R_n , zato lahko predpostavimo, da je $G=0$
 T povprečna dnevna temperatura zraka na višini 2 m [°C]
 u_2 hitrost vetra na višini 2 m [ms⁻¹]
 $e_s - e_a$ razlika med nasičenim in dejanskim parnim tlakom [kPa]
 γ psihrometrična konstanta [kPa°C⁻¹].

Konstanta K_1 prevede energijske enote v evaporacijske prek izparilne entalpije in znaša 0,408 mm m² MJ⁻¹, konstanta K_2 znaša 900 mm dan⁻¹ °C s m⁻¹ kPa⁻¹, K_3 znaša 273,3 °C, K_4 ima vrednost 0,34 sm⁻¹.

ET_0 je definirana kot količina vode, ki izhlapi iz površine tal, ki jih enakomerno pokriva ekstenzivna travna ruša, visoka 0,12 m, zadostno preskrbljena z vodo, s površinsko upornostjo 70 sm⁻¹ in albedom 0,23 (Allen in sod., 1998). Razlog za uvedbo koncepta referenčne evapotranspiracije je ta, da v resnici ni ene same potencialne evapotranspiracije, pač pa različne rastline različno intenzivno transpirirajo (Thompson, 1999, cit. po Vilhar, 2006). Natančnejši opis metode je dostopen v navodilih FAO (Allen in sod., 1998). Vse izračune posameznih komponent enačbe so opisali tudi Kurnik (2002), Sušnikova (2006) ter Cesarjeva (2010).

Penman-Monteithova metoda najbolj natančno oceni referenčno evapotranspiracijo tudi v Sloveniji (Kurnik, 2002) in jo pri vodnobilančnih izračunih uporablja tudi ARSO (Uhan in sod, 2003; Bilteni vodnobilančnega ..., 2013). Z uporabo metode so bile izvedene tudi številne raziskave porabe vode pri kmetijskih rastlinah (Zupanc, 2003; Sušnik, 2006; Namakanje ..., 2013; Ipavec in Kajfež Bogataj, 2008; Sušnik in Pogačar, 2011; Sušnik in sod., 2011; Sušnik in Valher, 2012a; Sušnik in sod., 2012; Sušnik in Valher, 2012b; Sušnik in Valher, 2013).

Na osnovi Penman-Monteithove metode so bili izvedeni tudi izračuni izhlapevanja za Slovenijo z utežnostnimi koeficienti (za mešani gozd, kmetijske rastline in urbana območja) za obdobje 1971–2000 ter karte prostorske porazdelitve povprečnega izhlapevanja z upoštevanjem pokrovnosti tal in rastlin (Bat in sod., 2008). Vrednosti povprečnega letnega izhlapevanja po hidrometričnih zaledjih nihajo med 458 in 879 mm.

Povprečno letno izhlapevanje v obravnavanih zaledjih je bilo 755 mm. Razmerje med najmanjšo in največjo povprečno količino izhlapevanja je le 1 : 2. Spremembe izhlapevanja v prostoru so relativno najmanjše od vseh elementov vodnega kroga. Najvišje vrednosti dejanskega izhlapevanja so na območju jugozahodne in jugovzhodne Slovenije. Visoke vrednosti so posledica predvsem visoke povprečne temperature zraka v vegetacijskem obdobju in precejšnje gozdnatosti, ki pomeni visok koeficient rastlin na tem območju. Največje izhlapevanje, nad 850 mm, imamo iz posameznih območij v Pomurju, Krško-Brežiškega polja in Bele krajine ter na zahodu v južnejših in nižinskih legah Primorske in dolini Soče vse do Tolmina. Penman-Monteithova metoda je bila uporabljena tudi pri izračunavanju vodne bilance gozda v Sloveniji (Vilhar, 2006).

Analiza mesečnih vsot evapotranspiracije s slik 41 in 42 za obravnavane postaje kaže, da pri izhlapevanju v obdobju zimskega mirovanja rastlin ni tako velikih razlik, saj je izhlapevanje v hladnejših mesecih zunaj vegetacijskega obdobja nizko. V primerjavi z letno vsoto je delež izhlapevanja v vegetacijskem obdobju na vseh obravnavanih lokacijah 74–83 %. Na letni bazi je v obravnavanem obdobju 1961–2012 vsota ET_0 najvišja v Portorožu, malo nad 1000 mm, najnižja pa v Ratečah, blizu 600 mm (preglednica 16). V vegetacijskem obdobju na izbranih lokacijah izhlapi od 502,2 mm v Ratečah do 774,9 mm v Portorožu.

Preglednica 16: Referenčna evapotranspiracija (ET_0) (mm) v letu, v vegetacijskem obdobju in delež evapotranspiracije v vegetacijskem obdobju glede na letno količino za izbrane meteorološke postaje v Sloveniji.

Table 16: Reference evapotranspiration (ET_0) (mm) in the year, in the vegetation period and share of evapotranspiration amount in the vegetation period related to annual amount for chosen meteorological stations in Slovenia.

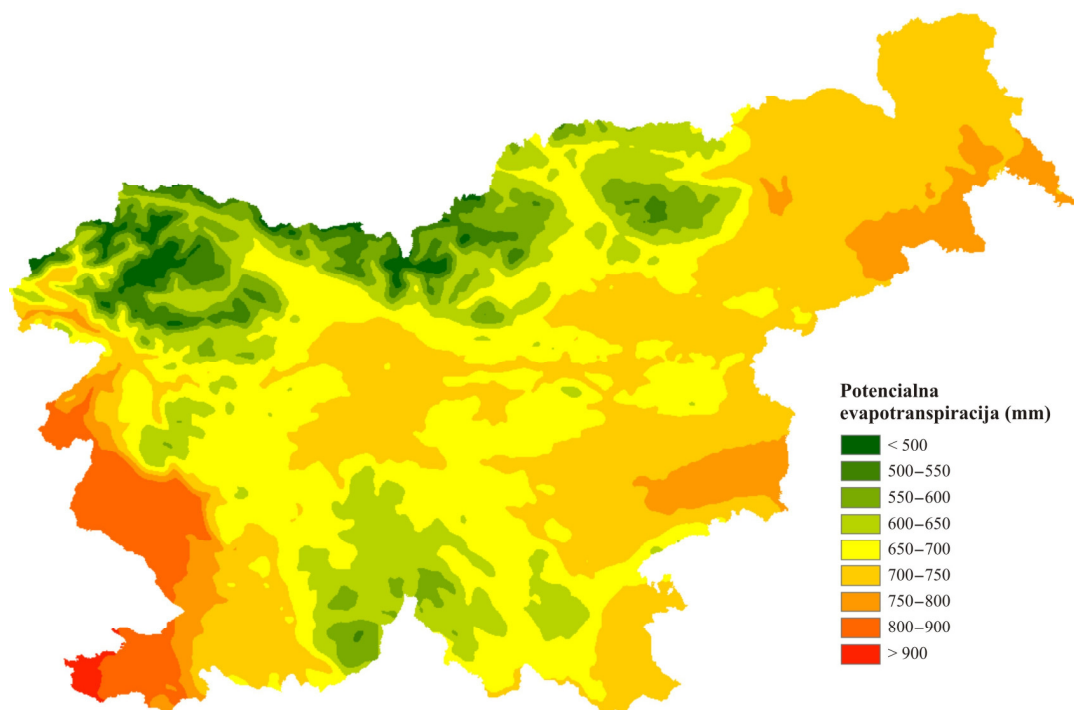
Meteorološka postaja	Povprečna letna ET_0 (1961–2012) [mm]	Povprečna ET_0 v vegetacijskem obdobju (1961–2012) [mm]	Delež ET_0 v vegetacijskem obdobju glede na letno vsoto [%]
Rateče	599,7	502,2	83,0
Šmartno pri S. G.	685,7	562,4	82,0
Ljubljana	762,0	622,0	81,6
Maribor	796,3	636,5	79,9
Novo mesto	762,8	612,2	80,4
Celje	734,3	590,4	80,4
Črnomelj	708,4	576,3	81,3
Murska Sobota	745,5	605,4	81,2
Bilje	854,9	655,9	76,7
Portorož	1039,3	774,9	74,6

Analiza mesečnih vsot evapotranspiracije za obravnavane postaje kaže podrobnejšo sliko poteka izhlapevanja na leto. V Ratečah je v celotnem letu povprečno izhlapevanje nižje od povprečne mesečne količine dežja. Največje mesečno izhlapevanje opazamo v poletnih mesecih, od junija do avgusta, ko izhlapi blizu 100 mm vode. V zimskih mesecih so vsote zanemarljivo majhne. V vegetacijskem obdobju izhlapi 502,2 mm. V Biljah je le julija izhlapevanje večje od padavin, uravnovežena je povprečna mesečna vodna bilanca v maju, juniju in juliju. Julija beležimo 10 dni z evapotranspiracijo več kot 5 mm. Pri postaji Šmartno pri Slovenj Gradcu se le v maju povprečno izhlapevanje približa majski količini

dežja, v preostalih mesecih pa beležimo padavinski presežek glede na izhlapevanje. Podobno je tudi v Mariboru, kjer je od septembra do decembra povprečna mesečna padavinska slika glede na izhlapevanje ugodna. V Novem mestu je povprečno stanje primanjkljaja dežja glede na evapotranspiracijo v maju in juliju, le rahlo pod količino dežja pa je evapotranspiracija junija. Junija in julija je od 7 do 8 dni z visoko evapotranspiracijo. V Celju evapotranspiracija preseže mesečno količino dežja maja, v drugih poletnih mesecih pa so količine dežja rahlo nad količino evapotranspiracije. V Ljubljani je tak mesec julij. Junija in julija lahko v Ljubljani kar 8- do 9-krat evapotranspiracija preseže 5 mm na dan.

V Črnomlju je od maja do julija povprečnega mesečnega dežja rahlo manj kot povprečne evapotranspiracije. Precej drugače pa je v Murski Soboti in Portorožu, kjer je povprečna mesečna količina dežja v obdobju od marca do avgusta nižja, kot je količina izhlapele vode. V juniju in juliju v Črnomlju beležimo med 5 in 6 dni z evapotranspiracijo več kot 5 mm, v povprečju pa tudi do 3 dni v maju. V Portorožu je takih dni v povprečju 21 julija in 13 dni tako junija kot avgusta, do 5 dni pa povprečno tudi maja.

Značilnost vegetacijskih obdobj v novejšem obdobju, ki zagotovo povzročajo večje težave pri oskrbi rastlin z vodo in pojav kmetijske suše, je povečana dnevna potencialna evapotranspiracija, nad 20 % v zahodni in jugozahodni Sloveniji (Dolinar, 2013). To kaže tudi spreminjanje povprečja in variabilnosti vegetacijske vsote potencialne evapotranspiracije. Območja z najvišjo evapotranspiracijo imajo tudi najnižjo letno in vegetacijsko količino padavin (slika 43). Sovpadajo pa tudi z območji z največjim deležem kmetijskih površin.



Slika 43: Povprečna letna potencialna evapotranspiracija za referenčno rastlino (mm) v obdobju 1971–2000 (Dolinar, 2013).

Figure 43: Average annual potential evapotranspiration for reference crop (mm) in the period 1971–2000 (Dolinar, 2013).

3.1.2.3 Meteorološka vodna bilanca

Meteorološka vodna bilanca dokaj preprosto, pa vendar objektivno določa sušno obdobje in je primerna osnova za prvo oceno pojava kmetijske suše. Je razlika med izmerjeno količino padavin in izračunano potencialno evapotranspiracijo v izbranem obdobju. Če za to obdobje uporabimo vegetacijsko obdobje (1. april–30. september), nam najbolj enostavno ponazori razmerje med padavinami in izhlapelo vodo v vegetacijskem obdobju. Enako velja tudi za katero koli izbrano obdobje. Meteorološka vodna bilanca se razlikuje od hidrološke vodne bilance, ki je enostavna računška shema vhodnih in izhodnih količin vode v poenostavljenem modelu vodnega kroga. V analizi smo izračunali potencialno evapotranspiracijo za referenčno rastlino po Penman-Monteithovi metodi za vse obravnavane meteorološke postaje (poglavje 3.1.2.2).

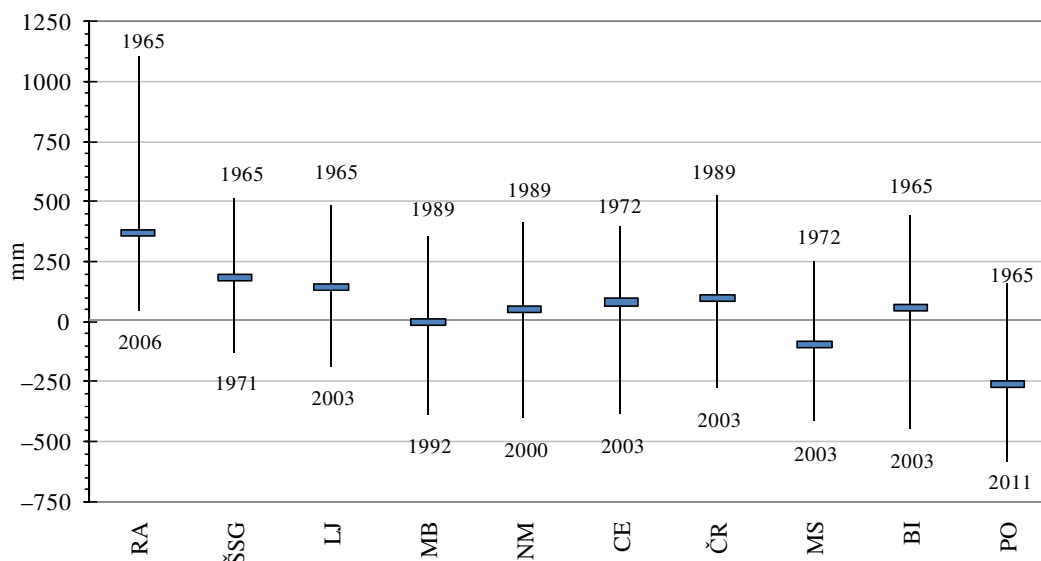
Dolgoletna meteorološka vodna bilanca v vegetacijskem obdobju ponazarja povprečno stanje vodne zaloge v površinskem sloju tal za referenčno rastlino, brez upoštevanja lastnosti tal in drugih tokov vode. Na ravni vegetacijskega obdobja je vodna bilanca lahko pozitivna, vendar se vsakih nekaj let pojavi eno ali več zaporednih let, ko je vodna bilanca na neki lokaciji negativna.

Za interpretacijo kumulativne meteorološke vodne bilance v izbranem vegetacijskem obdobju lahko ugotovljamo začetek, potek in konec kmetijske suše na različnih lokacijah. Dolgoletni nizi podatkov o meteorološki vodni bilanci omogočajo, da s pomočjo statističnih metod prek statističnih pragov ugotovimo tudi jakost suše. Na osnovi meteorološke vodne bilance lahko iščemo preučevanemu letu analogna leta in tako na osnovi preteklega razvoja suše tudi predvidevamo njen prihodnji potek. Primer: suša leta 2003 se je začela že zgodaj spomladi in razvoj suše je bil podoben začetku suše v letu 2012. Na ta način je bilo možno sklepanje oziroma priprava prvih ocen poškodovanosti rastlin v letu 2012.

Že osnovna vodna bilanca za obdobje 1961–2012 na izbranih lokacijah kaže, da je povprečna meteorološka vodna bilanca v vegetacijskem obdobju na dveh od desetih lokacij, v Murski Soboti (–94,0 mm) in Portorožu (–257,7 mm), negativna. V nadaljevanju bomo za negativno vodno bilanco uporabljali tudi izraz primanjkljaj vode. V sušnih letih se zadeve zato še drastično poslabšajo. To pomeni, da je delež padavin manjši od deleža izhlapele vode iz referenčne rastline. Stanje je z vidika kmetijskih rastlin izrazito neugodno, saj se primanjkljaji vode pojavljajo ravno v fenofazah rasti, ko rastline potrebujejo največ vode. Tudi trendi vodne bilance so izrazito neugodni.

S kumulativno vodno bilanco v izbranem obdobju lahko ugotovljamo razmere na različnih lokacijah in primerjamo med seboj sušna leta. Prav tako je lahko v nekaterih letih vegetacijska meteorološka bilanca izjemno pozitivna; vegetacijsko obdobje je torej zelo namočeno, kar kaže tudi razpon meteorološke vodne bilance na sliki 44.

Razvidno je, da je vodna bilanca najslabša leta 2003 v Ljubljani, Celju, Črnomlju, Murski Soboti in Biljah, leta 2006 v Ratečah, leta 1971 v Šmartnem pri Slovenj Gradcu. V Mariboru je leto z največjim primanjkljajem vode 1992 in v Portorožu 2011. Najbolj mokra leta so 1965, 1989 in 1972.



Slika 44: Povprečna, maksimalna in minimalna meteorološka vodna bilanca (mm) v vegetacijskem obdobju za izbrane meteorološke postaje v obdobju 1961–2012.

Figure 44: Average, maximum and minimum meteorological water balance (mm) in the vegetation period for chosen meteorological stations in the period 1961–2012.

V nadaljevanju bomo pri modeliranju obravnavali vodno bilanco tal v območju koreninskega sistema, ki je pomembna za oskrbo kmetijskih rastlin.

3.1.3 Podatki agronomskega arhiva za obravnavane lokacije

3.1.3.1 Podatki fenološkega arhiva

Pri analizi smo izračune vodne bilance vezali na fenološki razvoj izbranih rastlin: pšenica, koroza in trava, ki se razlikujejo po obdobjih fenološkega razvoja. Podatki so pridobljeni iz mreže fenološkega monitoringa ARSO (Fenološki podatki, 2013). Opazovalci na fenoloških postajah opazujejo pojave razvojnih fenoloških faz izbranih samoniklih in kmetijskih rastlin (posevki, sadno drevje in vinska trta) po navodilih (Zrnec, 2006). Mreža je preredka, da bi podatki lahko zadoščali za natančnejšo analizo širšega prostora; sistem zbiranja podatkov v osnovi ni namenjen modeliranju vodne bilance (manjše število opazovanih faz), pač pa spremljanju vpliva vremena na razvoj rastlin. Večji poudarek je na negojenih rastlinah, saj tam ni vpliva tehnologije in sortimenta.

Odločili smo se za tri predstavnike rastlin, s pomočjo katerih smo analizirali vpliv različnih obdobj (pomlad, poletje) kmetijske suše na njihov razvoj oziroma vodno oskrbo (preglednica 17, slika 45). Pšenico smo izbrali, da bi ugotovili spremembe spomladanske kmetijske suše, in koroza kot tipično predstavnico poletnih poljščin in kazalec poletne kmetijske suše. Tretja izbrana rastlina je trava. Ranljivost travinja za pomanjkanje vode v tleh je zadosten razlog, da pripisujemo velik pomen spremljanju vodne bilance travinja kot

osnove za spremljanje vodne bilance drugih kmetijskih kultur, saj njihov razvojni cikel pokriva celotno vegetacijsko obdobje, predvsem pri 4-kosnih travnikih.

Preglednica 17: Fenološki standardi za sledenje kmetijske suše (Fenološki podatki, 2013).
Table 17: Phenological standards for detection of agricultural drought (Fenološki podatki, 2013).

Rastlina	Kazalec	Dolžina vegetacijskega obdobja
pšenica (<i>Triticum aestivum</i>)	kazalec spomladanske suše	fenološki razvoj v tekočem letu od 1. deкаде marca do 2. deкаде julija (prezimovanje ni upoštevano)
koruza (<i>Zea mays</i>)	kazalec poletne suše	od 3. deкаде aprila do 1. deкаде oktobra
trava (kombinacija štirih vrst trav: travniški lisičji rep (<i>Alopecurus pratensis</i>), travniška latovka (<i>Poa pratensis</i>), pasja trava (<i>Dactylis glomerata</i>) in visoka pahovka (<i>Arrhenatherum elatius</i>)).	kazalec suše v vegetacijskem obdobju	od 1. deкаде aprila do 2. deкаде septembra

Prav tako izračun referenčnega izhlapevanja po Penman-Monteithovi metodi velja za 12 cm visoko travo, nato pa sledijo preračuni za druge rastline prek koeficientov rastline.



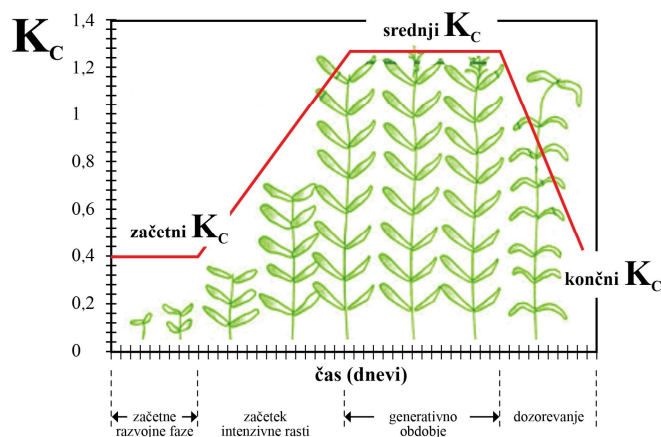
Slika 45: Latenje travniške latovke (a) in pasje trave (b) ter cvetenje lisičjega repa (c), ki so najbolj pogoste predstavnice slovenskih travniških habitatov (Fenološki podatki, 2013).

Figure 45: Heading of common meadow-grass (a) and orchard-grass (b) and flowering of meadow fox-tail (c), which are the most common representatives of Slovene meadows habitats (Fenološki podatki, 2013).

Pri ugotavljanju vodne bilance kmetijskih rastlin so bili uporabljeni fenološki podatki o rastlinah, zbrani v fenološkem arhivu ARSO za obdobje 1961–2013 (Fenološki podatki, 2013). Za celo vegetacijsko obdobje smo koeficiente interpolirali. Shematični prikaz krivulje koeficienta rastline je na sliki 46.

Iz arhiva smo uporabili tudi podatke o globini koreninskega sistema izbranih kmetijskih rastlin ter koeficiente kmetijskih rastlin, ki so določeni za vsako rastlino posebej. Osnovni

koeficienti kmetijskih rastlin – začetni, srednji in končni – so povzeti po literaturi (Allen in sod., 1998; Doorenbos in Pruitt, 1977) in prilagojeni datumom aktualnih fenoloških faz. Fenološki podatki uporabljeni v študiji so prikazani v preglednici 18.



Slika 46: Posplošena krivulja koeficienta rastline po enojnem pristopu (prirejeno po Allen in sod., 1998).
Figure 46: Generalized crop coefficient curve for the single crop coefficient approach (adapted after Allen et al., 1998).

Fenološki podatki so izraženi v datumih fenoloških faz s prilegajočimi se koeficienti rastlin (K_c) za vsako razvojno fazo in z globino korenin (D) od začetne faze do popolnega razvoja. Fenološki podatki so v modelu vodne bilance obravnavani glede na tip rastline. V modelu IRRFIB je upoštevanih 10 fenoloških faz za koruzo, 9 fenoloških faz za travo in 7 fenoloških faz za ozimno pšenico (preglednica 18). V analizi je uporabljena poenostavitev za posamezne rastline; dejanski podatek s terena lahko spremeni rezultate izračuna. Prek koeficienta rastline (K_c) model vpeljuje specifičnost rastline v evapotranspiracijski model.

Dejanska evapotranspiracija ali evapotranspiracija rastline pod standardnimi pogoji

Allen in sod. (1998) navajajo, da evapotranspiracija pod standardnimi pogoji pomeni produkt referenčne evapotranspiracije in koeficienta rastline in se izračuna kot:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad \dots (5)$$

kjer so: ET_0 ... referenčna evapotranspiracija,
 K_c ... koeficient rastline,
 ET_c ... potencialna evapotranspiracija rastline.

Koeficient rastline (K_c) je razmerje med evapotranspiracijo izbrane rastline (ET_c) in referenčno evapotranspiracijo (ET_0). Koeficient rastline pomeni vpliv štirih glavnih lastnosti, po katerih se proučevana rastlina loči od referenčne rastline – višina rastline, albedo, površinska upornost in evaporacija iz tal; k_c za izbrano rastlino se med vegetacijskim obdobjem spreminja (Allen in sod., 1998). Koeficienti rastline, od vznika do

pridelka, določajo rastno krivuljo rastline. Produkt referenčne evapotranspiracije in koeficienta rastline pomeni oceno rabe vode za posamezno rastlino.

Pri analizi porabe vode ali primanjkljaja vode pri kmetijskih rastlinah je pomembna dejanska poraba posamezne kmetijske rastline, ki je povezana z vrsto rastline in tipom tal. Pojem evapotranspiracije rastline pod standardnimi pogoji pomeni evapotranspiracijo za izbrano rastlino (Allen in sod., 1998). Ta rastlina je zdrava, dobro gojena, ima zadostno količino vode glede na podnebne razmere in uspeva na večjih površinah. Količino vode, ki se izgubi z izhlapevanjem, z drugimi besedami imenujemo potreba rastline po vodi.

Evapotranspiracija ni odvisna le od podnebnih dejavnikov, temveč tudi od vrste rastline oziroma od stopnje njenega razvoja. Ob upoštevanju teh dejstev lahko izračunamo potencialno evapotranspiracijo rastline (ET_c) (Pintar, 2006). Dejanska evapotranspiracija je količina vode, ki preide v atmosfero s površine tal in rastlin pri naravni količini vlage v tleh (Brilly in Šraj, 2005; Turk, 1996).

Evapotranspiracijo in globinski odtok (perkolacijo) lahko merimo z lizimetri. S tema spremenljivkama spremljamo vodno bilanco talnega profila ter ugotavljamo potrebe po namakanju in prispevke k zalogam podzemne vode (Pintar, 2003). V Sloveniji se lizimetri uporabljajo za različne raziskovalne namene in okoljske študije (Pintar, 2003; Zupanc in sod., 2012; Kopač, 2012), pri čemer je oblika lizimetra prilagojena potrebam študij in zmožnostim izvedbe. Za zdaj ni skupne baze, kjer bi se zbirali podatki, zabeleženi na teh lizimetrovskih postajah.

Podatki o globini korenin obravnavanih kmetijskih rastlin, ki so v arhivu ARSO, so bili pridobljeni z meritvami v sklopu projekta Strategija upravljanja voda za zmanjšanje pomanjkanja vode v Alpah (Alp Water Scarce) (Sušnik in sod., 2011). V povprečju se rastline z vodo največ oskrbujejo iz prve četrtine globine korenin, kjer dobijo do 50 % vse potrebne vode. Iz druge četrtine dobijo 30 %, iz tretje in četrte četrtine korenin pa 20 % in 10 % (Pintar, 2006).

Za vsa obravnavana leta v obdobju 1961–2012 nismo imeli na voljo sistematičnih realnih fenoloških podatkov. Da bi se vrednostim realnih datumov fenoloških faz čim bolj približali, smo fenološka povprečja, ki smo jim namenili vlogo tako imenovanih fenoloških standardov, izračunali iz dolgoletnih povprečij fenoloških podatkov, zbranih v bazi fenoloških podatkov državnega fenološkega monitoringa ARSO.

Iz različnih razlogov baza fenoloških podatkov ne zagotavlja popolnih nizov podatkov znotraj izbranega obdobja, zato je bila potrebna presoja za izbiro nizov, s katerimi so fenološki podatki dovolj reprezentativni za širši pridelovalni prostor. Iz tega razloga dolgoletna povprečja temeljijo na podatkovnih nizih za različno dolga obdobja in različno število postaj. Kriteriji za pojav fenoloških faz enega vegetacijskega kroga so določeni v navodilih za fenološka opazovanja (Zrnec, 2006). Znotraj časovnega intervala se pravila za opazovanje niso spreminjala, kar na ravni obravnavanih let zagotavlja popolno primerljivost podatkov.

Tako je za izračune in modeliranje vodne bilance pomembno tudi aktualno spremljanje fenološkega razvoja rastlin in upoštevanje le-tega. A ne le da se fenološki razvoj razlikuje iz leta v leto; značilno se na primer kaže tudi trend zgodnejšega nastopa nekaterih spomladanskih faz kot odziv na višjo povprečno temperaturo zraka, kar pomeni hitrejše doseganje potrebnih temperaturnih vsot.

Dodatno medletno spremenljivost pa vnaša tudi variabilnost vode v tleh, tako primanjkljaj kot tudi presežek vode. Najbolj izrazit primer moče je bilo poletje v severovzhodni Sloveniji leta 2009, ki je izjemno prizadela pridelek pšenice (Sušnik in Pogačar, 2010). Moča sproži zmanjšanje transpiracije, zato lahko pride do kratkotrajnega venenja ali celo odmiranja korenin. Zmanjšana transpiracija povzroči manjšo preskrbo listov s hranili (Sušnik in Pogačar, 2010). Zaradi razmočenih ali presušnih in vročih tal je pogosto onemogočeno ali oteženo tudi delo z mehanizacijo, zato se lahko na primer zamakne setev, košnja, žetev itd.



Slika 47: Ozimna pšenica tik pred cvetenjem. V obdobju od klasenja do mlečne zrelosti ima visok koeficient rastline (Fenološki podatki, 2013).

Figure 47: Winter wheat before flowering. In the period from heading to milk ripening is crop coefficient the highest (Fenološki podatki, 2013).

Vpliv suše na fenološki razvoj je izrazit, a učinki niso enaki v vseh razvojnih fazah. Pri mnogih vrstah travinja se na primer lahko kaže pomembno zaostajanje cvetenja zaradi težav s sušnim stresom (Donatelli in sod., 1992). Zamika fenološkega razvoja v konkretnem letu nismo upoštevali. Prav tako nismo upoštevali začetne zaloge vode v tleh, ki prav tako vpliva na začetni razvoj kmetijskih rastlin.

Fenološki standard za travo smo izračunali iz povprečja fenoloških datumov za fenološki fazi klasenje in cvetenje za vse fenološke postaje, in sicer za pomembnejše štiri vrste trav, med katerimi so travniški lisičji rep, travniška latovka, pasja trava in visoka pahovka. Vse so predstavnice mešanih travniških sestojev v Sloveniji. Po pojavu faz nekoliko odstopa le travniški lisičji rep, ki obe izbrani fenološki fazi doseže prvi; druge tri vrste trav mu sledijo v razmeroma kratkih časovnih intervalih. Širok izbor 51 fenoloških postaj ARSO omogoča fenološke podatke za trave na skoraj celotnem območju Slovenije, a so podatki obeh

zaporednih faz na voljo le za razmeroma kratko obdobje 1998–2012. Pred tem je bilo do leta 1987 opazovano le cvetenje, nato do leta 1997 latenje, po letu 1998 pa obe fazi. Začetek rasti trave je bil dogovorno postavljen na začetek vegetacijskega obdobja (začetek aprila); iz povprečne dolžine medfaznih obdobj do latenja in do cvetenja, ki je skrajni čas za košnjo, so bili izračunani še datumi nadaljnjih štirih odkosov, ki jih je mogoče doseči v sicer idealnih razmerah intenzivno gojenih mešanih travniških sestojev.

Pri travinju imamo po navadi več odkosov v vegetacijskem obdobju. Zato je za vsako košnjo določen nov razvojni cikel. Namesto krivulje K_c za celotno obdobje je pri travinju z večkratnim odkosom (v našem primeru 4-kraten odkos) serija krivulj za celotno obdobje. Takoj po košnji koeficient pade na 0,6 (slika 48).

Preglednica 18: Povprečni datumi nastopa faz fenoloških standardov, koeficienti rastlin in globina korenin (Fenološki podatki, 2013).

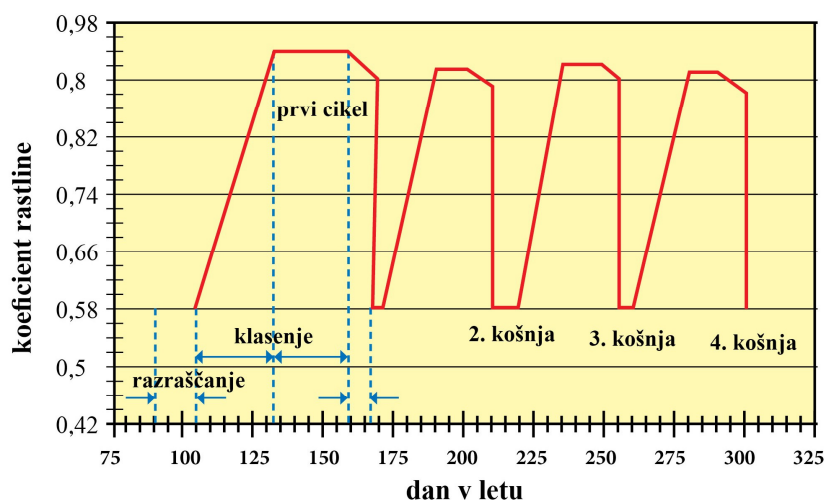
Table 18: Average date of phenological standards phases appearance, crop coefficients and root depth (Fenološki podatki, 2013).

Rastlina	Fenološka faza	Datum nastopa fenofaze	Koeficient rastline (K_c)	Globina korenin (D) [cm]
ozimna pšenica	razraščanje	10. 3.	0,3	17
ozimna pšenica	klasenje	14. 5.	1,05	18
ozimna pšenica	cvetenje	24. 5.	1,05	18
ozimna pšenica	mlečna zrelost	11. 6.	0,65	18
ozimna pšenica	voščena zrelost	28. 6.	0,65	18
ozimna pšenica	polna zrelost	7. 7.	0,4	18
ozimna pšenica	žetev	14. 7.	0,2	18
koruza	sajenje	26. 4.	0,2	10
koruza	vznik	6. 5.	0,2	10
koruza	3. list	16. 5.	0,5	20
koruza	metličenje	5. 7.	1,2	50
koruza	prašniki	11. 7.	1,2	50
koruza	svilene niti	14. 7.	1,2	50
koruza	mlečna zrelost	5. 8.	0,6	50
koruza	voščena zrelost	30. 8.	0,5	50
koruza	polna dozorelost	23. 9.	0,5	50
koruza	obiranje	6. 10.	0,5	50
trava	razraščanje	4. 4.	0,5	30
trava	1. klasenje	4. 5.	0,9	30
trava	1. košnja	13. 5.	0,6	30
trava	2. klasenje	13. 6.	0,8	30
trava	2. košnja	23. 6.	0,6	30
trava	3. klasenje	24. 7.	0,8	30
trava	3. košnja	3. 8.	0,6	30
trava	4. klasenje	3. 9.	0,8	30
trava	4. košnja	13. 9.	0,5	30

Nezanemarljiv je tudi človeški faktor, ki je v skladu s tehnologijo pridelave vezan na pojav začetnih faz. Iz teh razlogov je bil za računanje fenoloških standardov za poljščine izbran

le niz fenoloških podatkov za postajo Murska Sobota v obdobju 1998–2012. Uporabili smo le podatke za tekoče vegetacijsko obdobje ozimne pšenice in tako zanemarili vpliv prezimovalnih razmer. Zavedamo se, da je v posameznih letih, kot je bilo leto 2012, že začetni spomladanski razvoj lahko moten zaradi pomanjkanja vode.

Pri računanju standardnih datumov za poljščine smo bili pri sestavljanju enotnih podatkovnih nizov bistveno bolj omejeni. Kakovosten standarden podatek na osnovi enotnega niza podatkov omejujejo številne sorte, ki se glede na širok sortni izbor in tehnologijo pridelovanja hitro spreminjajo, še posebno v novejšem obdobju.



Slika 48: Vegetacijsko obdobje za travinje s štirimi odkosi (prirejeno po Allen in sod., 1998).
Figure 48: Vegetation period for forage crops with four cuttings (adapted after Allen et al., 1998).



Slika 49: Metličenje in svilanje – začetek obdobja največje porabe vode pri koruzi (foto: L. Rozman, 2013).
Figure 49: Tasseling and silking of maize – the beginning of maximal water use by maize (photo: L. Rozman, 2013).

Dinamika fenološkega razvoja ne odstopa bistveno od drugih pridelovalnih območij, kar zagotavlja dober standarden fenološki podatek, ki je reprezentativen za večino pridelovalnih območij v Sloveniji, razen na Obali in Goriškem, kjer je pri interpretaciji

rezultatov morebitna odstopanja mogoče razložiti z dejstvom, da je fenološki razvoj v posameznih letih tudi v izjemnih vremenskih okoliščinah lahko zgodnejši kot drugod v Sloveniji.

Podobno so bili izbrani podatkovni nizi za fenološke standarde drugih poljščin. Sortni variabilnosti smo se izognili tudi pri fenološkem standardu za koruzo, kjer smo v skupino podatkovnega niza uvrstili koruzo različnih sort, vendar vse v zrelostnem razredu FAO od 300 do 400.

3.1.3.2 Talne karakteristike

3.1.3.2.1 Vodnozadrževalne lastnosti tal

Pri ugotavljanju vodne bilance kmetijskih rastlin imajo poleg fenološkega razvoja rastline in meteoroloških spremenljivk ključno vlogo tudi vodnozadrževalne lastnosti tal. Pri analizi smo uporabili nekatere podatke meritev, ki so bile opravljene na meteoroloških postajah ARSO. Ker na vseh desetih obravnavanih lokacijah še niso bile izvedene meritve vodnozadrževalnih lastnosti tal in ker pogostokrat lokacija merilnega mesta meteorološke postaje ARSO ni reprezentativna za izvajanje tovrstnih meritev, smo se odločili le za tri talne tipe (tip tal s slabo, srednje dobro in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo), ki smo jih obravnavali v naši študiji. Vzrok je v tem, da so merilna mesta meteoroloških postaj v prvi vrsti namenjena opazovanju vremena in so pri izbiri lokacije upoštevana mednarodna pravila za meteorološko postajo. Lastnosti tal na meteorološki postaji niso med kriteriji.

V preglednici 19 so opisane glavne lastnosti privzetih tal. Pri različnih tipih tal smo iskali povezanost kazalca kmetijske suše z zmanjševanjem vodnega rezervoarja treh tipov tal tal ob pojavu suše.



Slika 50: Talna profila na lokacijah Murska Sobota in Bilje (Pintar in sod., 2010).

Figure 50: Soil profiles on the locations of Murska Sobota and Bilje (Pintar et al., 2010).

Pri delu smo zato izhajali iz predpostavke, da se suša najhitreje odraža na tleh s slabo vodnozadrževalno kapaciteto. Zato smo se odločili za tla na postaji Murska Sobota, ki po ocenah Pintarjeve in sod. (2010) slabo zadržujejo vodo in so zelo občutljiva za sušo. Spodnji sloj tal ima nekoliko širši interval rastlinam dostopne vode, vendar so tla kljub temu občutljiva za sušo. Voda je za glavne rastlinske vrste slabo dostopna. V nadaljevanju smo jih poimenovali kar tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo.

Meritve so bile izvedene v laboratorijih Biotehniške fakultete, več o metodologiji meritev je dostopno v Pintar in sod. (2010) in Grčman in sod. (2009).

Pintar in sod. (2010) so vodnozadrževalne lastnosti vzorcev tal določali po mednarodnemu ISO standardu s pomočjo Richardove posode, ki je tlačni ekstraktor z dovodom za tlak. Določene so bile količine zadržane vode v vzorcih tal pri tenziji 2,0; 2,5; 2,7; 2,9; 3,0; 3,7; 4,0 in 4,2 pF oziroma pri nadtlakah 33, 50, 80, 100, 500, 1000 in 1500 kPa.

Preglednica 19: Tipi tal po vodnozadrževalni sposobnosti, uporabljeni pri izračunu kazalca kmetijske suše (Grčman in sod., 2009; Pintar in sod., 2010).

Table 19: Soil types due to water holding capacity used by agricultural drought indicator calculations (Grčman et al., 2009; Pintar et al., 2010).

Lokacije	Talni horizont	Globina plasti tal [cm]	TV [vol. % vode]	PK [vol. % vode]	RDV [vol. % vode]
Murska Sobota (S)	A	0–20	8,6	16,6	8,0
	A1	20–38	9,0	17,2	8,2
	II	38–50	6,1	18,4	12,3
Bilje (SD)	A	0–10	15,9	30,3	14,4
	A1	10–37	12,2	22,0	9,8
	B	37–60	15,6	31,0	15,4
Spuhlja (D)	Ap	0–28	13,7	45,3	31,6
	AB	28–35	15,2	38,3	23,2
	CBA	35–58	19,8	42,8	23,1

* **RDV – rastlini dostopna voda**

S – tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo

SD – tla s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo

D – tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo

Grčman in sod. (2009) pa so vodnozadrževalne lastnosti določevali na porušeni vzorcih. V preglednici 19 so rezultati meritev posameznih profilov lokacij.

V analizi so vodnozadrževalne lastnosti tal izražene v poljski kapaciteti (PK) in točki venenja (TV), ki sta potrebni za določitev velikosti talnega vodnega zbiralnika v območju korenin t. i. rastlini dostopne vode (RDV). Tla so v analizi modelirana kot ena plast, pri čemer zanemarimo kapilarni efekt.



Slika 51: Talni profil na lokaciji Spuhlja (foto: T. Kralj) (Grčman in sod., 2009).

Figure 51: Soil profile on the location Spuhlja (photo: T. Kralj) (Grčman et al., 2009).

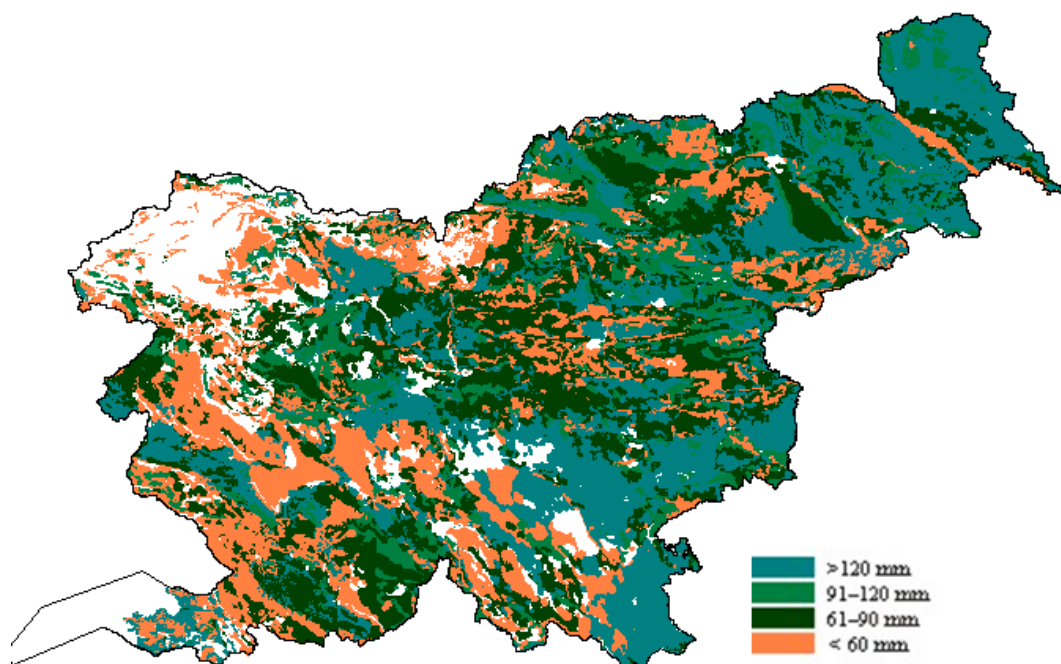
Za primerjavo odziva kazalca kmetijske suše na različna tla smo uporabili še dva tipa tal z dejanskimi meritvami vodnozadrževalnih sposobnosti tal. Za tla s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo smo uporabili meritve na lokaciji Bilje. Kot tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo smo privzeli distrična rjava tla, na nekarbonatnem produ, antropogena, plitva tla na lokaciji Spuhlja.

3.1.3.2.2 Efektivna poljska kapaciteta ali rastlinam dostopna voda

Razvrščanje tal smo povzeli po poročilu, ki ga je pripravil Center za pedologijo in varstvo okolja pri Biotehniški fakulteti na Oddelku za agronomijo za Komisijo za odpravo posledic škode v kmetijstvu zaradi naravnih nesreč v letu 2003. Tla so razvrstili v naslednje razrede: < 30 mm (1), 31–80 mm (2), 81–150 (3), 151–230 mm (4), > 230 mm (5) (Kapaciteta tal ..., 2004).

Tal s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo – po omenjeni razporeditvi razred 1 – je na vseh kmetijskih zemljiščih v rabi (411.991,6 ha) v Sloveniji zelo malo. V bazi Grafičnih enot rabe zemljišča kmetijskega gospodarstva – GERK (Register kmetijskih ..., 2010) je takih enot skupno 6422,2 ha (1,5 %), zato smo kot tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo uporabili tla lokacije Murska Sobota, ki po njihovi razdelitvi spada v spodnji razred 2.

Tal s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo, ki po omenjeni razporeditvi spadajo v zgornji del razreda 2, je v Sloveniji največ (skupna površina grafičnih enot rabe zemljišča kmetijskega gospodarstva z izbrano rabo v Sloveniji je 402.404,7 ha ali 97,7 %). Kot tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo smo uporabili tla v razredu 4. Tal z razredom 5 po njihovi razdelitvi je namreč v Sloveniji izjemno malo (3164,5 ha ali 0,76 %).



Slika 52: Digitalna karta efektivne poljske kapacitete tal (Digitalna karta ..., 2012), prirejena na štiri razrede (mm/m tal).

Figure 52: Digital map of effective soil water holding capacity (Digitalna karta ..., 2012), modified in four classes (mm/m of soil).

Zato smo pri študiji uporabili razdelitev efektivne poljske kapacitete (EPK) v tri skupine, in sicer: < 60 mm (S), 61–120 mm (SD) in > 120 mm (D). Na karti (slika 52) smo razred 2 razdelili še na dva razreda, da smo ugotovili prostorsko porazdelitev ožjih razredov po 30 mm. Na osnovi teh razredov smo ocenjevali vrednosti kazalca na kmetijskih zemljiščih, in ne na celotnem prostoru. Metoda prostorske interpolacije kazalca je opisana v poglavju 3.2.3.4.

3.1.3.2.3 Raba tal

Za prostorski prikaz kazalca kmetijske suše smo uporabili podatke o rabi tal. Za osnovne prostorske enote je bila uporabljena baza GERK, ki je osnovna enota strnjene površine kmetijskega zemljišča z enako dejansko rabo in se uporablja za prijavo zemljišč v register kmetijskih gospodarstev (144. člen Zakona o kmetijstvu, ZKme – 1, Ur. l. RS, št. 45/08) (Pravilnik o evidenci ..., 2008). Uporaba baze GERK (Register kmetijskih ..., 2010) je bila torej nujna, če smo želeli čim bolj realen prostorski prikaz kazalca, katerega vrednost je povezana z rabo zemljišča.

Pri tem smo ugotovili, da je v Sloveniji okoli 412.000 ha vseh grafičnih enot rabe kmetijskega gospodarstva (GERK), ki imajo določen podatek o efektivni poljski kapaciteti (kar je okoli 87 % vseh GERK-ov); cca 13 % pa jih ima središčno točko tam, kjer na pedološki karti ni veljavnega podatka o EPK.

Od teh cca 412.000 ha jih okoli 96 % odpade na tri rabe: njive (šifra 1100), travniki (šifra 1300) in vinogradi (šifra 1211) na osnovi šifranta v prilogi registra (Pravilnik o evidenci ..., 2008). Zato smo se v nadaljevanju pri prostorski interpretaciji podatkov odločili za obravnavo dveh najbolj zastopanih rab tal, tj. njiv in trajnih travnikov. Za verifikacijo kazalca s škodami in pridelkom smo uporabili tudi podatke o deležu tal v izbranih treh razredih ter velikost kmetijskih zemljišč v 20-kilometrskem vplivnem območju okrog izbrane meteorološke postaje (preglednica 20).

Preglednica 20: Skupna površina grafičnih enot rabe kmetijskega gospodarstva (GERK) z izbrano rabo glede na tri razrede talnih tipov z različno efektivno poljsko kapaciteto (mm) na razdalji 20 km na izbranih lokacijah (Digitalna karta ..., 2012).

Table 20: Share of different graphical units of agricultural land (in Slovene: GERK) according to three classes of soil types with different effective field capacity (mm) in the radius of 20 km at chosen locations (Digitalna karta ..., 2012).

Meteorološka postaja	Skupna površina [ha]	Površina [ha] (Delež [%])		
		Njiva/Travnik		
		EPK < 60 mm	60 mm <= EPK >= 120 mm	EPK > 120 mm
Rateče	12,7	9,9 (77,8)	1,1 (9,1)	1,6 (13,1)
Šmartno pri S. G.	3774,8	124,0 (3,3)	2492,6 (66,0)	1158,1 (30,6)
Ljubljana	12.552,2	848,7 (6,8)	7464,7 (59,4)	4238,7 (33,7)
Maribor	16.990,6	487,4 (2,9)	10.289,9 (60,6)	6213,1 (36,5)
Novo mesto	8704,0	482,5 (5,5)	1648,2 (18,9)	6573,3 (75,0)
Celje	6301,4	199,0 (3,2)	4146,0 (65,8)	1956,3 (31,0)
Črnomelj	4218,1	30,7 (0,7)	189,1 (4,4)	3998,2 (94,8)
Murska Sobota	33.577,5	1057,7 (3,1)	13.097,8 (39,0)	19.421,9 (57,8)
Bilje	1238,8	23,0 (1,9)	316,0 (25,5)	899,7 (72,6)
Portorož	603,9	116,8 (19,3)	33,5 (5,6)	453,5 (75,1)
Slovenija	140.679,9	7888,0 (5,6)	63.246,3 (44,9)	69.545,5 (49,4)

EPK – efektivna poljska kapaciteta

3.1.3.2.4 Meritve vode v tleh

Pri iskanju povezav med dejansko meritvijo vsebnosti vode v tleh in modelirano vrednostjo porabe vode bi potrebovali čim več meritev vode v tleh. Izračuni in modeliranje sami po sebi brez možnosti evaluacije z izmerjenimi vrednostmi nimajo nobene dodane vrednosti.

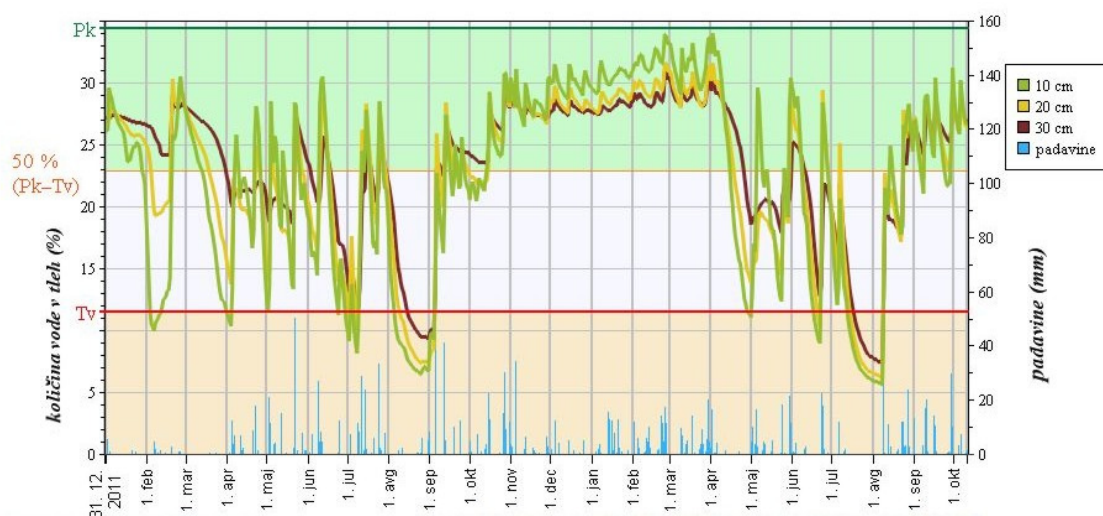
Na ARSO obstaja mreža merilnikov vode v tleh; operativno so vključeni v analize šele po letu 2009. Merilniki so nameščeni na meteoroloških postajah ARSO. Merilnik TRIME®-EZ (IMKO, 2004) deluje na osnovi reflektometrije (TDR – Time Domain Reflectometry), ki meri dielektrično konstanto snovi (slika 53). Dielektrična konstanta je kompleksna lastnost, ki ponazarja vlažnost tal. Kovinska viličasta sonda, dolga 16 cm, prenaša signal prek visokofrekvenčnih pulzov, ki se širijo v smeri valovanja in ustvarjajo elektromagnetno polje okrog nje. Na koncu se pulz vrne nazaj do vira. Čas prenosa in dielektrična konstanta sta odvisna od vsebnosti vode v tleh. Vsebnost vode se izračuna znotraj sonde. Izračun je dostopen kot standarden analogen izhodni podatek (v volumskih odstotkih). Meritve se izvajajo na globinah 10, 20 in 30 cm. Meritve količine vode v tleh s TDR so se tudi v Sloveniji izkazale med bolj zanesljivimi (Adam, 2004).



Slika 53: Merilnik za merjenje vsebnosti vode v tleh TRIME®-EZ (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).
Figure 53: Soil water content sensor measurements TRIME®-EZ (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).

Grafični prikaz meritev vode v tleh je zelo pregleden in nam omogoča hiter vpogled v dejansko stanje tal na posamezni lokaciji (slika 54). Na žalost so tla zelo raznolika, zato iz specifične meritve težko govorimo o splošnem stanju tal na širšem prostoru.

Na meteorološki postaji je negovana travnata površina, zato smo uporabili meritve za verifikacijo modela IRRFIB za travo na postaji Murska Sobota, kjer imamo tudi opravljene pedološke meritve.



Slika 54: Meritve vsebnosti vode v tleh (vol. %) in padavin (mm) v Murski Soboti v obdobju 2012–2013 (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).
Figure 54: Soil water content (vol. %) and precipitation (mm) in Murska Sobota in the period 2012–2013 (Dokumentacija meteorološke ..., 2013).

3.1.3.3 Podatki o pridelkih in škodah zaradi kmetijske suše

Za prikaz lastnosti dekadnega indeksa sušnega stresa (DISS) v prostoru in primerjavo z ocenjeno škodo sta bila zaradi dostopnih evidenc izbrana leto 2006 in kultura koruza. Za to so potrebni podatki o gojenju koruze na kmetijskih zemljiščih v letu 2006. Najpopolnejši vir podatkov je evidenca zbirnih vlog za uveljavljanje ukrepov kmetijske politike (Evidenca zbirnih..., 2012), za katero skrbi Agencija RS za kmetijske trge in razvoj podeželja (ARSKTRP); evidenca vsebuje podatke o kulturi (po veljavnem šifrantu; v našem primeru smo upoštevali vloge za koruzo za zrnje in za silažo) in natančne podatke o legi in površini kmetijskega zemljišča. Za interpretacijo DISS v posameznih letih smo uporabili Arhiv suš, ki ga vodi ARSO (Popis suš ..., 2013) in je večinoma nastal kot povzetek zapisov v agrometeoroloških poročilih v obdobju 1961–2013.

Podatke o škodi smo pridobili od Uprave RS za zaščito in reševanje, ki skrbi za sistem za ocenjevanje škode AJDA (Sistem za ocenjevanje ..., 2012), in iz Programa odprave posledic škode v kmetijstvu po naravnih nesrečah v letu 2006 MKO (Program odprave ..., 2007). Podatki o škodah so pridobljeni iz sistema AJDA za leto 2006 in so dodani podatkom iz evidence vlog ARSKTRP glede na šifro evidence GERK. Izdelavo kompleksnejšega kazalca kmetijske suše otežuje dejstvo, da so dosedanje izkušnje pri ocenjevanju prizadetosti oziroma poškodovanosti kmetijskih rastlin zaradi sušnega stresa dokaj problematične. Problem je zelo kompleksen, zahteven in odvisen od več dejavnikov. Faktorji, ki vplivajo na določitev stopnje kmetijske suše in poškodovanosti rastlin, so različni in se spreminjajo iz leta v leto.

Za nekaj izbranih lokacij smo za verifikacijo kazalca uporabili tudi realne podatke o pridelku. En del podatkov smo pridobili od Statističnega urada Republike Slovenije (Pridelava poljščin, 2013), drug del pa iz študije Ceglar (2011). Zavedamo se, da podatki o pridelkih na uporabljenih lokacijah vedno ne odražajo stanja na preučevani lokaciji.

3.2 METODE

3.2.1 Model IRRFIB

3.2.1.1 Razvoj modela in njegova funkcionalnost

Agrometeorološki model IRRFIB je bil razvit na Oddelku za agrometeorologijo na ARSO, sprva za ocene potreb po namakanju (Matajč, 1994; 1995; 2001; 2002a; 2002b; Kajfež Bogataj in Sušnik, 2003; Sušnik in Matajč, 2005; Sušnik in sod., 2006). IRRFIB izračunava vodno bilanco glede na metodologijo po Allen in sod. (1998) in omogoča izračun različnih namakanj ter ne upošteva omejitev oskrbe z vodo pri namakanju ali podatkov o prispevku podzemne vode.

Kljub temu da smo v začetku razvoja z uporabo povprečnih vrednosti ohranjali število vhodnih spremenljivk modela čim manjše, je v zadnjih letih postalo jasno, da variabilnost okoljskih spremenljivk, ki vplivajo na rast rastlin v času in prostoru, zahteva čim bolj natančen podatek. Žal težava nastopi pri pridobivanju dolgoletnih podatkov fenološkega razvoja rastlin, prav tako je težko pridobiti podatke o koeficientih rastline in dejanski globini korenin. To lahko včasih privede do napačne interpretacije rezultatov.

IRRFIB je bil uporabljen kot orodje za analize porabe vode pri kmetijskih rastlinah, medletne variabilnosti pridelka in potreb rastlin po namakanju na različnih tleh ter za številne agrohidrološke razmere (Pintar, 2009) in v študijah vpliva podnebnih sprememb in variabilnosti suš ter vodnega primanjkljaja (Sušnik, 2003g; Sušnik in Kurnik, 2004; Sušnik in sod., 2007; Sušnik, 2007d; Sušnik in Matajč, 2008; Habjan, 2008; Sušnik in Gregorič, 2008).

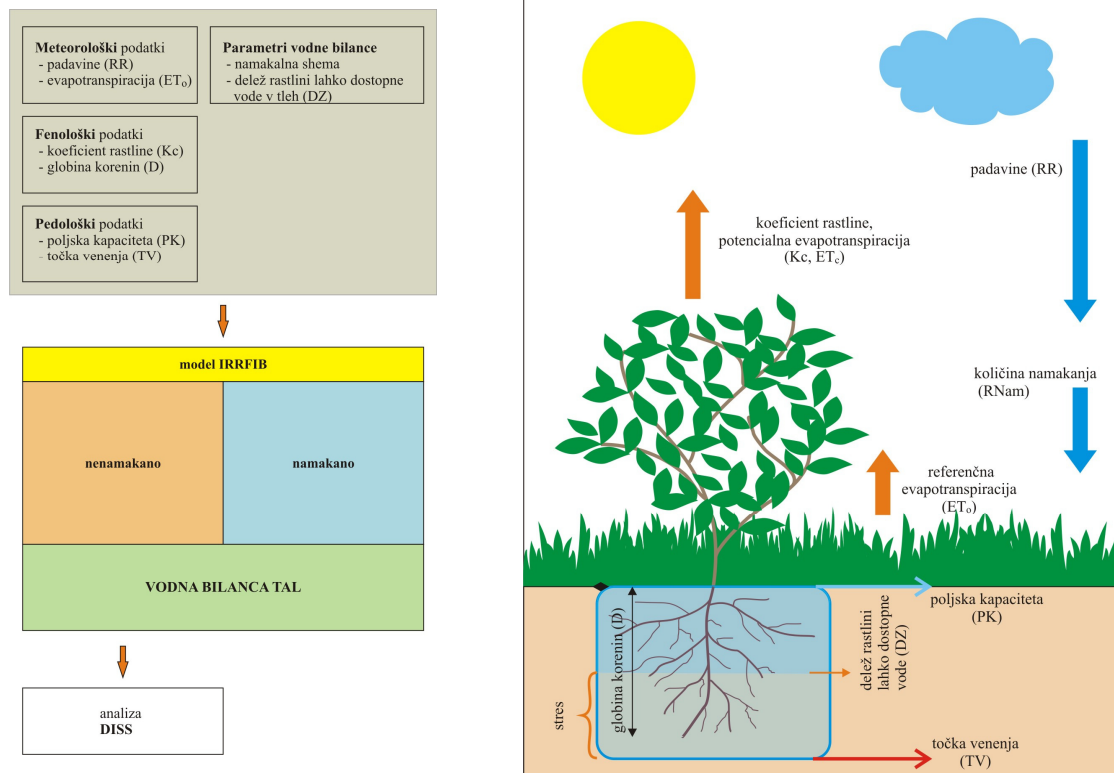
Model je bil testiran tudi v drugih okoljih v sklopu testiranja namakalnih modelov v Evropi (Sušnik in Matajč, 2005). Natančnejši opis modela je dostopen tudi v Sušnik (2006). Model IRRFIB združuje dva različna modula: modul za namakane kmetijske rastline ter modul za nenamakane rastline (slika 55). Obema moduloma sta skupna postopek za izračun referenčne evapotranspiracije po Penman-Monteithovi metodi in model, ki simulira vodno bilanco.

Modul za namakane rastline ima naslednje možnosti simulacij za različne kombinacije tla-rastlina-lokacija: izračun osnovnih členov vodne bilance (vsota dnevnih padavin, vsota dnevne evapotranspiracije, vsota potencialne evapotranspiracije), shema z uporabo različnih tipov namakanja, shema brez namakanja, analiza namakalnih potreb z upoštevanjem časovnih nizov vremenskih podatkov.

Od leta 1994 je bil model trikrat korigiran; zadnja verzija modela 03.1 je bila leta 2009 uporabljena pri pilotnem popisu količin vode za namakanje leta 2009 (Pintar, 2009). Kadar v prognostični namakalni model vključimo napovedane vremenske spremenljivke za prihodnje obdobje, nam prikaže potrebne količine vode za namakanje izbrane kmetijske rastline za 3 do 7 dni vnaprej (Sušnik in sod., 2011). Model se tako že od leta 2009 dalje v Podravju uporablja za napoved namakanja vrtnin. Rezultati modelskih vrednotenj za namakanje so pomembni za namakalce, so pa tudi primerne podlage pri načrtovanju vodnih zajetij za namakalne sisteme in za ekspertne študije vrednotenja sušnih razmer.

Ker večjega dela kmetijskih rastlin v Sloveniji ne namakajo, se je po letu 2009 razvoj modela usmeril v sledenje vodne bilance nenamakanih rastlin ter ugotavljanje količinskega primanjkljaja vode za kmetijske rastline oziroma sušnega stresa (Sušnik in sod., 2010; Sušnik in Pogačar, 2011; Sušnik in Valher, 2012a; Sušnik in sod., 2012, Sušnik in Valher, 2013). Modul za nenamakane rastline ima naslednje možnosti simulacij v izbranih obdobjih za različne kombinacije podatkov tla-rastlina-lokacija:

- izračun osnovnih členov vodne bilance (vsota dnevnih padavin, vsota dnevne evapotranspiracije, vsota potencialne evapotranspiracije),
- kumulativna poraba vode pri rastlinah,
- kumulativni primanjkljaj vode za rastlino,
- število in jakost obdobj sušnega stresa,
- kumulativno število dni v sušnem stresu.



Slika 55: Poenostavljen diagram modela modela IRRFIB 03.1.
 Figure 55: Simplified flowchart of model IRRFIB 03.1.

Leta 2010 je bil model korigiran (Sušnik in Habič, 2012) za potrebe ugotavljanja sušnih razmer in vodnega primanjkljaja različnih nenamakanih rastlin. Model IRRFIB simulira porabo vode posamezne kulture med vegetacijskim obdobjem z upoštevanjem vodnozadrževalnih lastnosti tal, fenoloških faz, kmetijske kulture, globine korenin in atmosferskih pogojev.

Za določitev dovoljenega znižanja količine vode v tleh upošteva dostopno vodo ob robnih pogojih točke venenja in poljske kapacitete v določeni globini tal. Površina pod posamezno kulturo je omejena s tipom tal; za površine z različnimi tipi tal se vodna bilanca računa na osnovi povprečja vodnozadrževalnih lastnosti tipov tal.

3.2.1.2 Pogonske spremenljivke modela

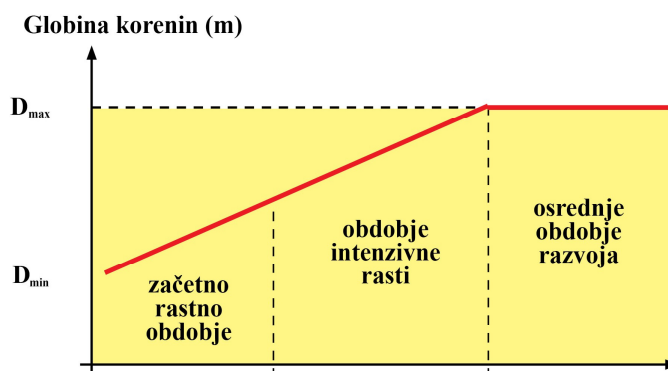
Vhodne podatke delimo na meteorološke, pedološke in fenološke ter dodatne spremenljivke. Od meteoroloških podatkov potrebujemo: referenčno evapotranspiracijo ET_0 (izračun po Penman-Monteithovi enačbi je razložen v poglavju 3.1.2.2) in podatke o dnevni količini padavin (RR). Meteorološki podatki so najpogosteje merjeni na dnevni osnovi. Zato je časovni korak za simulacije prirejen na dan. Komponento rastline za izračun vodne bilance smo zagotovili prek fenoloških podatkov. Fenološki podatki in podatki o globini koreninskega sistema (D) kmetijskih rastlin ter koeficienti kmetijskih rastlin (K_c) so določeni za vsako rastlino posebej (glej poglavje 3.1.3.1).

Za določen dan (d) med dvema fenološkima fazama se globina korenin (D) določa:

$$D(d) = D(F_i) + \frac{d - d(F_i)}{d(F_{i+1}) - d(F_i)} \cdot (D(F_{i+1}) - D(F_i)) \quad \dots (6)$$

kjer so: F_i in F_{i+1} zaporedni fenološki fazi,
 $D(F_i)$ in $D(F_{i+1})$ globini korenin v teh fazah,
 $d(F_i)$ in $d(F_{i+1})$ zaporedna dneva v letu ustreznih faz, med katerima leži izbrani dan d , za katerega računamo $D(d)$.

Model IRRFIB izračunava krivuljo rasti korenin za enoletne rastline, kot je ponazorjeno na sliki 56. Linearni model predvideva, da je v zgodnjem razvoju rastline najmanjša globina korenin (D_{\min}) in največja globina korenin (D_{\max}) sredi obdobja. To izhodišče je povzeto po Allen in sod. (1998).



Slika 56: Poenostavljen linearni model rasti korenin (Allen in sod. 1998).

Figure 56: Simplified linear model of root growth (Allen et al., 1998).

Na enak način se interpolira tudi koeficient rastline.

$$K_c(d) = K_c(F_i) + \frac{d - d(F_i)}{d(F_{i+1}) - d(F_i)} \cdot (K_c(F_{i+1}) - K_c(F_i)) \quad \dots (7)$$

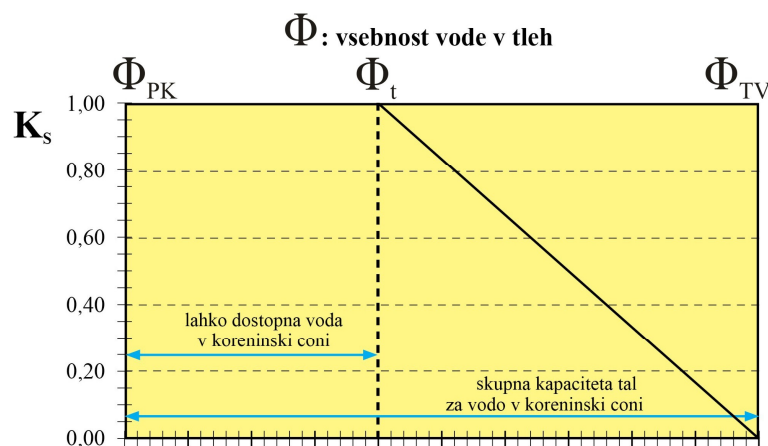
kjer so: F_i in F_{i+1} zaporedni fenološki fazi,
 $K_c(F_i)$ in $K_c(F_{i+1})$ koeficienta rastline v zaporednih fenoloških fazah, med katerima leži dan d , za katerega računamo $K_c(d)$,
 $d(F_i)$ in $d(F_{i+1})$ zaporedna dneva v letu ustreznih faz, med katerima leži izbrani dan.

Pedološki podatki v obliki vodnozadrževalnih lastnosti tal so izraženi v poljski kapaciteti in točki venenja, ki sta potrebni za določitev velikosti talnega vodnega zbiralnika v območju korenin (glej poglavje 3.1.3.2). Fenološki podatki v modelu so izraženi v datumih fenoloških faz s prilegajočimi se koeficienti rastlin (K_c) za vsako razvojno fazo, v deležu

rastlini lahko dostopne vode v tleh (DZ) in z globino korenin (D) od začetne faze do popolnega razvoja. Fenološki podatki so v modelu obravnavani glede na tip rastline.

Fenološke faze in prilegajoči se koeficienti, uporabljeni v modelu, so opisani v poglavju 3.1.3.1. Koeficient rastline je na začetku zelo majhen in začne naraščati ob rasti in razvoju ter doseže maksimalno vrednost, ko je rastlina v polnem razvoju (to obdobje imenujemo tudi sredina sezone).

Efekt sušnega stresa na rastlino je opisan z zmanjšanimi vrednostmi koeficienta rastline. Allen in sod. (1998) ga izražajo kot produkt koeficienta rastline s koeficientom stresa (K_s). V poenostavitvi smo v modelu privzeli, da od točke definirane stresa evapotranspiracijo rastline polovičimo (slika 57).

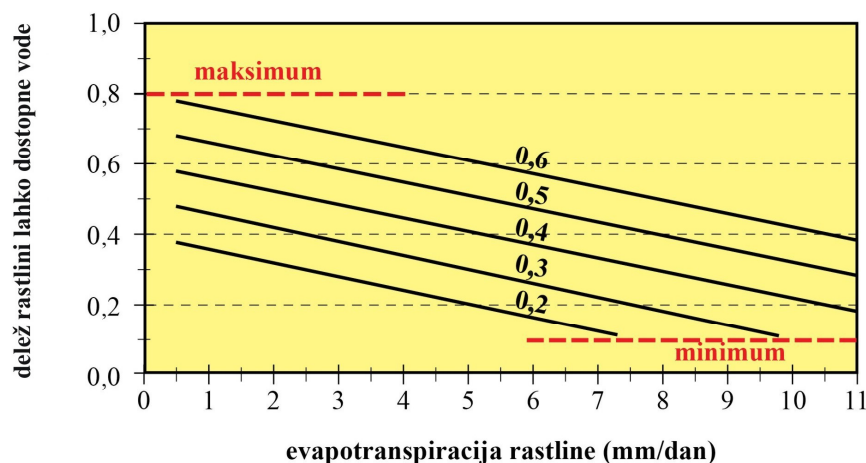


Slika 57: Poenostavljen koeficient sušnega stresa (Allen in sod. 1998).
Figure 57: Simplified coefficient of drought stress (Allen et al., 1998).

Tla so modelirana kot ena plast, pri čemer zanemarimo kapilarni efekt. V večini primerov je podtalnica globlja od 2 m, zato je prispevek kapilarnega dviga zanemarljiv in se v bilanci ne upošteva. Algoritem ne upošteva prispevka podzemne vode in pronicanja.

Rastlinam dostopna voda RDV [mm] je zadrževalna kapaciteta za vodo v tleh, ki jo lahko rastline izčrpajo s koreninami. Njena velikost je odvisna od tipa tal in globine korenin.

Model IRRFIB ima vključen tudi t. i. delež rastlini lahko dostopne vode (DZ), ki pomeni povprečni delež dostopne vode v koreninski coni tal. Allen in sod. (1998) navajajo DZ za večino rastlin (slika 58, preglednica 21).



Slika 58: Delež lahko dostopne vode za različne stopnje evapotranspiracije rastlin (Allen in sod., 1998).
 Figure 58: Share of readily available water for different crop evapotranspiration (Allen et al., 1998).

Delež se spreminja z rastlino; po navadi je v območju od 0,30 za rastline s plitvim koreninskim sistemom pri visokih vrednostih ET_c ($> 8 \text{ mm d}^{-1}$) do 0,70 za rastline z globokim koreninskim sistemom pri nizkih vrednostih ET_c ($< 3 \text{ mm d}^{-1}$). Zaradi poenostavitve smo v celotni študiji uporabili vrednost 0,50, ki je priporočena za številne rastline (Allen in sod., 1998).

Preglednica 21: Razponi maksimalne globine korenin in delež rastlini lahko dostopne vode v tleh za razmere brez stresa (Allen in sod., 1998).

Table 21: Ranges of maximum rooting depth and plant readily available water for no stress conditions (Allen et al., 1998).

Rastlina	Maksimalna globina korenin ¹ [m]	Delež rastlini lahko dostopne vode v tleh ²
Žita		
jara pšenica	1,0–1,5	0,55
ozimna pšenica	1,5–1,8	0,55
koruza za zrnje	1,0–1,7	0,55
Krmne rastline		
pašnik	0,5–1,5	0,60
travna ruša		
- hladna sezona	0,5–1,0	0,40
- topla sezona	0,5–1,0	0,50

¹ Večje vrednosti so za tla, ki nimajo značilnega pokrova ali drugih lastnosti, ki lahko omejujejo globino korenin. Manjše vrednosti so uporabljene za shemo namakanja in večje vrednosti za modeliranje vodnega stresa ali nenamakanih razmer.

² Vrednosti za ET_c so okoli 5 mm/dan.

Za sušne in vroče vremenske razmere, kjer je ET_c visok, je DZ za 10–25 % manjši kot vrednosti v preglednici 21. Tla so še vedno zadovoljivo mokra, ko se že začne sušni stres. Ko je evapotranspiracija nizka, pa DZ povečamo za 20 % glede na vrednost v preglednici. Kljub temu je DZ največkrat konstanten za sezono. Tudi v našem primeru smo ravnali enako.

Bilanca vode za rastline v modelu IRRFIB poteka po naslednjih korakih:

1. Bilanca začetnega dne (B_{\max}) predpostavlja, da je vodni rezervoar napolnjen, in sicer:

$$B_{\max} = PK \cdot D \cdot 10 \quad \dots (8)$$

kjer sta: PK poljska kapaciteta [vol %]
 D globina korenin [m]

2. Pri izračunu vrednosti koeficienta poljščine K_c in globine korenin D smo privzeli njun linearni potek spreminjanja v posamezni fazi vegetacijskega obdobja. Določimo delež rastlini lahko dostopne vode (DZ). V našem primeru je enak 0,5. Hkrati izračunamo spodnjo mejo rastlini lahko dostopne vode oziroma B_{PS} vode v mm.

$$B_{PS} = (TV + (PK - TV) \cdot (1 - DZ)) \cdot D \cdot 10 \quad \dots (9)$$

3. Za izračun bilance za i -ti dan so potrebni naslednji podatki: referenčna evapotranspiracija ET_{0i} , dnevne padavine RR_i , koeficient rastline K_{ci} in globina korenin D_i ter bilanca prejšnjega dne B_{i-1} .

4. Evapotranspiracija rastline na i -ti dan (ET_{ci}) je:

$$ET_{ci} = K_{ci} \cdot ET_{0i} \quad \dots (10)$$

kjer sta: ET_{0i} evapotranspiracija i -tega dne
 K_{ci} koeficienta rastline i -tega dne

5. Dnevna bilanca na i -ti dan (B_i) je razlika med dnevno količino padavin in evapotranspiracijo rastline. Bilanca i -tega dne je definirana:

$$B_i = B_{i-1} + RR_i - ET_{ci}, \text{ če je } B_{i-1} > B_{PS} \quad \dots (11)$$

$$B_i = B_{i-1} + RR_i - ET_{ci} \cdot K_s, \text{ če je } B_{i-1} \leq B_{PS} \quad \dots (12)$$

$$\text{če je } B_i < TV_i \cdot D_i, \text{ je enaka } TV_i \cdot D_i \quad \dots (13)$$

$$\text{če je } B_i > PK_i \cdot D_i, \text{ je enaka } PK_i \cdot D_i \quad \dots (14)$$

kjer je: K_s koeficient stresa, v našem primeru 0,5.

6. Bilanca $i-1$ tega dne je korigirana glede na spremembo rasti korenin takole:

$$B_{i-1} = B_{i-1} \cdot D_i / D_{i-1} \quad \dots (15)$$

kjer sta: D_i globina korenin v dnevu i [m]
 D_{i-1} globina korenin v dnevu $i-1$ [m].

V analizi so bile obravnavane bilance v dneh z manjšo bilanco od bilance praga B_{PS} .

Izračun vodne bilance kmetijskih rastlin smo izvedli z operacijskim sistemom Linux na meteorološki bazi podatkov Postgres Agencije RS za okolje (Sušnik in Habič, 2012). Iz izračuna vodne bilance izhaja tudi izdelan kazalec kmetijske suše – dekadni indeks sušnega stresa (opisan v poglavju 3.2.2.2). Vhodni in izhodni podatki modula za nenamakane rastline modela IRRFIB so v preglednici 22.

Preglednica 22: Vhodni in izhodni podatki modula za nenamakane rastline modela IRRFIB (Sušnik in Habič, 2012).

Table 22: Input and output data for non-irrigated modul of IRRFIB model (Sušnik and Habič, 2012).

Vhodni podatki	Informacije in rezultati modela
METEOROLOŠKI minimalna temperatura zraka [°C] maksimalna temperatura zraka [°C] relativna vlaga zraka [%] oblačnost ali trajanje sončnega obsevanja [ure] hitrost vetra [ms ⁻¹] padavine [mm]	dnevna referenčna evapotranspiracija [mm] dnevni koeficient rastline [] dnevna globina korenin [mm] dnevna rastlini razpoložljiva voda v tleh [%] dnevna vodna bilanca rastline in primanjkljaj vode [mm] dan s sušnim stresom [da/ne] kumulativna vodna bilanca/primanjkljaj v obdobju [mm] obdobja sušnega stresa [število obdobj] število zaporednih dni v stresu [dni] število sušnih stresnih obdobj [število obdobj] dekadni indeks sušnega stresa [] kumulativni indeks sušnega stresa []
RASTLINA fenološke faze [datum nastopa] koeficient rastline po fenofazah [] globina korenin rastline po fenofazah [m]	
TLA poljska kapaciteta [vol. %] točka venenja [vol. %] delež rastlini lahko dostopne vode [] prag sušnega stresa [mm]	

3.2.1.3 Izhodne informacije in rezultati modela

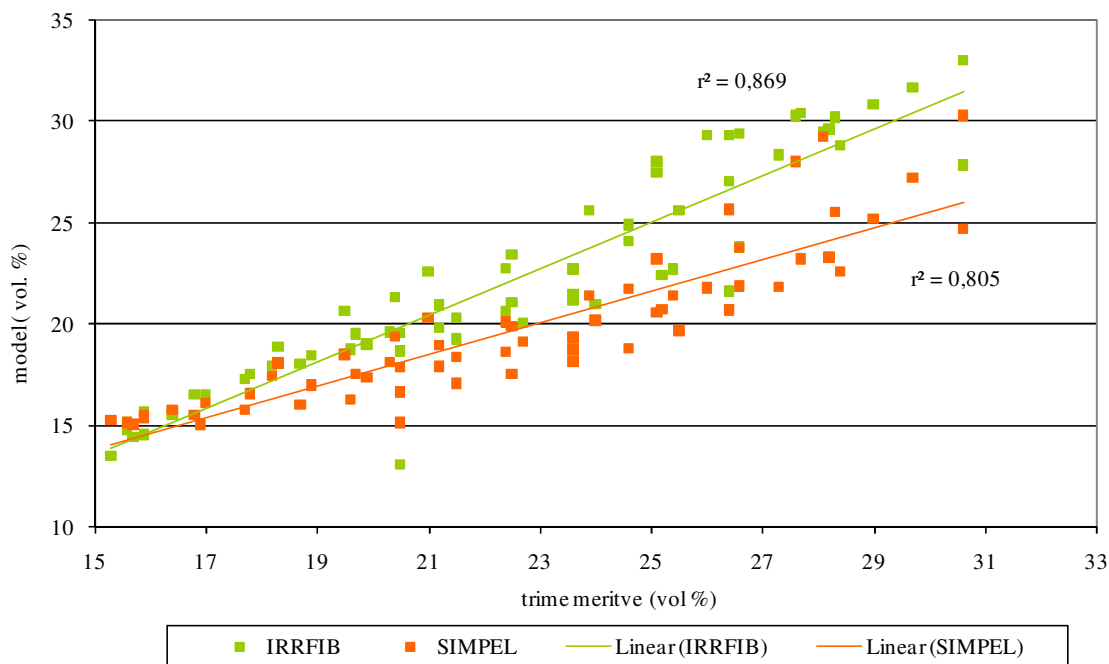
Model generira vodno bilanco od enega dne do celotne vegetacijske dobe. Rezultat so vodne bilance za nenamakane/namakane kulture. Za nenamakane kulture lahko opazujemo različne ravni sušnega stresa zaradi pomanjkanja vode. Model računa dnevno vodno bilanco tal in rastlin, v daljšem obdobju pa vegetacijsko ali celoletno bilanco ter omogoča spremljanje vode v tleh v naravnih pogojih brez namakanja. Vse izhodne spremenljivke, ki jih model izračunava, so v preglednici 22.

3.2.1.4 Verifikacija modela

Model IRRFIB je bil testiran z meritvami vode v tleh in različnimi vodnobilančnimi modeli. Na izbranih lokacijah so bile meritve vsebnosti vode v tleh primerjane s simuliranimi vsebnostmi vode v tleh z dvema modeloma IRRFIB in SIMPEL (Bergant in sod., 2010). Na podlagi dostopnih podatkov merjene količine vode v tleh smo naredili tudi točkovno preverjanje, in sicer za leto 2009 na lokaciji Murska Sobota. Z vodnobilančnim modelom IRRFIB smo v tem obdobju za referenčno rastlino pravilno zajeli dinamiko količine vode na območju korenin. Kot vidimo s slike 59, je modelirano stanje vode v tleh blizu izmerjenemu. Model ob nekaterih vremenskih situacijah količino vode v tleh večkrat

podcenjuje kot precenjuje. Slika 59 predstavlja primerjavo med simulirano ter izmerjeno vodno bilanco v Murski Soboti leta 2009.

Tudi v analizi Sušnikove (2006) se je pokazala močna povezava ($r^2 = 0,94$) med modelom IRRFIB in testnimi meritvami vode v tleh v Ljubljani.



Slika 59: Merjene (merilnik TRIME) in simulirane (modela IRRIFIB in SIMPEL) vsebnosti vode v tleh (vol %) v obdobju april–september 2009 v Murski Soboti (Bergant in sod., 2010).
 Figure 59: Measured (sensor TRIME) and simulated (model IRRIFIB and model SIMPEL) soil water content (vol. %) in the period from April to September 2009 in Murska Sobota (Bergant et al., 2010).

Tudi rezultati simulirane vsebnosti vode za travinje v obdobju 1999–2009 za lokacijo Maribor, ki je bila izvedena z večplastnim vodnobilančnim modelom WinISAREG, so pokazali statistično značilno povezavo obeh modelov (Valher in sod., 2011). Povezave za vsa leta, sušna leta in leto 2003 so prikazani v preglednici 23 in sliki 60.

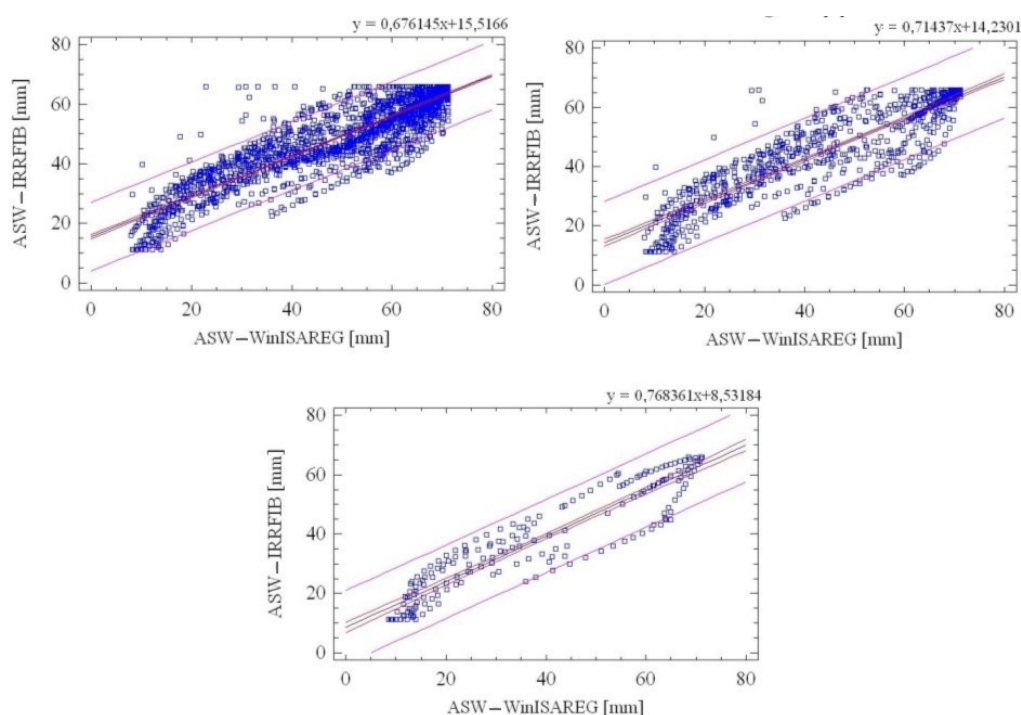
Preglednica 23: Statistične povezave med modeloma IRRIFIB in WinISAREG za Maribor (Valher in sod., 2011).

Table 23: Statistical relationships between IRRIFIB and WinISAREG model for Maribor (Valher et al., 2011).

	Korelacijski koeficient	Standardna napaka
vsa leta	0,902**	5,871
sušna leta	0,894*	7,137
leto 2003	0,936**	6,247

* statistično značilna povezava med spremenljivkami (95-odstotna stopnja zaupanja)

** statistično značilna povezava med spremenljivkami (98-odstotna stopnja zaupanja)



Slika 60: Simulirana vsebnost vode (ASW) v tleh za travinje, ocenjena z modeloma IRRFIB in WinISAREG za Maribor. Na sliki levo zgoraj so upoštevana vsa obravnavana leta, desno zgoraj sušna leta, na spodnji sliki pa samo leto 2003 (Valher in sod., 2011).

Figure 60: Simulated soil water content (ASW) for forage estimated by models IRRFIB and WinISAREG for Maribor (Valher in sod., 2011). In the upper left figure all years are included, in the right upper figure only dry years and in the lower figure only year 2003 is presented (Valher et al., 2011).

Iz tega lahko sklepamo, da je v izjemno sušnih letih ujemanje modelov še za spoznanje večje.

3.2.2 Metode izračuna kazalcev kmetijske suše

3.2.2.1 Metode izračuna enostavnih kazalcev kmetijske suše

3.2.2.1.1 Odklon padavin od dolgoletnega povprečja in kumulativne padavine

Za izbrane lokacije smo uporabili dnevne vrednosti padavin (RR_i); na njihovi osnovi smo izračunali letne in dolgoletne vrednosti kumulativnih vrednosti padavin (RR_{kum}) v vegetacijskem obdobju obravnavanih rastlin, in sicer:

$$RR_{kum} = \sum_{i=1}^I RR_i \quad \dots (16)$$

kjer RR_i predstavlja padavine v dnevu i .

Za povprečno obdobje smo izbrali leta 1971–2000. Na tej osnovi smo izračunali delež padavin (izražen v odstotkih) v izbranem obdobju v primerjavi z dolgoletnim povprečjem (prav tako v odstotkih).

3.2.2.1.2 Standardiziran padavinski indeks

Natančnejši opis kazalca je v poglavju 2.6.5.1.1. SPI predstavlja mero, kaj količina padavin skozi izbrano obdobje pomeni glede na normalno oziroma pričakovano količino padavin za to obdobje. Pozitivne oziroma negativne vrednosti SPI indeksa označujejo stopnjo meteorološke suše oziroma moče. Treba je poudariti, da vrednosti niso neposredno povezane s škodo na samem terenu. SPI je statistično standardiziran odklon količine padavin od dolgoletnega povprečja. Kot dolgoletno povprečje – t. i. kalibracijsko obdobje – je uporabljeno obdobje 1971–2000. Baza SPI je dostopna v arhivu ARSO (Meteorološki podatki ..., 2013). V splošnem velja, da so vrednosti indeksa med -1 in 1 povezane z normalnimi razmerami, ki so statistično pričakovane (seveda brez upoštevanja podnebnih trendov po kalibracijskem obdobju) približno v 68,2 % časa. Preostalih 31,8 % je razdeljeno med izrazito sušna (vrednosti SPI manj kot -1) in izrazito mokra (vrednosti SPI več kot 1) obdobja.

Poleg kalibracije je treba določiti tudi dolžino obdobja, za katero ugotavljamo odstopanje količine padavin od povprečja. Dolžina obdobja se označuje v mesecih in se povezuje z različnimi tipi suše:

- O sušnem obdobju oziroma začetku meteorološke suše lahko govorimo že pri enomesečnem odklonu padavin od povprečja, ko vrednost SPI za enomesečno obdobje (označimo jo s SPI1) pade pod -1 .
- Resnejši vplivi na okolje se po navadi začnejo po sušnih obdobjih, ki so daljša od enega meseca. Pretoki manjših in srednjih vodotokov s povirjem v Sloveniji so dokaj dobro povezani z vrednostmi SPI za dvomesečno obdobje (SPI2).
- Tudi vpliv primanjkljaja padavin na vsebnost vode v tleh in s tem posredno na razvoj kmetijskih rastlin zaznavamo v obdobjih med 2 in 4 meseci (vrednosti SPI2, SPI3 in SPI4). Seveda ne moremo pričakovati, da zgolj primanjkljaj količine padavin v večmesečnem obdobju (brez upoštevanja razvojnih faz rastlin, sestave tal in drugih faktorjev) lahko pojasni morebitni nastanek škode zaradi sušnega stresa.
- Primanjkljaj v še daljšem obdobju (od 6 mesecev – SPI6 – pa do enega leta – SPI12 – ali še dlje) je povezan s hidrološko sušo – pomanjkanjem vode v večjih vodotokih in v podzemnih vodah.

V študiji smo uporabili le 3- in 4-mesečni SPI. Vrednosti SPI izračunavamo za meteorološke postaje, za katere obstaja dovolj dolg podatkovni niz (vsaj od leta 1971). V nadaljevanju smo podatke o SPI z interpolacijsko metodo »najbližjega soseda« preračunali v pravilno mrežo točk in povprečili v prostorske enote – katastrske občine (Meteorološki podatki ..., 2013).

3.2.2.1.3 Meteorološka vodna bilanca

Količina padavin v vegetacijskem obdobju ni zadovoljiva informacija o stanju oskrbe rastlin z vodo. Ključna je razporeditev padavin in tudi razmerje med količino padavin in količino izhlapele vode. Pri izračunu smo uporabili dnevne podatke o padavinah in izračunali evapotranspiracijo za referenčno rastlino za vse obravnavane lokacije (več o metodi 3.1.2.2).

Meteorološka vodna bilanca opisuje razliko med padavinami in evapotranspiracijo. Vodno bilanco (VB) lahko računamo dnevno, lahko pa tudi za poljubno obdobje: posamezne mesece, vegetacijsko sezono, rastno sezono specifičnih kultur ali pa za sušna obdobja. Kumulativna meteorološka vodna bilanca je izražena kot:

$$VB = \sum_{d=1}^I (RR_i - ET_{oi}) \quad \dots (17)$$

kjer sta: RR_i padavine v dnevu i ,
 ET_{oi} referenčna evapotranspiracija v dnevu i .

S pomočjo percentilne analize (opisana v poglavju 3.2.3.1) ocenjujemo verjetnost (izraženo v %), da vrednost anomalije v določenem obdobju ni bila presežena.

3.2.2.2 Metoda izračuna kompleksnega kazalca kmetijske suše – dekadnega indeksa kmetijske suše

Ob ugotavljanju dejanskega sušnega stresa pri kmetijskih rastlinah enostavni kazalci, ki vključujejo le meteorološke podatke, ne pa podatkov o razvojnem stanju rastlin in vodnozadrževalnih lastnosti tal, ne pokažejo prave slike. Dosedanje analize (Sušnik, 2006) so pokazale, da splošni enostavni kazalci kmetijske suše detektirajo sušno leto, manj pa stopnjo poškodovanosti kmetijskih rastlin. Velikokrat je sušno obdobje in coniranje kmetijske suše določeno arbitrarno glede na meteorološko sušo, šele na osnovi subjektivne ocene strokovnih komisij na terenu pa se določa stopnja poškodovanosti kmetijskih rastlin. V Sloveniji za zdaj ni kazalca kmetijske suše, ki bi vključeval vse potrebne informacije za oceno stanja kmetijske rastline ob suši. Zato so ocene velikokrat subjektivne in nujna je kvantitativna ocena stopnje suše kmetijskih rastlin ter njena prostorska primerljivost.

Zato smo definirali in razvili nov kazalec – dekadni indeks sušnega stresa (DISS), ki združuje informacije rastlina-tla-podnebje. Za razvoj kompleknejšega kazalca DISS smo nadgradili vodnobilančni model IRRFIB (verzijo 03.1), modul za nenamakane rastline, in ga integrirali v bazo vseh potrebnih vhodnih podatkov. Prednost tega kazalca je, da predstavlja jakost sušnega stresa za izbrane kmetijske rastline na izbranem tipu tal v izbrani časovni enoti – dekadi. Dekadni kazalec DISS smo zasnovali kot orodje za sprotno sledenje in klimatološko vrednotenje sušnega stresa. Tak pristop je v Sloveniji novost in bo v pomoč pri odločanju v procesih določanja razvoja in stopnje kmetijske suše. Ovrednotili smo ga na desetih izbranih lokacijah na treh rastlinah z različnimi vegetacijskimi obdobji

na treh različnih tipih tal (slaba, srednje dobra in dobra vodnozadrževalna sposobnost tal) v obdobju 1961–2013.

Dekadni indeks sušnega stresa (*DISS*) pomeni jakost sušnega stresa izbrane kmetijske rastline na izbranem tipu tal v dekadi. Sušni stres je definiran kot stanje, ko dnevna vodna bilanca rastline pade pod prag sušnega stresa (*PS*), ki je določen z deležem rastlini lahko dostopne vode. Podaja ga enačba:

$$PS = TV + (PK - TV) \cdot (1 - DZ) \quad \dots (18)$$

kjer so: *PS* prag sušnega stresa [vol. %],
TV točka venenja [vol. %],
PK poljska kapaciteta [vol. %],
DZ delež rastlini lahko dostopne vode v tleh [].

Pri izračunu *DISS* se privzame rangiranje dnevne vodne bilance v območju sušnega stresa (raven vode v tleh pod pragom sušnega stresa) v tri arbitrarne razrede jakosti. Dekadni *DISS* se izračuna po enačbi :

$$DISS = \frac{\sum_{i=1}^{N_{dek}} \left(\frac{PS - \left(\frac{B_i}{D_i \cdot 10} \right)}{\left(\frac{(PK - TV) \cdot (1 - DZ)}{3} \right)} \right)}{N_{dek}} \quad \dots (19)$$

kjer so: *PS* prag sušnega stresa [vol. %],
TV točka venenja [vol. %],
PK poljska kapaciteta [vol. %],
DZ delež rastlini lahko dostopne vode [],
N_{dek} število dni v dekadi,
i dan v dekadi,
B_i vodna bilanca v dnevu *i* [mm],
D_i globina korenin v dnevu *i* [m].

DISS lahko zavzame vrednosti med 0 in 3, kjer nižje vrednosti pomenijo bolj mokro in višje vrednosti bolj sušno stanje.

S kumulativnim indeksom sušnega stresa (*DISS_k*) ocenimo trajanje in jakost suše, ki jo je utrpela kmetijska rastlina na izbranih tleh v izbranem obdobju, in ga podaja enačba:

$$DISS_k = \sum_{j=1}^M DISS_j \quad \dots (20)$$

kjer sta: *M* število dekad v obdobju,
j dekada *j*.

Maksimalna vrednost $DISS_k$ je povezana z dolžino vegetacijske sezone kmetijske rastline. Na mesec je maksimalna vrednost $DISS_k$ enaka 9. Če sezona traja od aprila do septembra in je vseskozi $DISS$ enak 3, je vrednost $DISS_k$ enaka 54.

3.2.3 Statistične metode, tipizacija in interpolacija kazalca kmetijske suše

3.2.3.1 Osnovne statistike

Za vrednotenje in analizo podatkov smo uporabili programska paketa Statgraphics Plus 4.0 in Microsoft Excel. V nalogi uporabljene opisne statistike so opisane v delovnem gradivu Košmelj (2000), zato v nadaljevanju navajamo le nekaj osnovnih informacij o uporabljenih statističnih metodah. Uporabili smo:

- metodo percentilne analize,
- primerjavo povprečij dveh vzorcev,
- metodo enostavne linearne regresije.

Metodo percentilne analize smo uporabili za določitev mejnih vrednosti $DISS_k$ v vegetacijskem obdobju za posamezno lokacijo. Pri določanju klasifikacije velikosti kazalca smo privzeli razrede Conrad-Chapmanove klasifikacije za padavine (Praćenje i ocjena ..., 2005), ki so prikazani v preglednici 24, le da smo lestvico obrnili.

Preglednica 24: Modificirana Conrad-Chapmanova klasifikacija (Praćenje i ocjena ..., 2005: 5).
Table 24: Modified classification by Conrad-Chapman (Praćenje i ocjena ..., 2005: 5).

Klasifikacija	Percentili
ekstremno sušno	< 2
zelo sušno	2–9
sušno	9–25
normalno	25–75
mokro	75–91
zelo mokro	91–98
ekstremno mokro	> 98

S pomočjo percentila (p) lahko ugotavljamo tudi povratno dobo PD (v letih) iz zveze:

$$PD = 100/p, \text{ če je } p < 50 \quad \dots (21)$$

$$PD = 100/(100 - p), \text{ če je } p > 50 \quad \dots (22)$$

Za interpretacijo $DISS_k$ glede na klimatološke podatke smo uporabili percentilno analizo (v analizi je privzeto, da 75. percentil pomeni stanje sušnosti). Percentili sušnosti pomenijo oceno verjetnosti (izraženo v %), da vrednost anomalije v določenem obdobju ni bila presežena. Na primer: 98. percentil nam pove, da v 98 % prejšnjih let določena vrednost $DISS_k$ ni bila prekoračena oziroma da v stoletnem obdobju lahko pričakujemo samo 2 leti, v katerih bo ta vrednost večja. V nadaljevanju bomo $DISS_k$ nad 98. percentilom

poimenovali ekstremno sušno, med 90. in 98. percentilom zelo sušno in med 75. in 90. percentilom sušno vegetacijsko obdobje.

Pri proučevanju odvisnosti poškodovanosti rastlin od kazalcev smo uporabili metodo enostavne linearne regresije (Košmelj, 2007):

$$Y = \alpha + \beta \cdot X + \varepsilon \quad \dots (23)$$

kjer so: Y spremenljivka,
 α, β parametra enostavnega linearnega modela, ki ponazarja odvisnost spremenljivke Y od spremenljivke X ,
 ε slučajne spremenljivke.

Regresijski model je lahko boljši ali slabši. Kakovost modela lahko enostavno ovrednotimo s koeficientom determinacije. Zanesljivost oziroma nezanesljivost smo izrazili s stopnjo zanesljivosti (signifikanco).

3.2.3.2 Analiza časovnih vrst

Časovne vrste meteoroloških podatkov so številčen izraz delovanja mnogih dejavnikov, ki vplivajo na posamezno meteorološko spremenljivko. Dejavnikov je veliko, njihova jakost in učinek se časovno spreminjata. Zato se členi časovnih vrst meteoroloških podatkov spreminjajo. V poenostavljeni obravnavi lahko v časovni vrsti opazujemo naslednje vrste sprememb:

- a) trend, ki podaja povprečno spremembo čez vse obravnavano obdobje,
- b) periodične spremembe, ki izhajajo iz vzrokov, ki se ponavljajo na stalno razdobje – periodo
- c) nepravilne in slučajne spremembe, ki so lahko rezultat enkratnih epizodnih dogodkov ali pa stalnih slučajnih vzrokov.

Osnovno smer razvoja časovne vrste imenujemo trend. Če trend nakazuje razvoj za dolgo obdobje, ga imenujemo sekularni trend (Rakovec in sod., 1998).

Za sledenje in tendenco sprememb elementov meteorološke bilance, referenčne evapotranspiracije, padavin in kazalca sušnosti v vegetacijskem obdobju v času smo uporabili analizo linearnega trenda. O trendu lahko govorimo le, če imamo na voljo dolg niz podatkov (pri klimatoloških analizah vsaj 30 let).

Najpogosteje uporabljene časovne funkcije pri računanju trenda so podane v obliki polinomske funkcije. Trend polinoma prve stopnje imenujemo linearni trend. Trend izrazimo kot spremembo obravnavane veličine glede na obdobje. Če se vrednost obravnavane spremenljivke časovno zmanjšuje, imamo negativni trend, če pa se povečuje, je trend pozitiven.

Za ocenjevanje, kako dobro izbrani vzorec opisuje celotno dogajanje, je statistika razvila sistem objektivnega opisa zanesljivosti izračunanih statističnih količin (Rakovec in sod., 1998). Izračunali smo linearne trende in za mero, kako dobra je prilagoditvena funkcija,

uporabili determinacijski koeficient r^2 . Izračunali smo tudi, kakšen mora biti empirični koeficient, da je z neko zanesljivostjo (na primer 95 %) različen od nič (Košmelj, 2007).

3.2.3.3 Tipizacija kmetijske suše

Uporabili smo tudi modularni primer tipizacije kmetijske suše glede na dekadni DISS pri travi. To nam omogoča še podrobnejše sledenje časovnega pojavljanja suše. Sušo smo definirali z dekadami, kjer je $DISS \geq 1$. Vegetacijsko obdobje smo razdelili na tri obdobja: pomlad vključuje obdobje od 1. dekade aprila do 3. dekade maja, zgodnje poletje vključuje obdobje od 1. dekade junija do 3. dekade julija in pozno poletje vključuje obdobje od 1. dekade avgusta do 3. dekade septembra (preglednica 25).

Suša z vsaj eno dekadno v obdobju ($DISS \geq 1$) je tip 1, tip 2 je suša z vsaj po eno dekadno v dveh obdobjih ($DISS \geq 1$), tip 3 je suša z vsaj po eno dekadno v vseh treh obdobjih ($DISS \geq 1$).

Preglednica 25: Tipizacija suše z dekadnim indeksom sušnega stresa (DISS).
 Table 25: Drought typology by decadal drought stress index (DISS).

Dekada/Mesec	1/4	2/4	3/4	1/5	2/5	3/5	1/6	2/6	3/6	1/7	2/7	3/7	1/8	2/8	3/8	1/9	2/9	3/9	
Tip suše																			
tip1 _p	■	■	■	■	■	■													
tip1 _{zp}							■	■	■	■	■	■							
tip1 _{pp}													■	■	■	■	■	■	■
tip2 _{pzp}	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
tip2 _{ppp}	■	■	■	■	■	■							■	■	■	■	■	■	■
tip2 _{zppp}							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
tip3 _{pzppp}	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Legenda:

- tip 1 ... suša z enim obdobjem suše ($DISS \geq 1$)
- tip 2 ... suša z dvema obdobjema suše ($DISS \geq 1$)
- tip 3 ... suša s tremi obdobji suše ($DISS \geq 1$)
- p ... spomladanska suša
- zp ... zgodnjepoletna suša
- pp ... poznopoletna suša

3.2.3.4 Prostorska interpolacija kazalca kmetijske suše

Prostorsko sliko kazalcev kmetijske suše je mogoče narediti na več načinov. Največkrat se uporabljajo geostatistične metode interpolacije, ki se sicer uporabljajo v klimatološki praksi – zlasti t. i. kriging (Boer in sod., 2001; Kastelec in Dolinar, 2003).

Uspešne so tudi preprostejše metode, na primer metoda z zlepkami (angl. *spline interpolation*), ki so zelo primerne, če je točkovnih podatkov manj (Hancock in Hutchinson, 2006). Metode interpolacij z zlepkami producirajo krivulje najmanjših ukrivljenosti skozi dane točke (točne metode interpolacij). Metodo smo uporabili pri analizi suše 2013, saj je bilo v času analize pri potencialni evapotranspiraciji na voljo premalo podatkov, zato je bila uporabljena preprostejša metoda z zlepkami. Med preproste metode spada tudi metoda najbližjega sosedu, ki je med najpreprostejšimi metodami prostorske interpolacije, saj točki v prostoru le priredi najbližjo točko s podatki, ki je še precej uporabljena metoda v hidrološki praksi. Podatki so z interpolacijsko metodo najbližjega sosedu preračunani v pravilno mrežo točk in povprečeni v prostorske enote – katastrske občine. To smo uporabili v primeru kartiranja SPI.

Za statistično interpolacijo so bila uporabljena orodja (SAGA 2.0.8., 2011) in interpolacijski postopki v agrometeorologiji in klimatologiji, ki so na voljo na Agenciji RS za okolje (Meteorološki podatki ..., 2013) in v sklopu DMCSEE (2012).

Pri analizi DISS je bila uporaba geostatističnih metod za prostorsko interpolacijo manj primerna iz več razlogov:

- vrednosti kazalca smo želeli oceniti samo na kmetijskih zemljiščih in ne na celotnem, »zveznem« prostoru;
- za primerjavo s podatki o škodah je bila potrebna evalvacija kazalca na predpisanih prostorskih enotah;
- vrednost kazalca je kompleksna (sestavljena iz več neodvisnih virov informacij, ki med seboj niso v vzročni oziroma statistični zvezi, na primer razvoj vremena in lastnosti tal).

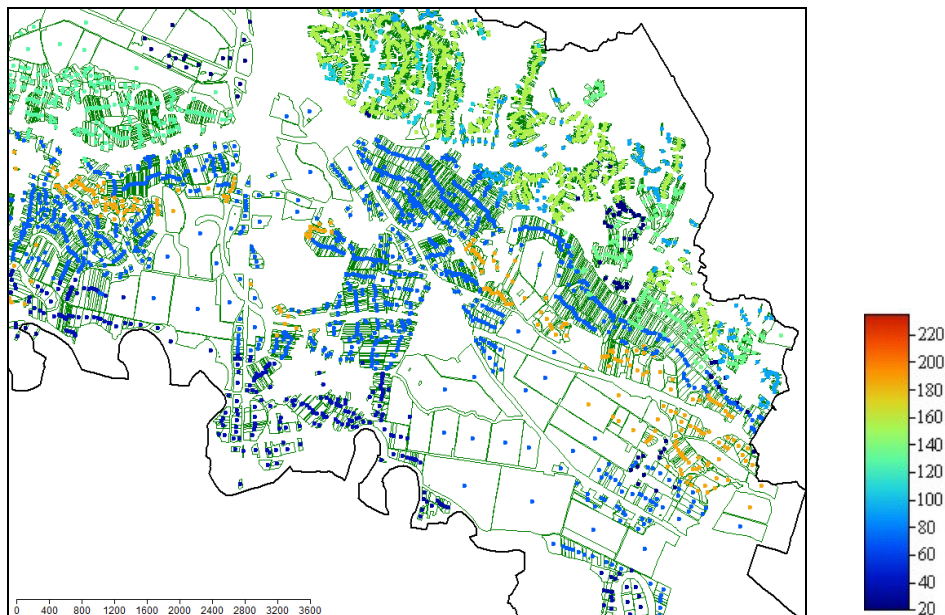
Zato je bilo primerneje uporabiti drugačen, preprostejši pristop za prostorski pregled DISS. Ker smo želeli realni prostorski prikaz kazalca, katerega vrednost je povezana z rabo zemljišča, je bila za osnovne prostorske enote uporabljena baza GERK.

Vsaki posamezni prostorski enoti smo priredili najbližjo meteorološko postajo, na kateri so izmerjeni parametri omogočili izračun vrednosti kazalca. Razdalja do merilne postaje se je izračunala iz geometrične središčne točke kmetijskega zemljišča.

Vsakemu kmetijskemu zemljišču smo priredili tudi potrebne lastnosti tal – efektivno poljsko kapaciteto na podlagi pedološke karte (Digitalna karta ..., 2012). Geometrijsko je vrednost EPK prirejena vsaki enoti kmetijskega zemljišča na podlagi prekrivanja poligonov pedološke karte in središčne točke enote kmetijskega zemljišča.

Na sliki 61 je primer – del občine Lendava (občinske meje so v črni barvi) z vrisanimi prostorskimi enotami kmetijskih zemljišč (zeleno barvo). Vsakemu kmetijskemu zemljišču je določena središčna točka, obarvana glede na pripadajočo vrednost EPK. Vsakemu

kmetijskemu zemljišču je torej dodeljena vrednost indeksa v središčni točki. Pomemben atribut kmetijskih zemljišč je seveda tudi površina, ki se uporablja pri uteževanju povprečja v večje prostorske enote, na primer občine. Vrednost indeksa za vsako občino je torej povprečna vrednost vrednosti za vsa kmetijska zemljišča z ustrežno rabo v občini (njivske površine in/ali travniki), utežena s površino kmetijskih zemljišč.



Slika 61: Primer geometrijske določitve vrednosti efektivne poljske kapacitete (mm) vsaki enoti kmetijskega zemljišča s prekrivanjem poligonov pedološke karte in središčne točke enote kmetijskega zemljišča v delu občine Lendava.

Figure 61: Example of geometric determination of effective field capacity values (mm) to units of agricultural land with polygon overlapping of soil map and centroides of agricultural land units in part of Lendava municipality.

4 REZULTATI Z DISKUSIJO

4.1 KONCEPT ZASNOVE SLEDENJA KMETIJSKE SUŠE V SLOVENIJI

Pri ugotavljanju »plazečega« pojava, kot je kmetijska suša, je zelo zahtevno določanje začetka, časa trajanja in jakosti pojava. V analizah kmetijske suše je še posebno zahtevno objektivno določiti obdobje suše, če želimo pri analizah vključiti razvojni krog vseh kmetijskih rastlin, ki so pod vplivom suše.

Pri zasnovi kazalcev kmetijske suše v Sloveniji smo upoštevali logiko tristopenjskega koncepta (preglednica 26):

- **zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo (faza 1)** se prične, ko je padavin (od 1. aprila dalje) manj kot v dolgoletnem povprečju. Obstaja velika verjetnost za potencialen vpliv suše na kmetijske površine.
- **opozorilo na prve znake kmetijske suše (faza 2)** se izda, ko je kumulativna meteorološka vodna bilanca v izbranem obdobju (od 1. aprila dalje) podpovprečna. Na kmetijskih rastlinah se lahko pričakuje kmetijska suša. Potrebni so tehnološki ukrepi za zmanjšanje posledic.
- **kmetijska suša nastopi (faza 3)**, ko suša že vpliva na rastline. Kmetijske rastline v tekoči kmetijski pridelavi kažejo znake sušnega stresa. Na osnovi definiranih statističnih pragov je sušni stres za posamezno rastlino izražen v DISS in DISS_k v izbranem obdobju kmetijske pridelave.

Sledenje kmetijske suše temelji na odnosu med vzrokom in posledico kmetijske suše. Ta v osnovi predvideva, da je glavni vzrok za pojav kmetijske suše pomanjkanje padavin. To je prvi znak, ki nakazuje pojav sušnega dogodka. To fazo smo poimenovali zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo (**faza 1**). Za operativno spremljanje suše v tej fazi uporabljamo dva kazalca: standardiziran padavinski indeks za 3-mesečno obdobje (SPI3) in delež kumulativnih padavin v vegetacijski sezoni.

V zgodnjem obdobju razvoja kmetijske suše je smiselna uporaba začetka vegetacijskega obdobja od 1. aprila dalje, ko se v večjem delu Slovenije začnejo kmetijske rastline razvijati. Uporabljamo ga tudi zato, da lahko interpretiramo vegetacijsko obdobje večjega dela rastlin, poškodovanih zaradi suše. Arbitrarno določen datum začetka vegetacijske sezone je osnova tudi za primerjavo med leti. V študiji smo pri analizah suše uporabili klimatološko povprečje 1971–2000. Fiksno izbrano vegetacijsko obdobje nam obenem omogoča primerjavo s podobnimi sušnimi leti oziroma z ekstremno sušnimi leti.

Kadar se sušne razmere še stopnjujejo, je pomembno vključiti kompleksnejše kazalce, kar omogoča večjo natančnost pri interpretaciji suše na kmetijskih površinah. Razvoj sušnega dogodka in potencialne vplive na stanje vegetacije lahko v **fazi 2** opišemo z meteorološko vodno bilanco, ki poleg padavin vključuje evapotranspiracijo referenčne površine. Tako lahko določamo delež potencialno izhlapele vode iz referenčne rastline v obravnavanem obdobju.

V **fazi 3**, ko so znaki kmetijske suše že razpoznavni tudi na kmetijskih rastlinah, pa vključimo še podatek o vodnozadrževalnih lastnostih tal in razvojnih fazah rastlin v aktualni vegetacijski sezoni. Za to uporabljamo kazalec DISS. Vsaka rastlina zahteva svojo obravnavo, saj se vegetacijski razvojni cikli rastlin med seboj razlikujejo in so zato vrednosti DISS primerljive le na enakem obdobju, kumulativne letne vrednosti DISS pa predstavljajo vrednosti za skupno trajanje fenološkega razvoja izbrane rastline v izbranem letu. Dolžino vegetacijskega obdobja smo določili za ozimno pšenico 13 dekad (2. dekada marca–2. dekada julija), za koruzo 17 dekad (3. dekada aprila–1. dekada oktobra) in za travo 18 dekad (1. dekada aprila–2. dekada septembra). Kazalec DISS omogoča tudi primerjavo sušnega stresa drugih rastlin, če uporabimo enako obdobje.

Preglednica 26: Tristopenjski koncept sledenja kmetijske suše.
Table 26: Three-level concept of agricultural drought monitoring.

Faza	Aktivnost	Opis	Kazalci
faza 1	zgodnje opozarjanje na sušo	primanjkljaj padavin (meteorološka suša)	SPI3 < -1, delež kumulativnih padavin v vegetacijski sezoni (% dolgoletnega povprečja)
faza 2	opozorilo na prve znake kmetijske suše	meteorološka vodna bilanca (referenčna rastlina)	meteorološka bilanca pod statistično določeno mejo (percentilna analiza): - 75. percentil – sušno - 90. percentil – zelo sušno - 98. percentil – ekstremno sušno
faza 3	kmetijska suša	sušni stres kmetijskih rastlin (vodna bilanca specifične kmetijske rastline)	DISS _k za izbrano kmetijsko rastlino - 75. percentil – sušno - 90. percentil – zelo sušno - 98. percentil – ekstremno sušno

Uporaba kompleksnega kazalca je eno od učinkovitih pomagal za zmanjšanje subjektivnosti ocene, koliko je poškodovana kultura, pri obstoječem načinu ugotavljanja škode. Pogosto se namreč dogaja, da so v isti katastrski občini razlike v poškodovanosti iste kulture od 20 do 80 %, kar kaže na subjektivnost ocene poškodovanosti zaradi suše. Z uporabo kompleksnejših kazalcev lahko že na samem začetku spremljanja poškodovanosti kmetijskih kultur zaradi suše izločimo območja, ki prizadetosti zaradi suše ne kažejo. S tem zmanjšamo administrativne stroške za plačilo strokovnih delavcev, ki izdelajo oceno poškodovanosti na terenu.

S pomočjo izbranih kazalcev je možna vzpostavitev sistema za sledenje kmetijske suše od ocene potenciala za pojav kmetijske suše do ocene jakosti sušnega stresa na kmetijskih rastlinah na posamezni lokaciji. Omogoča tako sledenje eventualnega sušnega stresa v tekoči kmetijski proizvodnji kot tudi klimatološke analize preteklih suš. Z vključevanjem večjega števila vhodnih podatkov postane informacija bolj kakovostna. Še vedno ostajajo največje ovire pomanjkanje podatkov o aktualnem razvoju rastlin, majhnost obdelovalnih površin ter reliefna in pedološka raznolikost Slovenije in na koncu prostorska ocena poškodovanosti.

V shemi sledenja kmetijske suše smo izbrali štiri kazalce, ki omogočajo določanje različnih faz v razvoju suše: osnova je najprej meteorološka suša v vegetacijski sezoni, ki jo ponazarjata delež povprečnih padavin v vegetacijski sezoni in SPI. Z vodno bilanco pridobimo informacijo o razliki med padavinami in izhlapevanjem iz površinskega sloja

tal. Z uvedbo kazalca DISS pa določimo tudi začetek, konec in jakost suše za specifično kmetijsko rastlino na neki lokaciji. Ugotavljali smo tudi časovno in prostorsko dinamiko kazalcev ter njihovo spremenljivost.

V nalogi smo v prvem delu uporabili vse obravnavane enostavne in kompleksne kazalce v izbranem obdobju 1961–2013 in sušnih letih na izbranih lokacijah. Ob koncu analize posameznega kazalca smo izdelali analizo časovnega trenda in ugotavljali spremenljivost kazalca po lokacijah v dveh obdobjih (1961–1986 in 1987–2013).

V drugem delu smo lastnosti kazalcev uporabljali tudi pri ugotavljanju povezav s poškodovanostjo rastlin po suši (stanje na terenu). Žal so ti podatki na voljo le za omejen nabor let, zato smo se osredotočili na leto 2006. Na nekaterih lokacijah smo izvedli analizo povezav s pridelkom.

V tretjem delu pa smo na primeru leta 2006 poskušali vzpostaviti idejno zasnovo prostorskega prikaza kazalnika DISS. Na osnovi postavljene zasnove smo prostorsko analizirali tudi kmetijske suše v obdobju 2003–2013.

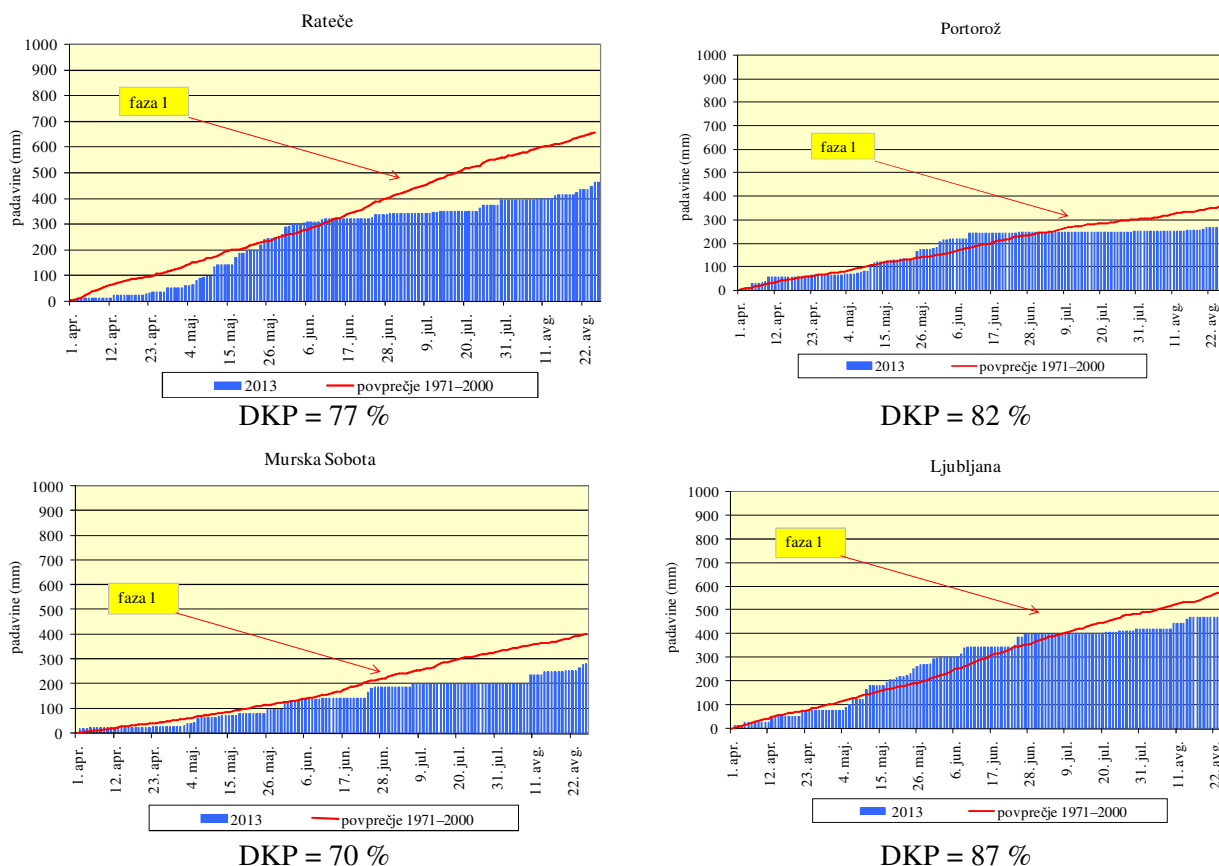
4.2 ENOSTAVNI KAZALCI ZA UGOTAVLJANJE KMETIJSKE SUŠE

Prvi del rezultatov je analiza enostavnih kazalcev suše (delež kumulativnih padavin glede na dolgoletno povprečje, SPI, vodna bilanca), ki jih uporabljamo v začetni fazi sledenja kmetijske suše. Uporabili smo jih za vegetacijsko obdobje izbranih rastlin za vse raziskovalne lokacije v obdobju 1961–2012. V nekaterih primerih smo uporabili tudi leto 2013. V konceptu zasnove sledenja kmetijske suše smo torej najprej analizirali potek zgodnjega opozarjanja na sušo.

4.2.1 Delež kumulativnih padavin glede na dolgoletno povprečje

Kot prvi kazalec za operativno sledenje kmetijske suše smo izbrali delež kumulativnih padavin glede na dolgoletno povprečje (v nadaljevanju DKP). V danem obdobju nam ta kaže obilnost oziroma pomanjkanje padavin v primerjavi s stanjem v daljšem obdobju. Pri določanju povprečja smo uporabili vsaj 30-letni niz podatkov; za večino primerjav je to obdobje 1971–2000. Pomembno je opozoriti, da moramo pri klimatoloških analizah uporabljati enotna povprečja. Pri izbiri obdobja izračuna kumulativnih padavin lahko izbiramo med več pragi izračuna: začetkom vegetacijske sezone, obdobjem mirovanja, poljubnim obdobjem v vegetacijski sezoni in drugimi. Predvsem v zaključnih analizah dosedanjih kmetijskih suš je bilo uradno razglašeno obdobje suše iz leta v leto različno (na primer: leta 2012 je bilo obdobje 20. julij–20. avgust, leta 2013 obdobje 11. junij–10. avgust). Še posebno je preučevanje padavin v vegetacijski sezoni pomembno, ker se padavinska slika vegetacijskih sezon spreminja v smer sušnejših poletij (Kajfež Bogataj in Bergant, 2004; Podnebne razmere..., 2006; Sušnik, 2008). Za specifične analize, ki so vezane na kmetijsko pridelavo, je pri uporabi kazalca ključna tudi gostota padavinske mreže, ki omogoča spremljanje kumulativnih padavin v tekoči kmetijski proizvodnji. Logično je, da DKP nosi informacijo o klimatologiji padavin na neki lokaciji.

Za primer DKP v vegetacijskem obdobju (1. april–26. avgust) navajamo sušno leto 2013 (slika 62). V vegetacijskem obdobju leta 2013 kumulativne padavine kljub razglasitvi naravne nesreče zaradi kmetijske suše, niso bile tako skromne. Padlo je sicer manj padavin kot po navadi (70–80 %), vendar je bila pomembna njihova časovna razporeditev, pri poškodbah rastlin po suši pa tudi sovpadanje padavinskega primanjkljaja z izjemno vročino.



Slika 62: Kumulativna vsota padavin (mm) v vegetacijskem obdobju leta 2013 v primerjavi z dolgoletnim povprečjem 1971–2000 za izbrane lokacije ter delež v %.

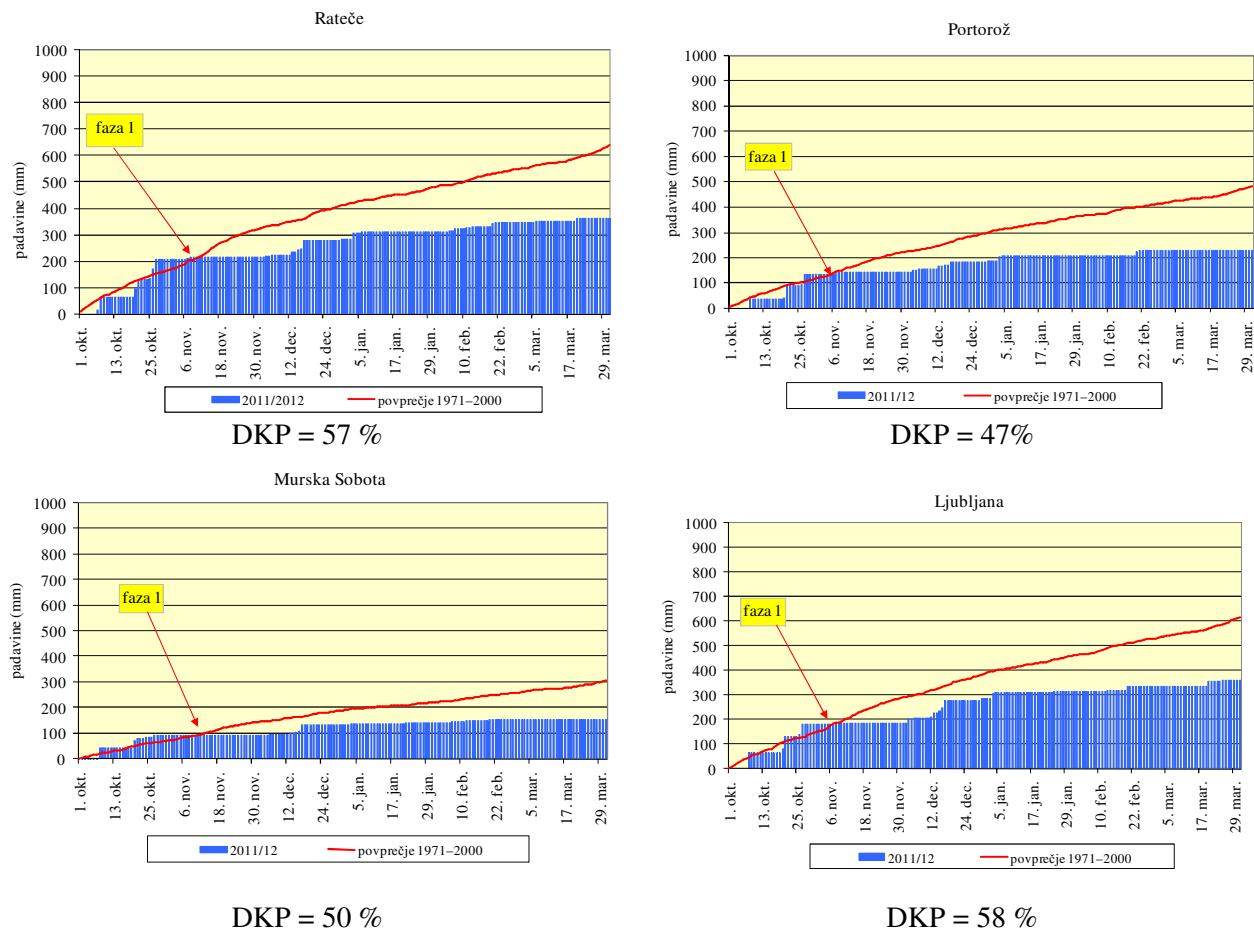
Figure 62: Cumulative precipitation totals (mm) in the vegetation period in the year 2013 in comparison to long-term average 1971–2000 for chosen locations and share in %.

Pomanjkanje padavin se je leta 2013 začelo v 1. dekadi julija na obalnem območju, še nekoliko prej pa v severovzhodni Sloveniji. Od junija do konca 2. dekade avgusta je v večjem delu Slovenije padlo manj kot 50 % dolgoletnih padavin, le na severozahodu države nekoliko več. Še posebno sušen je bil julij; deževalo je večinoma le v obliki ploh in neviht. Do konca 2. dekade avgusta so se iz jugovzhodne in severovzhodne Slovenije sušne razmere razširile tudi v druge dele države (slika 62).

Ker nas pred vstopom v vegetacijsko sezono zanima tudi vodna zaloga v tleh, lahko spremembo obdobja izračuna kumulativnih padavin prestavimo na zimsko mirovanje in s tem ugotovljamo tudi lastnosti zimskega mirovanja in vstopa kmetijskih rastlin v vegetacijsko sezono. Zimska kmetijska suša je sicer v Sloveniji redkost. V takih primerih lahko obdobje izračuna kumulativnih padavin izvedemo od 1. oktobra preteklega leta do vstopa v vegetacijsko sezono tekočega leta.

Lastnosti dveh začetkov vegetacijskih sezon, različno oskrbljenih s padavinami, smo opazili spomladi leta 2012, ko je bil začetek vegetacijske sezone izjemno sušen na Primorskem, ter leta 2013, ko je bila pomlad izjemno mokra v večjem delu Slovenije.

Za primer uporabe DKP v zimskem obdobju smo uporabili obdobje zimskega mirovanja od 1. oktobra 2011 do 30. marca 2012 (slika 63). S slike je razvidno, da je v tem obdobju v Portorožu padlo le 47 % dolgoletnih padavin; podpovprečna količina je bila tudi drugod po Sloveniji.



Slika 63: Kumulativna vsota padavin (mm) v obdobju zimskega mirovanja od 1. oktobra 2011 do 30. marca 2012 v primerjavi z dolgoletnim povprečjem 1971–2000 za izbrane lokacije ter delež v odstotkih.
Figure 63: Cumulative precipitation totals (mm) in the winter dormancy period from October 1, 2011 to March 30, 2012 in comparison to long-term average 1971–2000 for chosen locations and share in %.

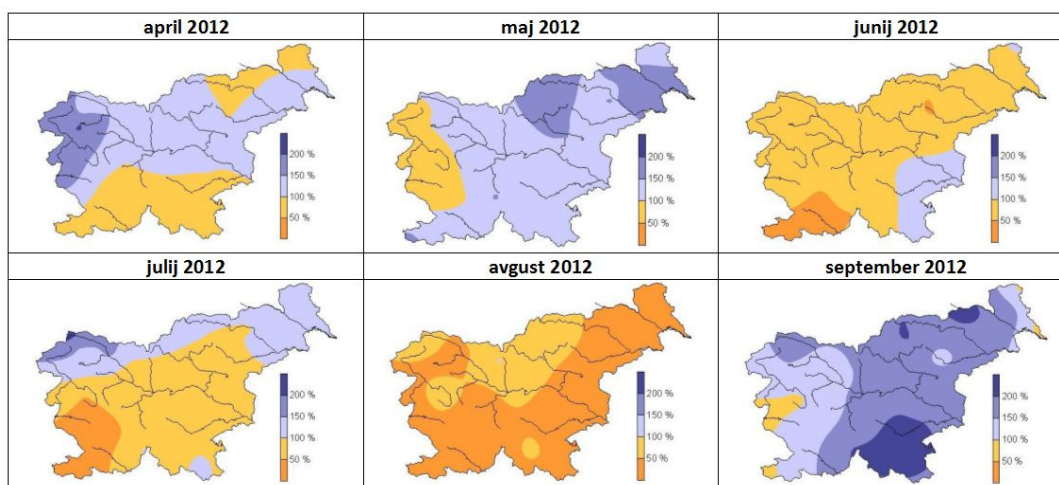
Posledica velikega hidrološkega jesensko-zimskega primanjkljaja ter pomanjkanja snežne odeje v zimskem obdobju je bil sušen vstop v vegetacijsko sezono 2012. Pomanjkanje padavin je bilo najbolj očitno na Obali, saj je trajalo že od oktobra 2011, sušne razmere so se v vegetacijskem obdobju le še stopnjevale.

Z najmanjšim deležem padavin v vegetacijskih mesecih je leta 2012 glede na dolgoletno povprečje 1971–2000 najbolj izstopala Primorska, od mesecev pa avgust, ko je bilo povsod po državi odstopanje negativno. Izsušenost tal zaradi kumulativnega primanjkljaja zimskih padavin je v začetku vegetacijske sezone 2012 povzročila težave ob močni burji, ki je odnašala površinski sloj tal (slika 64).



Slika 64: Suša in vetrna erozija sta spomladi 2012 poškodovali pšenico na Primorskem (levo). Peščene sipine zaradi dolgotrajnega padavinskega primanjkljaja in močne burje na Primorskem (desno) (foto: D. Krapež).
Figure 64: Drought and wind erosion in the spring 2012 damaged wheat crops on the Littoral (left). Sand dunes as a consequence of precipitation deficit and strong bora in the Littoral (right) (photo: D. Krapež).

Kazalec DKP lahko uporabljamo tudi pri kartografskih prikazih padavin v vegetacijski sezoni. Na sliki 65 je prikazan delež mesečne kumulativne padavin glede na povprečje po mesecih v vegetacijski sezoni 2012. Na ta način lahko opazujemo tudi prostorsko spreminjanje padavinske slike v določeni časovni enoti.



Slika 65: Delež mesečnih kumulativnih padavin (%) v vegetacijski sezoni 2012 glede na dolgoletno povprečje 1971–2000 (Sušnik in Valher, 2013).
Figure 65: Share of monthly cumulative precipitation (%) in the vegetation period 2012 in relation to the long-term average 1971–2000 (Sušnik and Valher, 2013).

Po zimski in zgodnjepomladanski suši so padavine v aprilu in maju izboljšale založenost tal z vodo; kmetijska tla v večjem delu države so bila ob setvi koruze z vodo dobro preskrbljena. Težave z zalogo vode v tleh so se kljub večinoma nadpovprečni namočenosti v aprilu in maju pojavljale na plitvih in peščenih tleh, predvsem na Obali, v Slovenski Istri in severovzhodni Sloveniji. Maja 2012 je povsod po državi zmerno do obilno deževalo, nato se je ponekod na Primorskem že začelo sušno obdobje. Količina padavin je junija

preseгла povprečje le na jugovzhodu države. Na Obali in v Slovenski Istri pa se je zmanjšala za več kot polovico. Nato se je julija območje največjega negativnega odstopanja razširilo še severno na Goriško. V 2. dekadi julija se je začelo obdobje s poletno vročino in izostankom dolgotrajnejših padavin, kar je privedlo do kmetijske suše, ki je trajala vse do zadnje dekade avgusta.

DKP lahko uporabljamo tudi za klimatološke analize. V nadaljevanju smo za vse obravnavane lokacije ugotavljali DKP v vegetacijski sezoni izbranih rastlin v primerjavi z dolgoletnim povprečjem 1971–2000 (preglednice 27, 28 in 29). Pri ozimni pšenici smo privzeli samo obdobje od spomladi do poletja.

Preglednica 27: Delež padavin (%) v vegetacijski sezoni trave (od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra) v obdobju 2000–2013. V oranžnih okvirčkih so z * označena leta, ko je padlo $\leq 70\%$ padavin glede na povprečje 1971–2000.

Table 27: Share of precipitation (%) in the vegetation period of grass (from 1st decade of April to 2nd decade of September) in the years from 2000 to 2013. Years with $\leq 70\%$ of precipitation related to the reference period 1971–2000 are marked with * in the orange frames.

Leto/Lokacija	RA	BI	LJ	NM	ČR	CE	MB	ŠSG	MS	PO
2000	97	79	78	47*	56*	69*	67*	100	60*	62*
2001	94	66*	81	83	97	101	89	103	80	72
2002	97	113	108	139	121	99	85	101	103	135
2003	129	45*	65*	55*	52*	45*	70*	82	62*	47*
2004	113	81	117	87	96	94	99	117	94	71
2005	98	104	125	132	123	134	118	125	128	100
2006	72	61*	101	115	114	101	89	97	137	118
2007	84	60*	72	85	109	81	93	119	96	60*
2008	110	106	115	100	99	122	95	103	93	102
2009	107	60*	87	78	60*	96	146	119	135	52*
2010	88	121	98	85	95	76	82	88	103	121
2011	102	58*	75	83	94	77	51*	90	115	60*
2012	122	77	96	92	105	91	79	109	105	60*
2013	78	82	95	71	73	70*	48*	66*	77	68*

Za obravnavano obdobje 1961–2013 smo ugotovili, da je bilo za vse tri obravnavane kulture celotno vegetacijsko obdobje najbolj skromno preskrbljeno s padavinami leta 2003. V Biljah, Novem mestu, Črnomlju, Celju in Portorožu je bilo v vegetacijskem obdobju trave le 40–55 % dolgoletnih padavin. S padavinami je bila skromna tudi vegetacijska sezona 2000. V obeh letih je bila vegetacijska sezona normalno preskrbljena s padavinami le v Šmartnem pri Slovenj Gradcu in Ratečah. Leta 2012 je bilo najmanj padavin v Portorožu (60 %). Leta 2013 pa je bilo manj kot 70 % padavin le v Mariboru in Šmartnem pri Slovenj Gradcu, malo nad 70 % pa tudi v Črnomlju in Novem mestu, 70 % v Celju.

Glede na leta, v katerih je suša povzročila gospodarsko škodo (2003, 2006, 2012, 2013), smo na osnovi padavinskih podatkov izbrali mejo za nadaljnje analize padavin. To je **prag ≤ 70 -odstotni delež** dolgoletnih padavin v vegetacijskem obdobju.

Vidimo tudi, da se v kar nekaj sušnih vegetacijskih sezonah DKP giblje rahlo nad 70 % (leto 2001 v Portorožu v vegetacijski sezoni trave in leto 2013 v Celju v vegetacijski sezoni koruze ter druge).

Preglednica 28: Delež padavin (%) v vegetacijski sezoni koruze (3. dekada aprila–1. dekada oktobra) v obdobju 2000–2013. V oranžnih okvirčkih so z * označena leta, ko je padlo ≤ 70 % padavin glede na povprečje 1971–2000.

Table 28: Share of precipitation totals (%) in the vegetation period of maize (from 3rd decade of April to 1st decade of October) in the years from 2000 to 2013. Years with ≤ 70 % of precipitation related to the reference period 1971–2000 are marked with * in the orange frames.

Leto/Lokacija	RA	BI	LJ	NM	ČR	CE	MB	ŠSG	MS	PO
2000	104	96	89	61*	73	81	90	113	75	82
2001	97	83	102	84	96	107	94	116	84	115
2002	89	113	99	118	112	90	84	94	95	150
2003	134	44*	73	68*	66*	53*	81	89	71	56*
2004	115	84	105	81	93	85	100	122	90	70*
2005	100	96	134	139	132	143	121	122	126	102
2006	78	57*	103	116	111	101	93	109	134	107
2007	105	78	95	100	119	106	109	138	113	94
2008	101	86	95	99	98	115	99	104	99	79
2009	107	64*	83	70*	55*	86	142	112	127	56*
2010	102	146	140	105	115	110	91	107	119	153
2011	108	61*	76	80	90	79	55*	92	114	66*
2012	118	61*	97	104	122	92	82	116	104	65*
2013	78	84	96	73	94	71	61*	67*	88	70*

Preglednica 29: Delež padavin (%) v vegetacijski sezoni ozimne pšenice (2. dekada marca–2. dekada julija) v obdobju 2000–2013. V oranžnih okvirčkih so z * označena leta, ko je padlo ≤ 70 % padavin glede na povprečje 1971–2000.

Table 29: Share of precipitation (%) in the vegetation period of winter wheat (from 2nd decade of March to 2nd decade of July) in the years from 2000 to 2013. Years with ≤ 70 % of precipitation related to reference period 1971–2000 are marked with * in the orange frames.

Leto/Lokacija	RA	BI	LJ	NM	ČR	CE	MB	ŠSG	MS	PO
2000	99	91	87	55*	62*	66*	65*	106	62*	70*
2001	99	82	102	94	87	117	93	114	94	91
2002	76	65*	86	134	97	79	70*	73	92	107
2003	90	36*	53*	48*	47*	38*	45*	53*	41*	45*
2004	121	84	121	112	110	119	135	152	125	88
2005	92	86	95	123	113	124	126	117	117	92
2006	62*	54*	89	101	101	104	94	90	143	73
2007	88	54*	73	92	110	78	93	104	83	45*
2008	89	103	119	98	110	121	93	111	79	113
2009	100	96	116	91	88	108	122	116	136	74
2010	81	99	74	82	94	61*	65*	61*	78	89
2011	95	64*	78	79	108	78	37*	97	72	61*
2012	97	90	100	88	96	88	70*	88	98	63*
2013	94	131	119	99	122	101	95	85	94	116

Načeloma pa meja zajame večji del sušnih vegetacijskih sezon. V tem logično ni vključena razporeditev padavin znotraj posameznih fenoloških obdobj, ki je pri poškodovanosti rastlin zaradi suše nujna.

Iz preglednic 27 do 29 je razvidno, da je bila kumulativa padavin v vegetacijskih obdobjih izbranih rastlin regijsko zelo raznolika. Na primer: leta 2011 je izstopala lokacija Maribor (DKP za vegetacijsko obdobje za pšenico je 37 %, za koruzo 55 % in travo 51 %), leta 2012 je izstopala lokacija Portorož (DKP za vegetacijsko obdobje za travo je 60 %, za koruzo 65 %, za pšenico 63 %). Leta 2013 je spet izstopala lokacija Maribor (DKP za vegetacijsko obdobje za koruzo je 61 %, za travo 48 %), pa Šmartno pri Slovenj Gradcu (DKP za vegetacijsko obdobje za travo je 66 %, za koruzo 67 %) ter Portorož (DKP za vegetacijsko obdobje za koruzo je 70 %). Pri travi in pšenici je bilo s padavinami najbolj slabo oskrbljeno vegetacijsko obdobje 2003 na skoraj vseh lokacijah, pri koruzi na polovici lokacij.

Samo vrednost DKP od dolgoletnega povprečja žal ne pove, kakšna je časovna porazdelitev padavin, zato si lahko pomagamo z mesečnimi ali dekadnimi kartami deležev. Za tekoče leto so karte prikazane v agrometeoroloških dekadnih biltenih, ki jih izdaja ARSO (Bilteni vodnobilančnega..., 2013). Za interpretacijo sušnega stresa pri rastlinah je zato nujno upoštevati tudi druge dejavnike. DKP nam služi kot prvi korak regionalizacije začetnih znakov kmetijske suše v fazi 1.

V nadaljevanju obravnavanja DKP in kumulativnih padavin so nas zanimali tudi trendi sprememb kumulativnih padavin v vegetacijskih obdobjih obravnavanih rastlin v obdobju 1961–2013.

4.2.1.1 Primerjava kumulativnih padavin v vegetacijskem obdobju trave, koruze in ozimne pšenice v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013

Iz analize DKP v dveh enako dolgih časovnih nizih 1961–1986 in 1987–2013 lahko ugotovimo, da se povečuje število vegetacijskih obdobj, ko pri vseh treh rastlinah pade glede na dolgoletno povprečje 1971–2000 manj kot 70 % padavin (preglednica 30).

Izjema sta lokaciji Rateče, kjer v vegetacijskem obdobju trave ni bilo nobenega leta z manj kot 70 % padavin ne v prvem in ne v drugem obdobju, in Šmartno pri Slovenj Gradcu, kjer je bilo v obeh obdobjih le eno leto pod pragom izbrane količine padavin. V Črnomlju so bila v obeh obdobjih 3 leta z manj kot 70 % padavin. Največja sprememba je v Portorožu, kjer v novejšem obdobju beležimo 9 takih let in nobenega v prvem obdobju. Tudi v Mariboru je v novejšem obdobju 5 takih let več. Sledita Celje in Bilje, kjer so v novejšem obdobju 4 leta z manj kot 70 % padavin več.

Pri koruzi je stanje podobno. Najbolj se je število let z izbranim pragom povečalo v Portorožu, za 5 let, in v Novem mestu, za 4 leta. Nobene spremembe ni v Murski Soboti – je pa bila leta 2003 količina padavin zelo blizu meje (71 %) – v Šmartnem pri Slovenj Gradcu in Ljubljani.

V vegetacijskih obdobjih ozimne pšenice se sušnost povečuje v Biljah, Novem mestu, Portorožu, Celju, Mariboru, Šmartnem pri Slovenj Gradcu in Murski Soboti. V Ratečah, Ljubljani in Črnomlju število sušnih let v obeh obdobjih ostaja enako.

Najočitnejši je porast let z izbranim pragom v Portorožu za vse izbrane rastline. To pomeni resno tveganje za kmetijsko pridelavo. V analizi smo izvedli tudi primerjavo količine padavin v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013 za vse postaje in različna vegetacijska obdobja izbranih rastlin (preglednica 31).

Preglednica 30: Število let, ko je delež padavin manjši od 70 % povprečja 1971–2000 v vegetacijski sezoni trave (a), koruze (b) in ozimne pšenice (c) v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013.

Table 30: Number of years with share of precipitation less than 70 % of the average 1971–2000 in the vegetation period of grass (a), maize (b) and winter wheat (c) in the periods 1961–1986 and 1987–2013.

Postaja/ Obdobje	RA	BI	LJ	NM	ČR	CE	MB	ŠSG	MS	PO
a) Trava										
1961–1986	0	2	0	0	3	0	1	1	1	0
1987–2013	0	6	1	2	3	4	6	1	4	9
Razlika	0	4	1	2	0	4	5	0	3	9
b) Koruza										
1961–1986	1	3	0	0	2	1	1	1	1	3
1987–2013	0	6	0	4	3	3	3	1	1	8
Razlika	-1	3	0	4	1	2	2	0	0	5
c) Ozimna pšenica										
1961–1986	0	4	2	0	2	1	3	1	1	0
1987–2013	0	6	2	2	2	4	7	3	3	8
Razlika	0	2	0	2	0	3	4	2	2	8

Preglednica 31: Povprečna vsota padavin (mm) v vegetacijski sezoni trave (a), koruze (b) in ozimne pšenice (c) v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013 z razliko (v %).

Table 31: Average precipitation totals (mm) in the vegetation period of grass (a), maize (b) and winter wheat (c) in the periods 1961–1986 and 1987–2013 with difference (in %).

Postaja/ Obdobje	RA	BI	LJ	NM	ČR	CE	MB	ŠSG	MS	PO
a) Trava										
1961–1986	807,9	645,8	703,6	603,9	596,3	620,8	572,3	656,0	464,8	483,6
1987–2013	714,9	592,1	631,7	562,6	558,6	565,1	537,2	651,0	454,4	385,1
Razlika (%)	-11,5	-8,3	-10,2	-6,9	-6,3	-9,0	-6,1	-0,8	-2,2	-20,4
b) Koruza										
1961–1986	812,9	685,0	719,2	607,1	601,5	628,9	574,0	666,9	472,2	502,8
1987–2013	785,6	655,0	687,0	604,2	598,7	614,8	577,9	703,6	482,0	441,8
Razlika (%)	-3,4	-4,4	-4,5	-0,5	-0,5	-2,2	0,7	5,5	2,1	-12,1
c) Ozimna pšenica										
1961–1986	570,0	487,8	521,9	424,1	424,0	441,2	384,7	454,1	311,7	355,7
1987–2013	500,2	449,0	457,2	406,6	431,6	392,7	367,6	435,1	299,0	303,2
Razlika (%)	-12,2	-7,9	-12,4	-4,1	1,8	-11,0	-4,4	-4,2	-4,1	-14,8

Najmanj padavin v vegetacijskem obdobju trave je zabeleženih na lokaciji Portorož, kjer se je v novejšem obdobju količina padavin zmanjšala za 100 mm, kar je več kot 20 % glede na povprečje 1961–1986. Sledi zmanjšanje količine padavin v Ratečah, za 11,5 %. Od 6- do 10-odstotno zmanjšanje je v Ljubljani, Biljah, Novem mestu, Črnomlju, Celju in

Mariboru. Najmanjši so deleži v Šmartnem pri Slovenj Gradcu in Murski Soboti. Pri koruzi je delež zaradi daljšega vegetacijskega obdobja, ki smo ga postavili v 1. dekada oktobra, nekoliko manjši. Tudi pri koruzi je najbolj očitna sprememba v Portorožu (12,1 %). Pri pšenici pa je prav tako najbolj očitno zmanjšanje padavin v Portorožu (14,8 %) ter Ljubljani in Ratečah (12 %) (preglednica 31).

Ugotovimo lahko, da se količina padavin v vegetacijskih obdobjih izbranih rastlin v obdobju 1987–2013 zmanjšuje na vseh obravnavanih lokacijah.

4.2.1.2 Linearni trendi kumulativnih padavin v vegetacijskem obdobju trave, koruze in ozimne pšenice v obdobju 1961–2013

Ugotavljali smo tudi značilnost sprememb padavin v obdobju 1961–2013 za vegetacijska obdobja izbranih rastlin. Pri analizi kumulativnih padavin smo uporabili izračun linearne časovnega trenda.

Trend smo izrazili z absolutno in relativno spremembo kumulativnih padavin za izbrana vegetacijska obdobja trave, koruze in ozimne pšenice na 10 let za obdobje 1961–2013. Statistično značilnost podatkov glede na trend opiše koeficient variabilnosti (r^2); statistična značilnost trenda je podana s 95-odstotnim intervalom zaupanja.

Analiza kaže, da so trendi sprememb padavin v vegetacijski sezoni trave statistično značilni v Ratečah, Biljah, Ljubljani, Celju, Mariboru in Portorožu. Največja relativna sprememba padavin na 10 let je v Portorožu (10,6 %), najmanjša, med 1,3 in 1,8 % pa v Murski Soboti in Šmartnem pri Slovenj Gradcu. Pri spremembah padavin v vegetacijski sezoni koruze, razen v Portorožu, ni statistično značilnih trendov. Pri padavinah v obdobju od marca do julija pa sta trenda statistično značilna v Ratečah in Portorožu (preglednica 32). V nadaljevanju smo izbrali leta z najmanjšo količino padavin v vegetacijskem obdobju obravnavanih rastlin v obdobju 1961–2013 (preglednica 33) in prikazali statistično značilne trende za travo in ozimno pšenico (sliki 66 in 67).

V nasprotju z mnogimi drugimi kmetijskimi rastlinami je travna ruša trajnega travinja večletna. Rast travne ruše se časovno prilagaja obdobjem z dovolj razpoložljive vode. Tako lahko slabšo preskrbljenost s padavinami trava regulira tako, da spomladanski bujni rasti sledi poletno mirovanje in ob ugodnih razmerah ponovna rast v jesenskem obdobju (Čergan in sod., 2008).

Koruzi potrebuje največ vode v obdobju od cvetenja do mlečne zrelosti. Koruzi ima sicer nizek transpiracijski koeficient, ker pa lahko daje izjemno visok pridelek suhe snovi, so potrebe po vodi sorazmerno velike. Za pridelek 10 ton zrnja na hektar porabi koruzi vsaj 700 l/m², pri čemer nista upoštevani evaporacija in odcedna voda (Čergan in sod., 2008). V obravnavanem obdobju smo beležili v Murski Soboti vse sezone, ko je količina padavin manjša od 700 mm, v Mariboru in Portorožu 48 sezon, v Biljah 32, okrog 40 takih let je bilo tudi v Novem mestu, Celju, Črnomlju. Najmanj jih je bilo v Ratečah, 11.

Pri pšenici lahko ugotovimo, da na primer v Murski Soboti, ki je žitnica Slovenije, sicer upad padavin v obdobju od spomladi do poletja ni statistično značilen, vendar je padavin v

splošnem manj. V izbranem obdobju beležimo kar 13 let, ko je padlo manj kot 250 mm dežja v vegetacijski sezoni ozimne pšenice, od tega 8 v novejšem obdobju.

Preglednica 32: Trendi vsote padavin v vegetacijski sezoni trave, koruze in ozimne pšenice v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije (z * so označeni statistično značilni trendi pri 95-odstotni stopnji zanesljivosti).

Table 32: Trends of precipitation totals in the vegetation period of grass, maize and winter wheat in the years from 1961 to 2013 for chosen locations (statistically significant trends at the 95 % confidence level are marked with *).

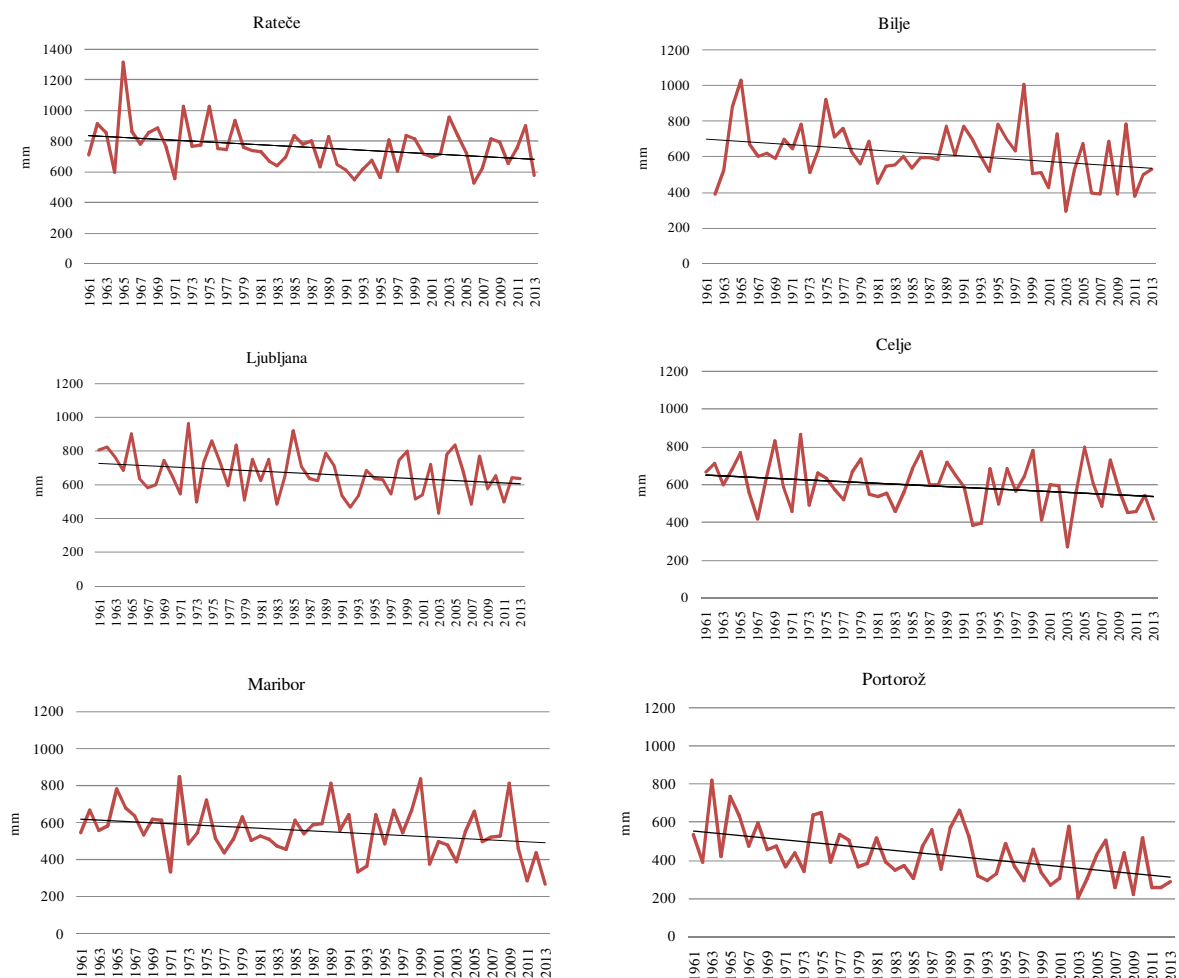
Postaja/ Rastlina	Trava			Koruza			Ozimna pšenica		
	Abs. sprem. (izražena na 10 let) [mm]	Rel. sprem. (izražena na 10 let) [%]	r ²	Abs. sprem. (izražena na 10 let) [mm]	Rel. sprem. (izražena na 10 let) [%]	r ²	Abs. sprem. (izražena na 10 let) [mm]	Rel. sprem. (izražena na 10 let) [%]	r ²
RA	-29,6	3,9	0,102*	-8,5	1,1	0,009	-19,7	3,7	0,058*
BI	-31,7	5,1	0,095*	-26,1	3,9	0,047	-15,9	3,4	0,035
LJ	-23,2	3,5	0,081*	-8,4	1,2	0,001	-15,7	3,2	0,042
NM	-17,4	3,0	0,046	-2,7	0,4	0,001	-11,3	2,7	0,036
ČR	-19,9	3,4	0,039	-4,7	0,7	0,001	-5,1	1,2	0,006
CE	-22,6	3,8	0,079*	-7,8	1,3	0,001	-15,5	3,7	0,051
MB	-24,1	4,3	0,078*	-8,0	1,4	0,001	-13,8	3,7	0,039
ŠSG	-11,9	1,8	0,022	-4,7	0,7	0,003	-13,7	3,1	0,038
MS	-5,9	1,3	0,007	-2,7	0,6	0,002	-3,9	1,3	0,005
PO	-46,0	10,6	0,273*	-31,3	6,6	0,100*	-26,8	8,1	0,239*

Preglednica 33: Leta z najnižjo količino padavin v vegetacijski sezoni trave, koruze in ozimne pšenice v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije (v oranžnih okvirčkih so označena leta v obdobju 1987–2013).

Table 33: Years with the lowest precipitation totals in the vegetation period of grass, maize and winter wheat in the years from 1961 to 2013 for chosen locations (years in the period 1987–2013 are marked in orange frames).

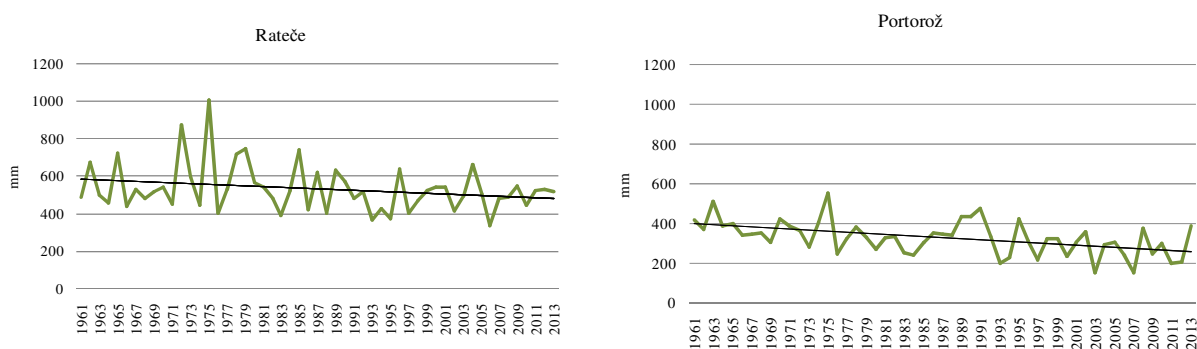
Rastlina/ Lokacija	Trava	Koruza	Ozimna pšenica
RA	2006	1971	2006
BI	2003	2003	2003
LJ	2003	1992	2003
NM	2000	2000	2003
ČR	1986	1986	1986
CE	2003	2003	2003
MB	2013	2011	2011
ŠSG	2013	1971	2003
MS	1992	1992	2003
PO	2003	1985	2007

Za tvorbo enega kilograma suhe snovi porabijo žita od 400 do 700 l/m². Izpad pridelka zaradi pomanjkanja vode je največji, kadar to nastopi v obdobju od začetka kolenčenja do klasenja. V ekstremnih primerih se lahko pridelek zmanjša celo za 80 %. V tem obdobju, ko je rast najbolj intenzivna, rastline porabijo kar okoli 50 % vse potrebne količine vode. K sreči se v naših rastnih razmerah suša v tem obdobju pojavi zelo redko. Pri nas suša posevke žit najpogosteje prizadene v obdobju mlečne zrelosti in nalivanja zrnja. Zaradi tega je zrnje drobnejše in slabše kakovosti (Čergan in sod., 2008).



Slika 66: Vsota padavin (mm) v vegetacijski sezoni trave (1. dekada aprila–2. dekada septembra) v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije s statistično značilnim linearnim trendom.

Figure 66: Precipitation totals (mm) in the vegetation period of grass (from 1st decade of April to 2nd decade of September) in the years from 1961 to 2013 for chosen locations with statistically significant linear trend.



Slika 67: Vsota padavin (mm) v vegetacijski sezoni ozimne pšenice (2. dekada marca–2. dekada julija) v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije s statistično značilnim linearnim trendom.

Figure 67: Precipitation totals (mm) in the vegetation period of winter wheat (from 2nd decade of March to 2nd decade of July) in the years from 1961 to 2013 for chosen locations with with statistically significant linear trend.

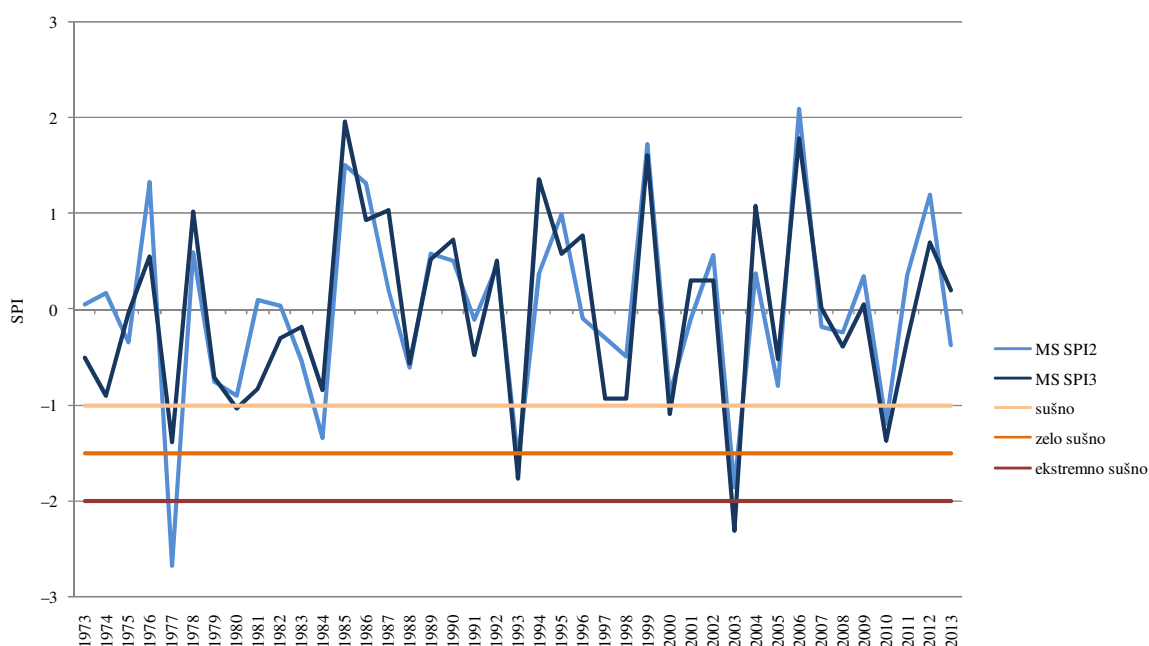
4.2.2 Standardiziran padavinski indeks

Številne študije so pokazale močno korelacijo SPI3 z odzivom vegetacije (Rossi in Niemeyer, 2012; Ji in Peters, 2003; Sepulcre-Canto in sod., 2012) in je zato najbolj primeren za ugotavljanje kmetijske suše.

Pri obravnavi kmetijske suše sta se v Sloveniji kot pomembna kazalca na osnovi analize zavarovalniških tveganj izkazala za spomladanske poljščine SPI3, izračunan na dan 15. junija (ponazarja stanje v obdobju 15. marec–15. junij), in za poletne poljščine SPI4, izračunan na dan 1. septembra (ponazarja stanje v obdobju 1. maj–1. september) (Triglav, 2013). Pri delu smo zato povzeli te ugotovitve. Vrednosti SPI med -1 in $-1,49$ označujejo sušno stanje, med $-1,5$ in $-1,99$ zelo sušno, pod $-2,0$ pa ekstremno sušno stanje izbranega obdobja, v našem primeru 3- ali 4-mesečnega obdobja.

Kot smo omenili že v metodologiji, je za sprotno sledenje kmetijske suše primerno krajše obdobje SPI (SPI1 do SPI4). Pri analizi kmetijske suše na operativni ravni se izdeluje kartografija SPI za pretekli mesec in tromesečno obdobje. Karte so v biltenih objavljene na spletni strani ARSO (Bilteni vodnobilančnega ..., 2013).

Na sliki 68 je izrisan potek SPI2 in SPI3 za Mursko Soboto. S slike je razvidno, da sta bili najbolj sušni sezoni v obdobju 1972–2013 v letih 1977 in 2003.



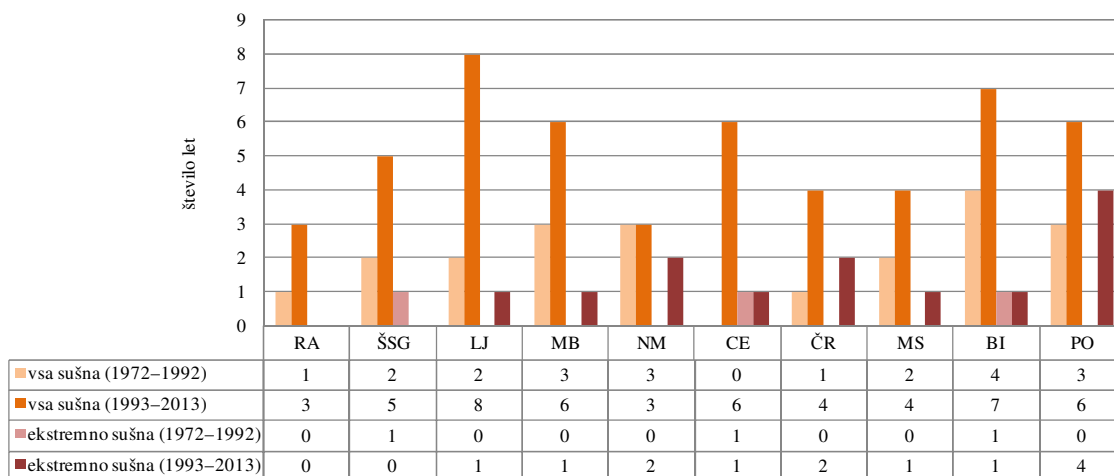
Slika 68: Standardiziran padavinski indeks za 2- in 3- mesečno obdobje v vegetacijski sezoni ozimne pšenice, izračunana na dan 15. junija v obdobju 1972–2013 v Murski Soboti.

Figure 68: Standardized precipitation index for 2- and 3-month period in the vegetation season of winter wheat calculated on June 15 in the years from 1972 to 2013 in Murska Sobota.

Analiza SPI3 (slika 69) kaže, da v zadnjih letih, predvsem po letu 2000, pogosteje beležimo tudi sušnejša spomladanska obdobja, ko je stanje glede na $SPI3 < -1$. Spomladanske poljščine, med katere poleg pšenice sodijo še ječmen, oves, rž, proso, oljna

ogrščica in oljna repica, so torej vse pogostejše v spomladanskem in zgodnjepoletnem padavinskem primanjkljaju glede na SPI3.

To potrjujeta preglednica 34 in slika 69. Najbolj sušna vegetacijska sezona za ozimno pšenico je bila leta 2003, ko so na obravnavanih lokacijah, razen v Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu, vrednosti SPI3 padle pod -2 . Za pšenico neugodna je bila tudi sezona 2000 v Črnomlju in Novem mestu ter sezona 2007 v Portorožu. Zelo sušne sezone so bile tudi leta 2010 (na 6 od 10 lokacij) in 2011 (na 5 od 10 lokacij).



Slika 69: Število let s standardiziranim padavinskim indeksom za 3-mesečno obdobje $SPI3 < -1$ v vegetacijski sezoni ozimne pšenice, izračunano na dan 15. junija v obdobjih 1972–1992 in 1993–2013 ter število ekstremno sušnih let s $SPI3 < -2$ v obeh obdobjih.

Figure 69: Number of years with standardized precipitation index for 3-month period $SPI3 < -1$ in the vegetation period of winter wheat calculated on June 15 in the periods 1972–1992 and 1993–2013 and number of extremely dry years with $SPI3 < -2$ in both periods.

Po pogostejšem pojavu sušnih sezon za ozimno pšenico glede na SPI3 še posebno izstopata Celje in Ljubljana, kjer v preteklosti skoraj nismo beležili sušnih obdobj, po letu 1993 pa je bilo takih sezon kar 6 več. Manjše spremembe v smer sušnejših sezon so tudi v Šmartnem pri Slovenj Gradcu, Mariboru, Črnomlju in Biljah (3 leta več v novejšem obdobju). Najmanjše spremembe so v Ratečah in Murski Soboti, 2 sezoni. V Novem mestu ni sprememb v številu sušnih let. Pomembno je tudi dejstvo, da se je na 8 od 10 lokacij v novejšem obdobju povečalo tudi število ekstremno sušnih sezon ($SPI3 < -2$) (slika 69).

Preglednica 34: Standardiziran padavinski indeks za 3-mesečno obdobje v vegetacijski sezoni ozimne pšenice, izračunan na dan 15. junija v obdobju 2000–2013 (v rdečih okvirčkih so označena leta, ko je $SPI3 < -1$) za izbrane lokacije.

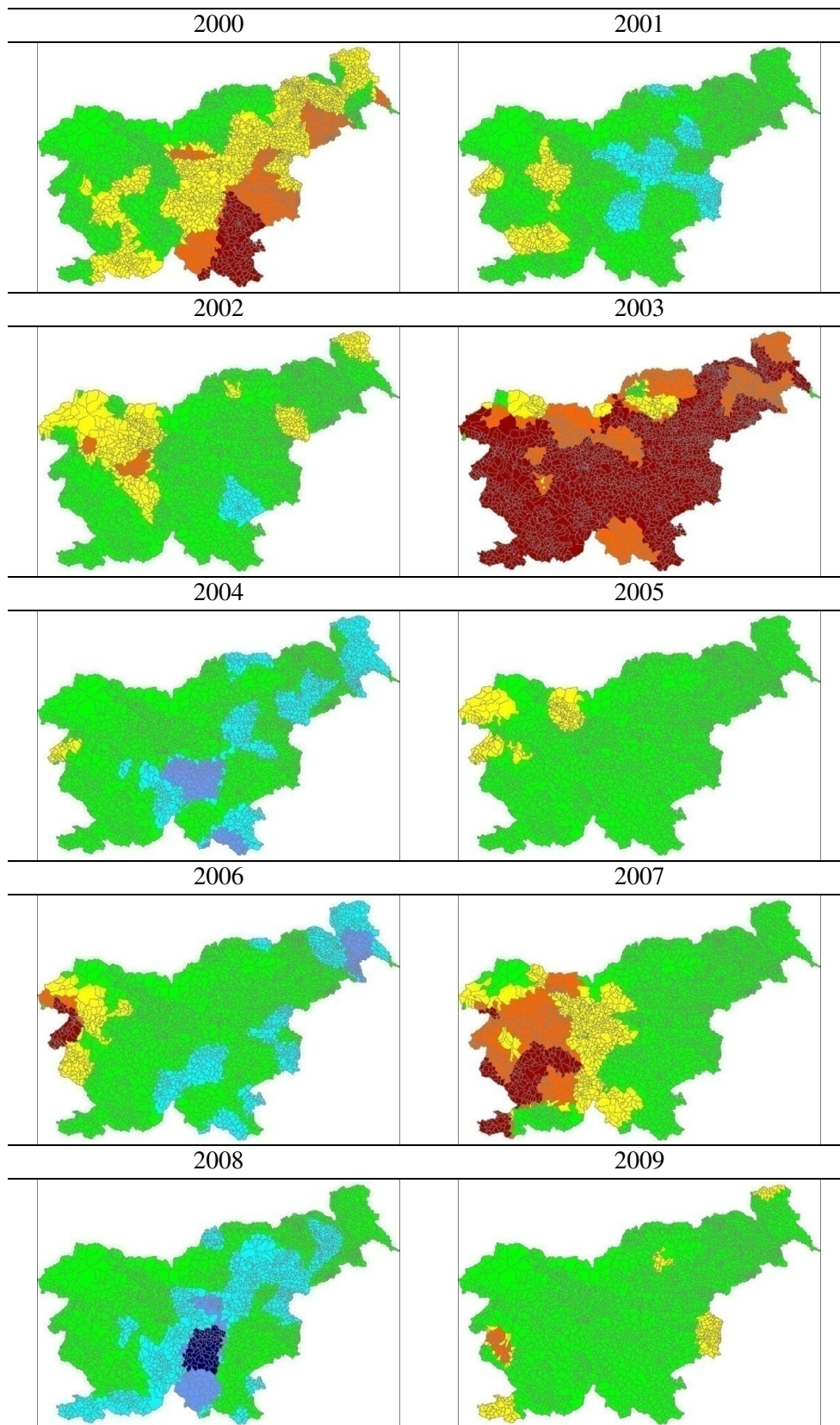
Table 34: Standardized precipitation index for 3-month period in the vegetation period of winter wheat calculated on June 15 in the years from 2000 to 2013 (years with $SPI3 < -1$ are marked in the red frames) for chosen locations.

Postaja/ Leto	RA	ŠSG	LJ	MB	NM	CE	ČR	MS	BI	PO
2000	-0,29	-0,62	-0,65	-1,29	-2,8	-1,53	-2,5	-1,08	-0,85	-0,72
2001	0,09	0,62	0,6	0,04	0,6	1,3	-0,51	0,31	-0,27	-0,53
2002	-1	-1,17	-0,83	-0,96	1,69	-0,08	0,55	0,3	-0,22	0,2
2003	-0,71	-1,73	-2,61	-2,31	-2,8	-2,65	-2,97	-2,3	-2,87	-2,65
2004	0,45	1	0,61	0,58	0,56	1,02	1	1,08	-0,01	-0,42
2005	-0,66	-0,59	-0,86	-0,15	0,39	-0,42	-0,01	-0,52	0,29	-0,35
2006	-0,7	0,46	-0,08	0,19	0,99	0,72	0,8	1,79	-1,17	-0,3
2007	-0,81	0,01	-1,42	0,3	-0,36	-0,54	-0,4	0,02	-1,97	-2,21
2008	-0,02	0,51	0,82	0,52	0,75	1,3	-0,02	-0,38	0,71	1,24
2009	0,08	-0,87	-0,5	-0,26	-0,04	-0,17	-0,58	0,06	-1,74	-1,14
2010	-0,41	-1,38	-1,58	-1,57	-0,6	-1,51	-1,15	-1,37	0,86	0,06
2011	-0,77	-0,47	-1,21	-1,54	-0,21	-1,09	-0,02	-0,31	-1,06	-2,15
2012	0,51	0,05	0,58	-0,45	0,29	0,56	0,86	0,7	0,78	-0,3
2013	0,74	0,13	1,36	0,24	0,64	0,52	0,85	0,21	1,95	1,92

Na koncu analize $SPI3$ je dodan še prostorski prikaz $SPI3$ (v nadaljevanju tudi $SPI4$) za zadnjih trinajst let, ki je bil izdelan na ARSO (Meteorološki podatki ..., 2013). Vrednosti SPI so izračunane za meteorološke postaje, za katere obstaja dovolj dolg podatkovni niz (vsaj od leta 1971). V tem primeru smo uporabili nekoliko krajše nize, in sicer od leta 1972 dalje, ko so v arhivu dostopni podatki o SPI .

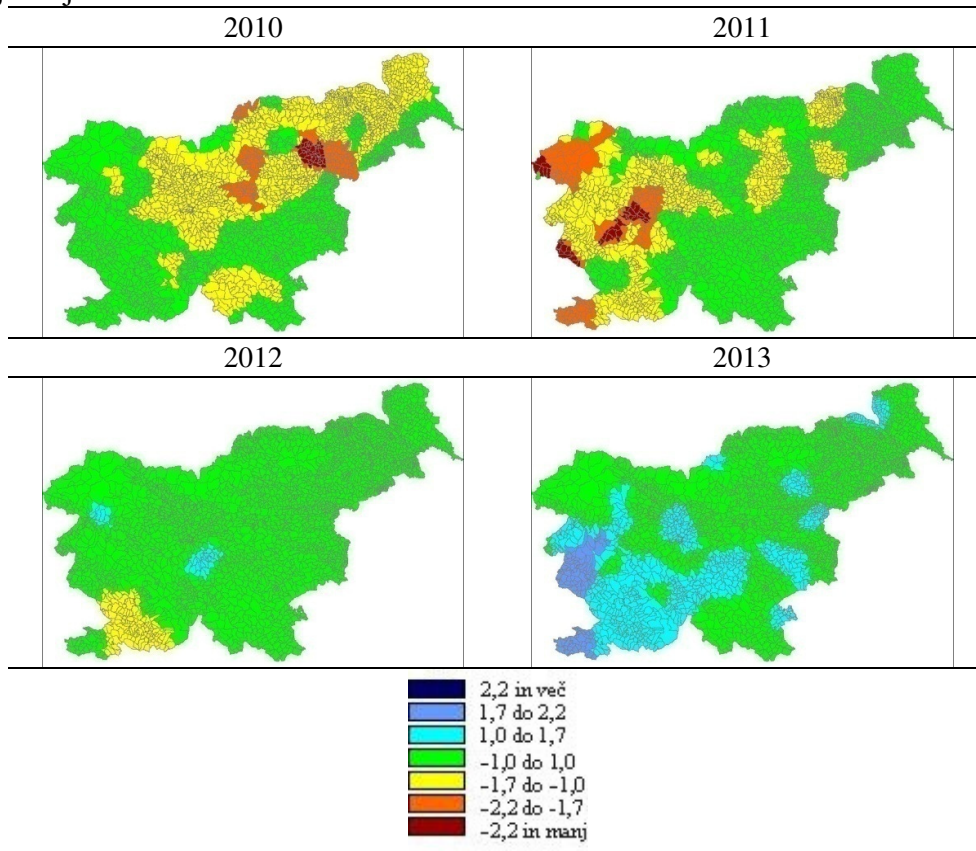
Prostorski prikazi povprečij za $SPI3$ in $SPI4$ po katastrskih občinah so prikazani na slikah 70 in 72.

S slike 70 je razvidno, da je bila najhujša suša določena na podlagi $SPI3$ (izračunan na dan 15. junija) v letu 2003, ki je prizadela večji del slovenskega prostora in so bile vrednosti po SPI v razredu ekstremne sušnosti. $SPI3$ kaže tudi spomladansko in zgodnjepoletno kmetijsko sušo leta 2000 (JV del Slovenije), leta 2006 (skrajni JZ del Slovenije) in 2007 (JZ del Slovenije). Tudi v letih 2010 in 2011 smo beležili sušne pomladi, kar je neugodno vplivalo na razvoj spomladanskih poljščin.



„se nadaljuje“

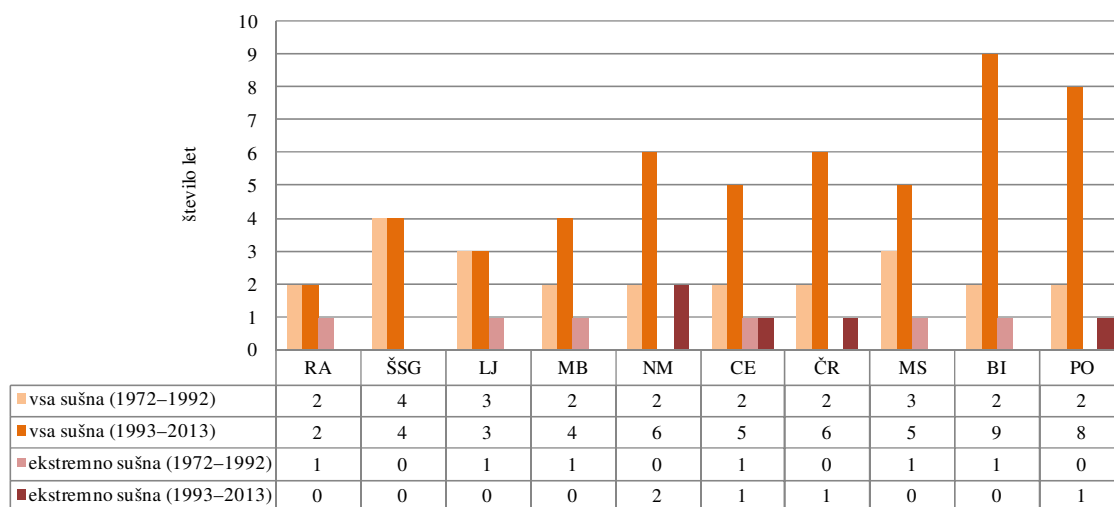
„nadaljevanje“



Slika 70: Karte standardiziranega padavinskega indeksa za 3-mesečno obdobje v vegetacijski sezoni ozimne pšenice (SPI3, izračunan na dan 15. junija) v letih od 2000 do 2013 za katastrske občine.

Figure 70: Maps of standardized precipitation index for 3-month period in the vegetation period of winter wheat (SPI3, calculated on June 15) in the years from 2000 to 2013 for cadastral municipalities.

Tudi SPI4 kaže, da v obdobju maj–avgust v zadnjih letih, predvsem po letu 2000, pogosteje beležimo sušnejša obdobja predvsem v Biljah in Portorožu (preglednica 35). Tam je kar 7 oziroma 6 sušnih sezon za koruzo v obdobju 1993–2013 določenih glede na $SPI4 < -1$. Manjše spremembe v smeri sušnejših sezon so tudi v Novem mestu in Črnomlju (4 več kot v obdobju 1972–1992), po dve več pa v Murski Soboti in Mariboru. Število sušnih let v Ratečah, Ljubljani in Šmartnem pri Slovenj Gradcu ostaja enako. Ugotovitve lahko veljajo tudi za druge poletne poljščine, ki jih vse pogosteje prizadeva sezonski padavinski primanjkljaj. V Celju, Črnomlju in Portorožu se je v novem obdobju po enkrat pojavila tudi ekstremna suša, v Novem mestu celo dvakrat (slika 71).



Slika 71: Število vseh let s standardiziranim padavinskim indeksom za 4- mesečno obdobje $SPI_4 < -1$ v vegetacijski sezoni koruze in trave, izračunan na dan 1. septembra v obdobjih 1972–1992 in 1993–2013 ter število ekstremno sušnih let s $SPI_4 < -2$ v obeh obdobjih.

Figure 71: Number of years with standardized precipitation index for 4-month period $SPI_4 < -1$ in the vegetation period of maize and grass calculated on September 1 in the periods 1972–1992 and 1993–2013 and number of extremely dry years with $SPI_4 < -2$ in both periods.

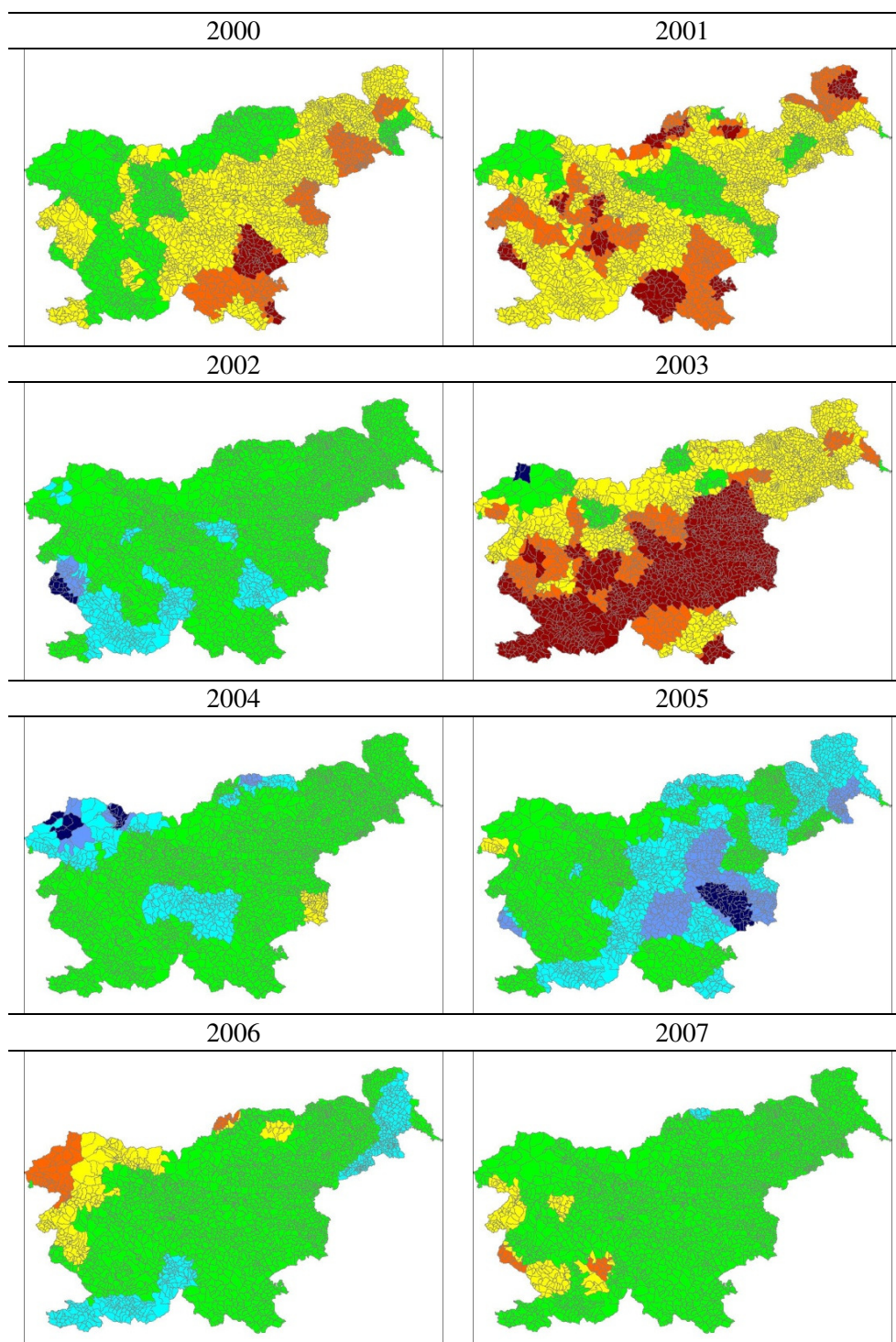
S slike 72 je razvidno, da je bila najhujša suša določena na podlagi SPI_4 v letu 2003, ko je prizadela večji del slovenskega prostora in so bile vrednosti prav tako kot pri SPI_3 v razredu ekstremne sušnosti, saj je suša trajala od marca do septembra. SPI_4 kaže še na ekstremne suše leta 2000, 2001, 2009, 2012 in 2013.

Preglednica 35: Standardiziran padavinski indeks za 4-mesečno obdobje v vegetacijski sezoni koruze in trave, izračunan na dan 1. septembra v obdobju 2000–2013 (v rdečih okvirčkih so označena leta, ko je $SPI_4 < -1$) za izbrane lokacije.

Table 35: Standardized precipitation index for 4-month period in the vegetation period of maize and grass calculated on September 1 in the years from 2000 to 2013 (years with $SPI_4 < -1$ are marked in the red frames) for chosen locations.

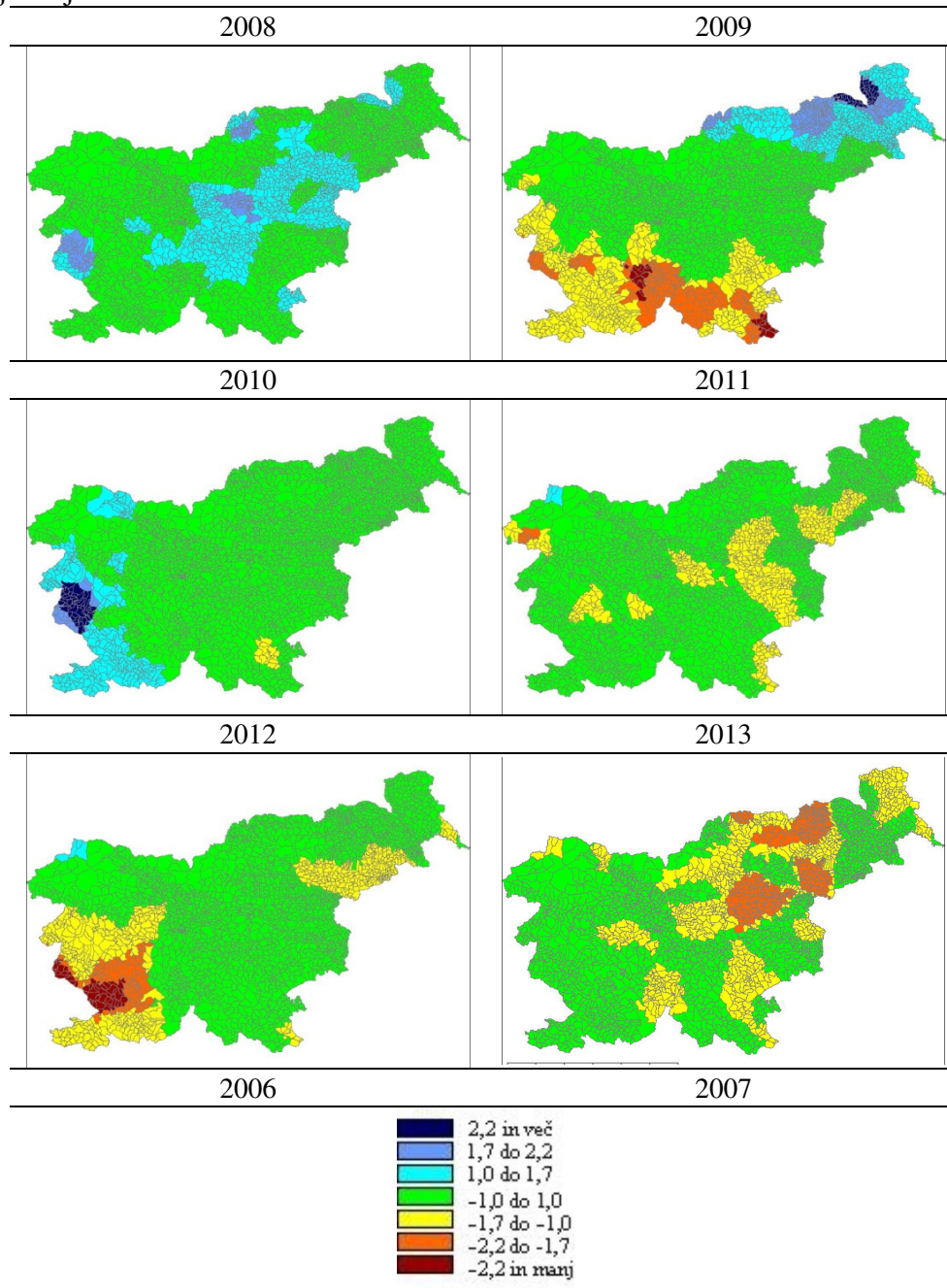
Postaja/ Leto	RA	ŠSG	LJ	MB	NM	CE	ČR	MS	BI	PO
2000	0,53	-0,49	-0,89	-1,32	-2,64	-1,48	-2,02	-1,89	-1,32	-1,25
2001	-0,08	-1,42	-1,25	-1	-1,97	-0,64	-1,84	-1,96	-1,29	-1,22
2002	*	-0,95	0,7	-0,51	1,26	-0,2	0,49	0,25	1,77	0,44
2003	2,62	-1,4	-1,67	-1,51	-2,81	-3,87	-1,33	-1,78	-1,83	-3,08
2004	1,87	0,7	0,9	0,44	-0,4	-0,13	0,05	0,09	-0,65	-0,66
2005	-0,08	0,66	0,72	0,95	1,69	1,76	0,61	1,47	0,52	0,12
2006	-1,97	-0,6	0,43	-0,27	0,65	0,25	-0,78	1,57	-1,18	1,12
2007	0,11	0,66	-0,8	0,15	-0,37	-0,33	-0,1	-0,06	-0,94	-0,88
2008	0,61	0,17	0,95	0,49	0,67	1,61	0,94	0,28	2,1	0,71
2009	-0,35	0,89	-0,37	2	-1,12	-0,3	-1,71	1,74	-1,26	-1,02
2010	-0,09	-0,37	-0,04	-0,3	-0,83	-0,96	-1,21	0,63	2,63	1,45
2011	1,3	0,08	-0,58	-1	0,03	-1,11	-0,61	0,27	0,12	-0,78
2012	1,2	-0,09	-0,27	-0,8	-0,51	-0,53	0,22	-0,43	-1,28	-1,25
2013	-1,13	-1,61	-0,61	-1,84	-1,42	-1,79	-1,14	-1,01	0,45	-0,98

* ni podatka



„se nadaljuje“

„nadaljevanje“



Slika 72: Karte standardiziranega padavinskega indeksa za 4-mesečno obdobje v vegetacijski sezoni koruze in trave (SPI4, izračunan na dan 1. septembra) v obdobju 2000–2013 za katastrske občine.

Figure 72: Maps of standardized precipitation index for 4-month period in the vegetation period of maize and grass (SPI4 calculated on September 1) in the years from 2000 to 2013 for cadastral municipalities.

Iz analize kumulativnih padavin sicer težko ocenimo stanje znotraj vegetacijskega obdobja, ker vsebuje premalo informacij o razporeditvi padavin. Že enkratni padavinski dogodek z večjo količino padavin lahko močno spremeni vsoto. SPI zazna ekstremne suše, vendar je njegova uporaba pri analizi kmetijske suše prav tako zelo odvisna od razporeda padavinskih dogodkov in je zato lahko problematičen. Na primer: leta 2013 v Biljah SPI4

ni bil negativen. Iz tega bi lahko sklepali, da suše tam ni bilo. Ocene suše kažejo drugače. V Šmartnem pri Slovenj Gradcu je SPI4 večkrat negativen (3-krat po letu 2000 tudi pod –1), DKP pa je, z izjemo leta 2013, večji kot 70 % na račun padavin v obdobju maj–september. Pri DKP upoštevamo celotno vegetacijsko obdobje, pri SPI4 oziroma SPI3 pa le krajši interval v vegetacijskem obdobju kmetijskih rastlin.

4.2.3 Meteorološka vodna bilanca

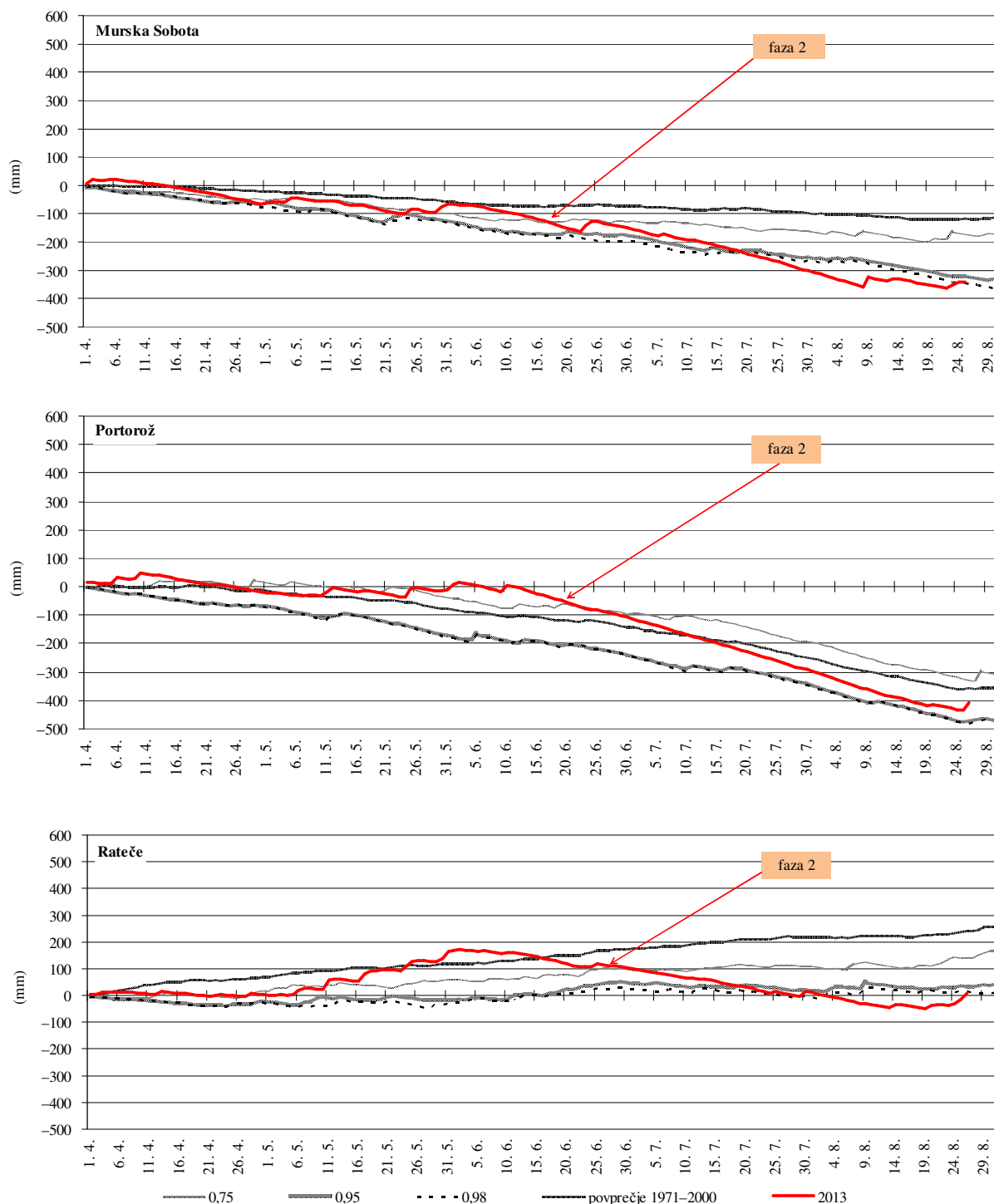
Ko se meteorološka suša v vegetacijski sezoni še stopnjuje (**faza 2**), je treba vključiti kompleksnejše kazalce, kot je npr. meteorološka vodna bilanca, ki opisuje razliko med padavinami in referenčno evapotranspiracijo. Izračunavamo jo lahko tudi za poljubno obdobje: posamezen mesec, vegetacijsko sezono različnih kmetijskih rastlin ali sušna obdobja. Za negativno razliko bomo v nadaljevanju uporabljali izraz vodni primanjkljaj.

Meje sušnosti smo določili na osnovi percentilne analize (metodologija je opisana v poglavju 3.2.3). Ko kumulativna vodna bilanca v vegetacijski sezoni preseže 75. percentil, je definirano območje sušnosti. Takrat v tristopenjskem konceptu sledenja kmetijske suše nastopi faza 2. Kadar se negativna vodna bilanca še stopnjuje in preseže 95. percentil, je stanje zelo sušno, z 98. percentilom pa je stanje ekstremno sušno. Na slikah je prikazan razvoj suše v letu 2013. Težave s sušo so se začele konec junija v Portorožu in Murski Soboti, nekoliko pozneje v Ratečah (slika 73).

Meteorološka vodna bilanca je izjemno dober kazalec tudi za študije tveganja suše na izbranih lokacijah. Ne vsebuje sicer podatka o tleh, vsebuje pa podatke o vodni bilanci referenčne rastline. Zato je opazovanje sprememb in trendov meteorološke vodne bilance zelo uporaben kazalec pri klimatoloških študijah kmetijske suše. V prvem delu smo analizirali spremembe meteorološke vodne bilance na izbranih lokacijah in poiskali linearne trende sprememb (preglednica 36).

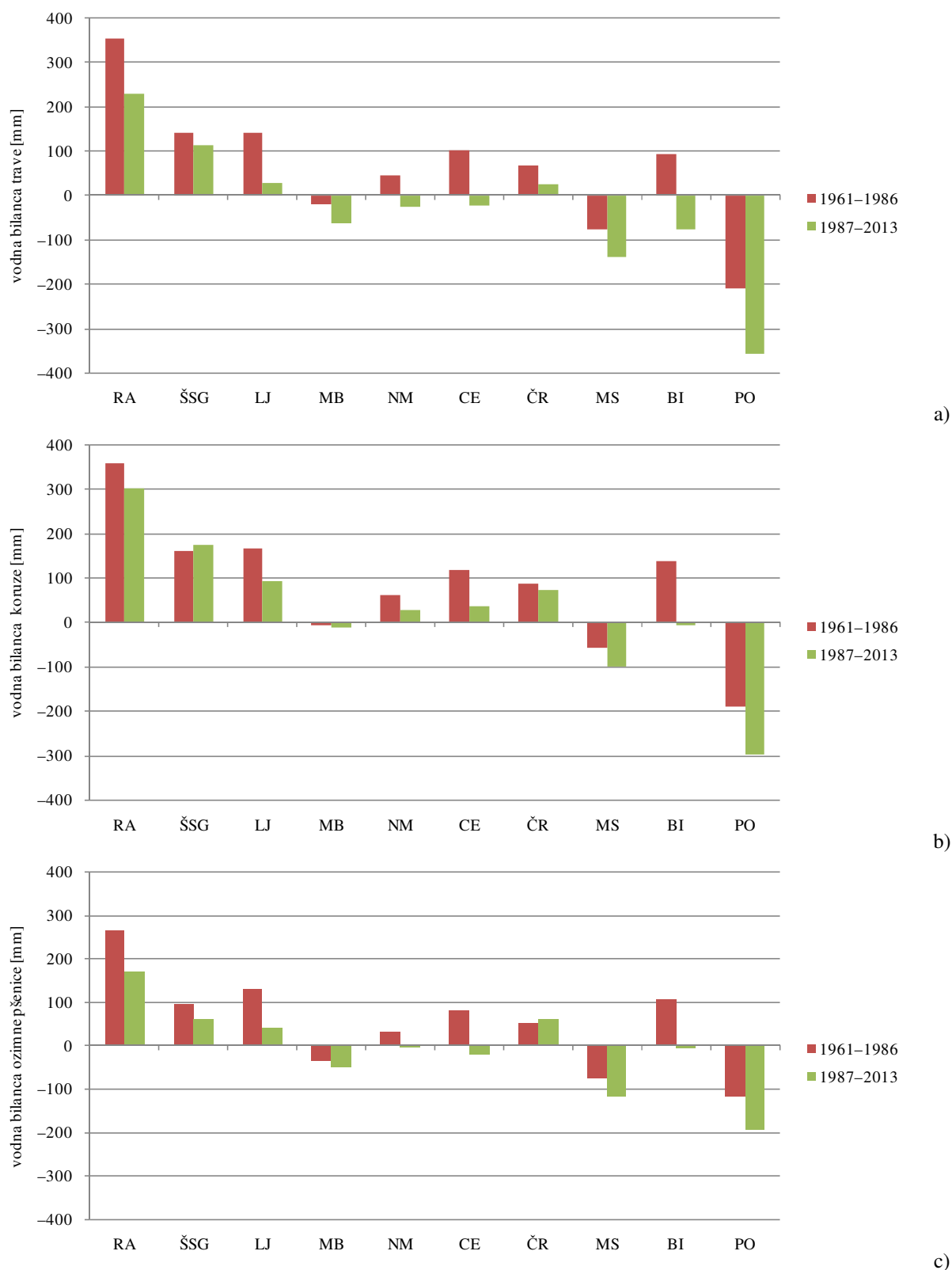
Analiza meteorološke vodne bilance v vegetacijskem obdobju trave kaže, da je v novejšem obdobju največji porast primanjkljaja pri travi v Biljah (170 mm), kjer je bila v preteklosti vodna bilanca pozitivna. Močno se povečuje tudi v Portorožu – za 146 mm v obdobju 1986–2013 v primerjavi z obdobjem 1961–1986 – kjer je bila vodna bilanca tudi v preteklosti negativna (slika 74 a). V negativno smer se obrača vodna bilanca v Celju in Novem mestu. Zmanjšuje se tudi v krajih, kjer je bila v preteklosti izjemno pozitivna in se je v novejšem obdobju zmanjšala. Tak primer je lokacija Rateče, kjer se je v novejšem obdobju vodna bilanca zmanjšala za 126 mm. Zelo se je vodna bilanca zmanjšala tudi v Ljubljani, za 107 mm. Najmanjše spremembe pa so v Šmartnem pri Slovenj Gradcu (29 mm) in Mariboru (41 mm).

V vegetacijskem obdobju koruze je stanje podobno kot pri travi, z največjim povečanjem primanjkljaja v Biljah (145 mm) in Portorožu (110 mm). Lastnosti sprememb v drugih krajih so podobne kot pri travi, le da je primanjkljaj manjši. Najmanjše so razlike v vodni bilanci v obeh obdobjih v Črnomlju in Mariboru. Pri postaji Šmartno pri Slovenj Gradcu pa je celo opazen porast za 15 mm, kar pripisujemo povečanju padavin v jesenskem času (slika 74 b). Tudi v vegetacijskem obdobju ozimne pšenice je največja sprememba v Biljah (113 mm), sledi povečanje v Portorožu, Ratečah, Ljubljani in Celju (slika 74 c).



Slika 73: Kumulativna vodna bilanca (mm) v obdobju 1. april–konec avgusta 2013 v primerjavi s povprečjem 1971–2000 ter percentilne meje (75. percentil – sušno, 95. percentil – zelo sušno in 98. percentil – ekstremno sušno) za Mursko Soboto, Portorož in Rateče.

Figure 73: Cumulative water balance (mm) from April 1 to the end of August 2013 in the comparison to average 1971–2000 and percentile thresholds (75th percentile – dry, 95th percentile – very dry and 98th percentile – extremely dry) for Murska Sobota, Portorož and Rateče.



Slika 74: Povprečna kumulativna vodna bilanca (mm) v vegetacijski sezoni trave (a), koruze (b) in ozimne pšenice (c) v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013.

Figure 74: Average cumulative water balance (mm) in the vegetation period of grass (a), maize (b) and winter wheat (c) in the periods 1961–1986 and 1987–2013.

Drugod je sprememba meteorološke vodne bilance v novejšem obdobju v primerjavi s preteklim obdobjem v rangju 10–40 mm, ponovno pa je v Šmartnem pri Slovenj Gradcu rahlo manjši primanjkljaj v novejšem obdobju.

V drugem delu analize kazalca meteorološke vodne bilance smo ugotavljali tudi časovno obnašanje kazalca in opažene spremembe na obravnavanih lokacijah (preglednica 36).

Preglednica 36: Linearni trendi meteorološke vodne bilance v vegetacijski sezoni trave, koruze in ozimne pšenice v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije (statistično značilni trendi pri 90-, 95- in 99-odstotni stopnji zanesljivosti so označeni z *, ** in ***).

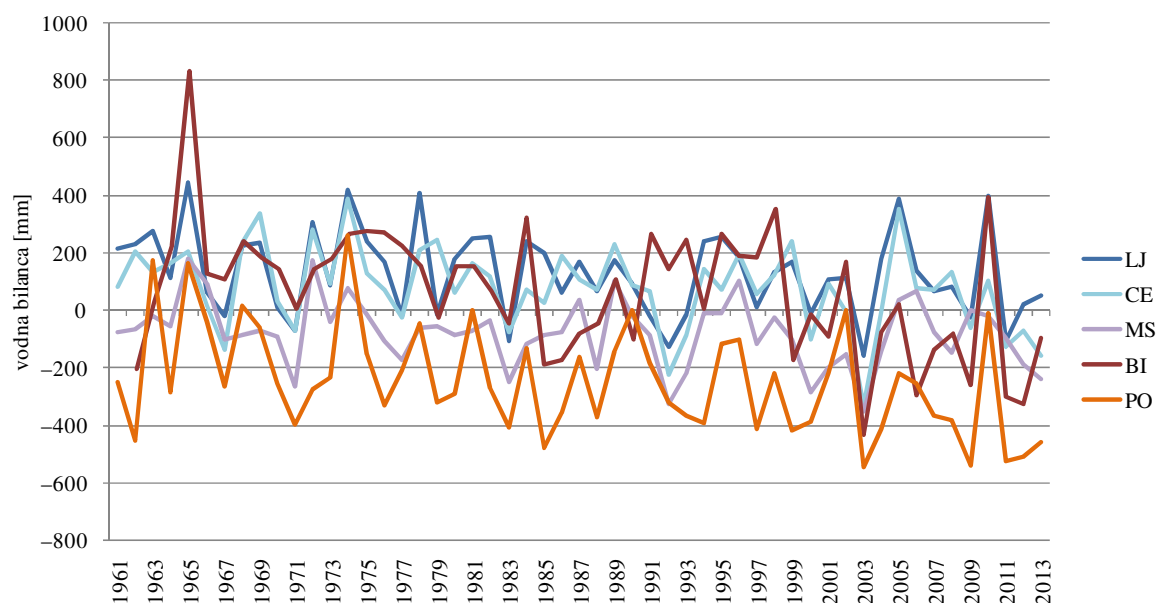
Table 36: Linear trends of meteorological water balance in the vegetation period of grass, maize and winter wheat in the years from 1961 to 2013 for chosen locations (statistically significant trends at the 90 % /95 %, 99 %/ confidence level are marked with * /**, ***).

Postaja/ Rastlina	Trava		Koruza		Ozimna pšenica	
	Abs. sprem. (izražena na 10 let) [mm]	r ²	Abs. sprem. (izražena na 10 let) [mm]	r ²	Abs. sprem. (izražena na 10 let) [mm]	r ²
RA	-42,7	0,176***	-20,4	0,043	-29,0	0,101**
ŠSG	-21,0	0,060*	-35,0	0,001	-20,1	0,065*
LJ	-39,4	0,157***	-24,2	0,065*	-25,6	0,084*
MB	-28,2	0,080**	-14,2	0,026	-15,3	0,035*
NM	-27,7	0,082**	-12,8	0,021	-17,3	0,061*
CE	-47,0	0,220***	-31,3	0,112*	-32,7	0,160***
ČR	-18,5	0,031	-5,3	0,003	-4,2	0,004
MS	-28,6	0,105**	-19,7	0,068*	-18,2	0,072*
BI	-71,8	0,299***	-65,8	0,200***	-41,8	0,166***
PO	-65,8	0,341***	-50,9	0,172***	-37,3	0,284***

Za vegetacijsko sezono trave so trendi vodne bilance v izbranem obdobju, razen v Črnomlju, statistično značilni na vseh lokacijah, so pa majhni, kar pomeni, da je vzorčna povezava med spremenljivkama majhna.

Pri vegetacijski sezoni koruze pa so trendi statistično značilni v Ljubljani, Celju, Murski Soboti, Biljah in Portorožu. Pri ozimni pšenici pa statistično značilen ni le trend v Črnomlju.

Variabilnost vodne bilance v vegetacijskem obdobju koruze za nekatere postaje s statistično značilnimi trendi je prikazana na sliki 75. Opazno je, da je bilo v preteklosti v Biljah kar nekaj sezon, ko je bila vodna bilanca izjemno pozitivna, v novejšem času pa večinoma negativna. Lokacija Portorož v novejšem obdobju ne dosega pozitivne vodne bilance. Podobno je tudi v Murski Soboti, z izjemo nekaj let, ko je vodna bilanca blizu 0.



Slika 75: Meteorološka vodna bilanca (mm) v vegetacijski sezoni koruze v obdobju 1961–2013 za izbrane lokacije s statistično značilnimi trendi.

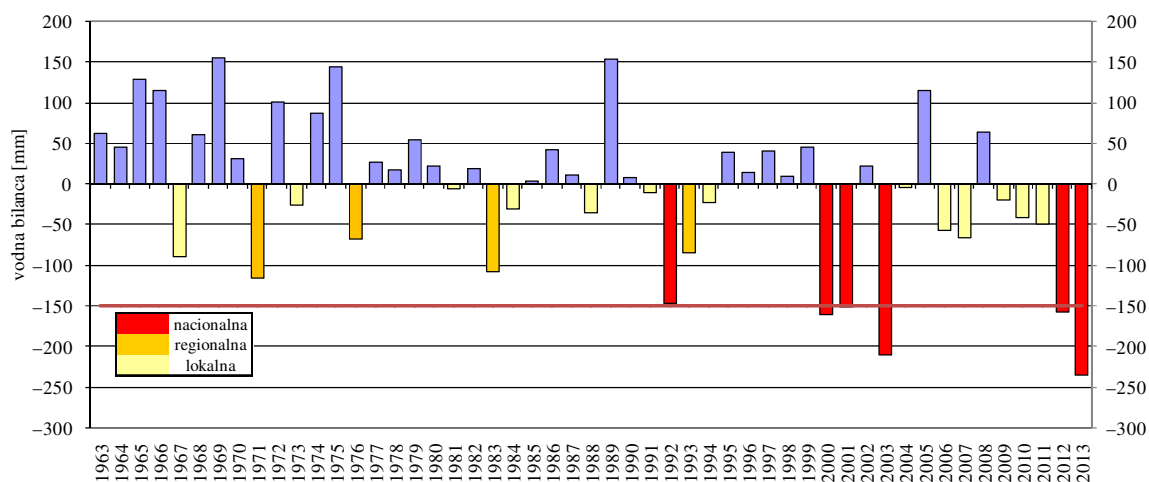
Figure 75: Meteorological water balance (mm) in the vegetation period of maize in the years from 1961 to 2013 for chosen locations with statistically significant trends.

4.2.3.1 Spremenljivost kmetijske suše glede na meteorološko vodno bilanco poleti

V analizi spremenljivosti kmetijske suše v poletnem času smo si prek kazalca kumulativne meteorološke vodne bilance pogledali tudi razprostranjenost in jakost kmetijske suše na izbranih desetih lokacijah. V nasprotju z nekaterimi žiti (pšenica, ječmen), ki jih požanjemo že na začetku julija, so nekatere druge kulturne rastline, predvsem koruza, ki je v osrednji Sloveniji pogosta, ravno med poletnim primanjkljajem vode v fenoloških fazah rasti, torej fazah, ko so njihove potrebe po vodi največje.

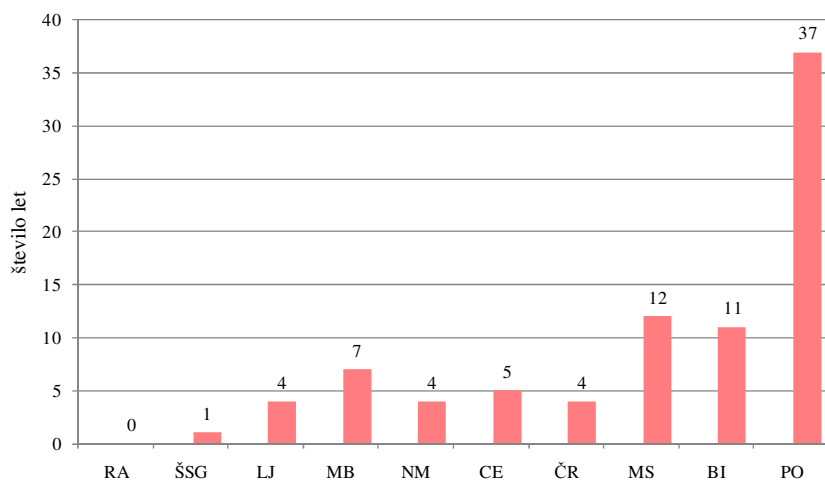
Primanjkljaj vode za kmetijske rastline v poletnem obdobju od junija do konca avgusta na desetih obravnavanih lokacijah, ki je bil večji od 150 mm (povprečni 75. percentil enostavne meteorološke bilance, ki pomeni razliko med padavinami in potencialno evapotranspiracijo), je v zadnjih petdesetih letih (1963–2013) kar 17-krat povzročil težave s kmetijsko sušo: lokalnih (vsaj v 2 regijah), regionalnih (v 3–4 regijah) ali izrazitih nacionalnih (več kot v 5 regijah) razsežnosti, in sicer v letih: 1967, 1971, 1976, 1983, 1984, 1992, 1993, 1994, 2000, 2001, 2003, 2006, 2007, 2009, 2011, 2012 in 2013 (slika 76). Frekvenca vodne bilance z izbranim pragom v izbranem obdobju po postajah je prikazana na sliki 77.

Leta 2003 in 2013 se je primanjkljaj, večji od 150 mm, pojavil v 8 od 10 regij. Primanjkljaj vode, večji od 150 mm, se je največkrat pojavil v Portorožu, in sicer 37-krat, v Murski Soboti 12-krat, v Biljah 11-krat, v Mariboru 7-krat in drugod do 5-krat. V Ratečah se tako velik primanjkljaj ni pojavil. Leta 2013 se je pojavil tako visok primanjkljaj tudi na Koroškem, kar v preteklosti ni bilo običajno.



Slika 76: Povprečna kumulativna poletna meteorološka vodna bilanca (mm) v obdobju 1963–2013 (rdeča črta pomeni 75. percentil – sušno) za 10 meteoroloških postaj v Sloveniji. Obseg suše je uvrščen kot: nacionalna suša (več kot 5 regij), regionalna suša (v 3 ali 4 regijah) in lokalna suša (v 1 ali 2 regijah).
Figure 76: Average cumulative summer meteorological water balance (mm) in the period 1963–2013 (red line represents 75th percentile – dry) for 10 meteorological stations in Slovenia. Drought extent is classified as: national drought (more than 5 locations), regional drought (3 or 4 locations) and local drought (1 or 2 locations).

Velika škoda se je zaradi suš regionalnega ali nacionalnega obsega pojavila 7-krat po letu 1990, od tega kar 5-krat po letu 2000 (slika 76). Suše so v letih 2000, 2001, 2003, 2012 in 2013 dosegle razsežnosti naravne nesreče. V letih 2006 in 2007 je bila škoda tudi velika, vendar prostorsko omejena. Ocenjena neposredna škoda je presegla 0,3 promila načrtovanih prihodkov državnega proračuna, kar je limit za pomoč v skladu z Zakonom o odpravi posledic naravnih nesreč.



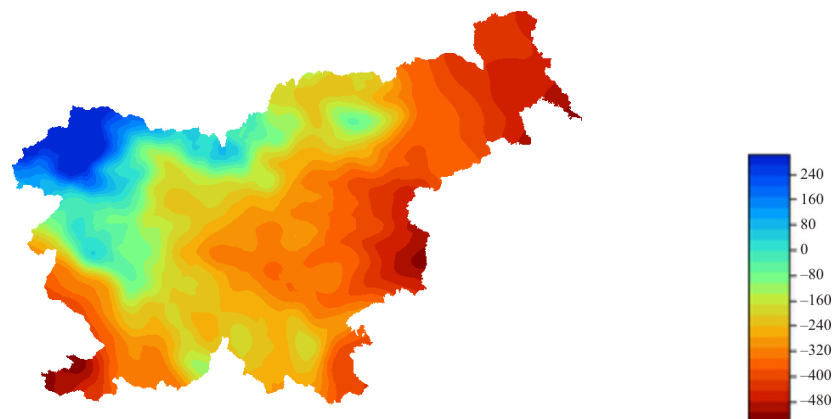
Slika 77: Število let s kumulativno poletno meteorološko vodno bilanco ≤ -150 mm v obdobju 1963–2013 za 10 meteoroloških postaj v Sloveniji.
Figure 77: Number of years with cumulative summer meteorological water balance ≤ -150 mm in the period 1963–2013 for 10 meteorological stations.

Spet izstopa leto 2003, ko je več kot 60 % slovenskega ozemlja prizadela ekstremno huda suša. Značilnost kmetijskih suš je, da so pogostejše in intenzivnejše v zadnjih desetih letih. Pojavnost pa je tako časovno kot regijsko od leta do leta raznolika. Poleg najbolj ranljivih regij severovzhodne in jugozahodne Slovenije že prizadene tudi druge dele Slovenije.

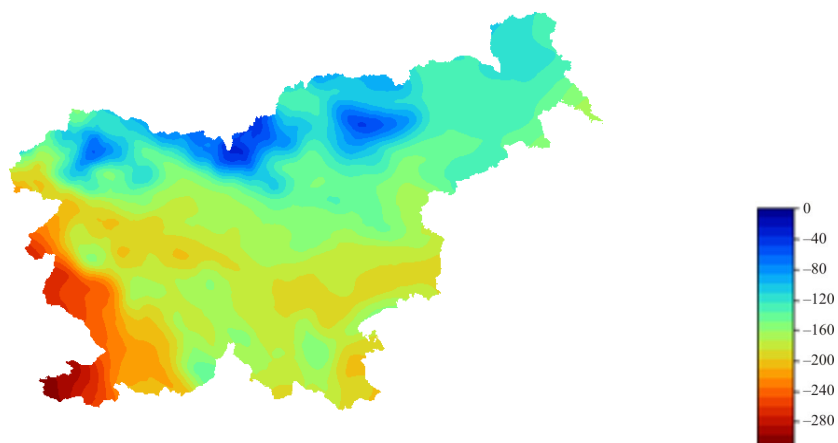
4.2.3.2 Prostorska ocena kmetijske suše na osnovi meteorološke vodne bilance v letih 2003, 2006 in 2013

Meteorološka vodna bilanca je bila glavni element dosedanjih ocen kmetijske suše v Sloveniji. Po letu 2012 so se v analize pričele integrirati vodnozadrževalne lastnosti tal. Pri tem gre za meteorološko vodno bilanco, izračunano za referenčno rastlino iz razlike med padavinami in potencialno evapotranspiracijo klimatoloških in padavinskih postaj v mreži Agencije RS za okolje. Na klimatoloških postajah, ki merijo temperaturo zraka, je možen direkten izračun evapotranspiracije, na padavinskih postajah pa se izračuna na osnovi najbližje referenčne klimatološke postaje. Na slikah 78, 79 in 80 so prikazane analize suše v letih 2003, 2006 in 2013 z meteorološko vodno bilanco.

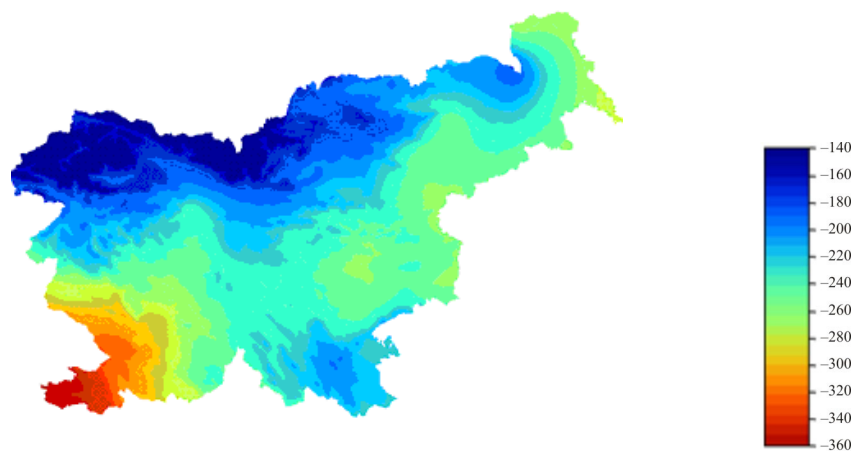
Leta 2003 je bil primanjkljaj vode v tleh za kmetijske rastline rekorden v vseh kmetijskopridelovalnih regijah. Škoda zaradi kmetijske suše leta 2003 je nastala v vseh slovenskih občinah razen Bovca, Kobarida in Jezerskega. Skupna neposredna škoda po verifikacijskih postopkih in medresorskem usklajevanju je bila ocenjena na 128,3 milijona EUR. Suša je trajala od marca do konca avgusta. Po podatkih Uprave RS za zaščito in reševanje, ki so bili zbrani na osnovi zapisnikov o ogledih in ocenah škode na kmetijskih rastlinah po suši, je bila skupna površina kmetijskih rastlin, ki so utrpele škodo po suši, blizu 380.685 ha; od tega je bil največji delež na trajnih travnikih, koruzi in pšenici.



Slika 78: Kmetijska suša od marca do avgusta 2003, ocenjena z meteorološko vodno bilanco (mm).
Figure 78: Agricultural drought from March to August in the year 2003 estimated by meteorological water balance (mm).



Slika 79: Kmetijska suša od 1. junija do 31. julija 2006, ocenjena z meteorološko vodno bilanco (mm).
Figure 79: Agricultural drought from June 1 to August 31 in the year 2006 estimated by meteorological water balance (mm).



Slika 80: Kmetijska suša od 11. junija do 10. avgusta 2013, ocenjena z meteorološko vodno bilanco (mm).
Figure 80: Agricultural drought from June 11 to August 10 in the year 2013 estimated by meteorological water balance (mm).

Največji primanjkljaj (ki je ponekod presegel vrednost 500 mm) je bil zabeležen v obalno-kraški regiji in na skrajnem vzhodu Slovenije. V osrednji Sloveniji so se vrednosti primanjkljaja v omenjenem obdobju gibale med 200 in 400 mm, v gorskem svetu zahodne in severne Slovenije pa primanjkljaja ni bilo.

Kmetijska suša leta 2006 je bila specifična v vseh pogledih. Prostorsko je prizadela manj kot 25 % območja Slovenije in je trajala le slaba 2 meseca, od 1. junija do 31. julija, vendar je bila na prizadetih območjih zelo intenzivna. Suša je po podatkih Programa za odpravo posledic škode v kmetijstvu po naravnih nesrečah prizadela okrog 21.000 kmetijskih pridelovalcev v 139 občinah, na okoli 170.000 ha površine. Škoda zaradi suše je bila ocenjena na 49,958.000 EUR.

Največji primanjkljaj je bil v obalno-kraški regiji. V omenjenem obdobju so zabeležili vrednosti primanjkljaja nad 150 mm v zahodni in osrednji Sloveniji ter na Dolenjskem in v Beli krajini. V severni in vzhodni Sloveniji so bile razmere ugodnejše.

Prostorsko analizo jakosti kmetijske suše leta 2013 smo izvedli z razpoložljivimi podatki ob koncu avgusta 2013, ko je bil po postopku za ugotavljanje naravnih nesreč določen termin za razglas suše. Na voljo je bilo le 58 lokacij z meritvami padavin (glavne in avtomatske postaje v mreži ARSO) ter le 13 lokacij, kjer je bil možen izračun potencialne evapotranspiracije. Obdobje 11. junij–10. avgust najbolje odraža kritičen čas pri nastanku škode na kmetijskih rastlinah zaradi suše in vročinskega stresa (slika 81). Za prostorsko oceno je bila ponovno uporabljena karta (slika 80) površinske vodne bilance (razlika med količino padavin in potencialno evapotranspiracijo).



Slika 81: Poškodbe na travinju zaradi poletne suše leta 2013 na Gorenjskem (foto: M. Kalan) (levo). Po suši poškodovana koruza na prodnatih tleh v Turnišču v poznem poletju 2012 (foto: A. Sušnik) (desno).
Figure 81: Damaged grasslands due to summer drought in the year 2013 in Gorenjska region (photo: M. Kalan) (left). Maize damaged due to drought on shallow soils in Turnišče in late summer 2012 (photo: A. Sušnik) (right).

4.3 KOMPLEKSNI KAZALEC DISS ZA UGOTAVLJANJE KMETIJSKE SUŠE

Kazalec DISS smo zasnovali kot orodje za sprotno sledenje in klimatološko vrednotenje sušnega stresa z upoštevanjem rastline, tal in vremena v izbranem časovnem intervalu. Analizo DISS na desetih lokacijah smo izvedli na treh različnih rastlinah (ozimni pšenici, koruzi in travi z različnimi vegetacijskimi obdobji) na treh različnih tipih tal (slaba, srednje dobra in dobra zadrževalna sposobnost tal za vodo) v obdobju 1961–2013.

Pšenico smo izbrali, ker z njo lahko sledimo pomladansko oziroma zgodnjepoletno sušo, koruzo kot kazalec poznopoletne suše in travo kot kazalec suše v vegetacijskem obdobju. Vegetacijsko obdobje ozimne pšenice smo definirali kot obdobje od spomladanskega razraščanja do žetve (od začetka aprila do konca julija), koruze kot obdobje od setve do spravila pridelka (od konca aprila do začetka oktobra), pri travi pa smo uporabili cikel štirih odkosov (od konca aprila do srede septembra). Natančnejše informacije o vhodnih podatkih so opisane v poglavju 3.1.3.1.

Za vsako lokacijo smo najprej izvedli analizo DISS posamezne rastline na različnih talnih tipih v obdobju 1961–2013. Podatke smo uporabili za izdelavo zasnove **faze 3** v tristopenjskem konceptu sledenja kmetijske suše. Treba je poudariti, da zahteva vsaka rastlina svojo obravnavo, saj se vegetacijski razvojni cikli rastlin med seboj razlikujejo in so zato vrednosti DISS primerljive le v enakem obdobju. Kumulativne letne vrednosti DISS predstavljajo vrednost, ki opiše poškodovanost posamezne rastline v njenem vegetacijskem obdobju. V naši študiji je dolžina vegetacijskega obdobja določena za ozimno pšenico 13 dekad (2. dekada marca–2. dekada julija), za koruzo 17 dekad (3. dekada aprila–1. dekada oktobra) in za travo 18 dekad (1. dekada aprila–2. dekada septembra). Kazalec DISS omogoča tudi primerjavo sušnega stresa rastlin med leti ali med rastlinami v enem letu, če uporabimo enako obdobje.

Zasnova okvira za sledenje kmetijske suše s kazalcem DISS je predstavljena v šestih delih:

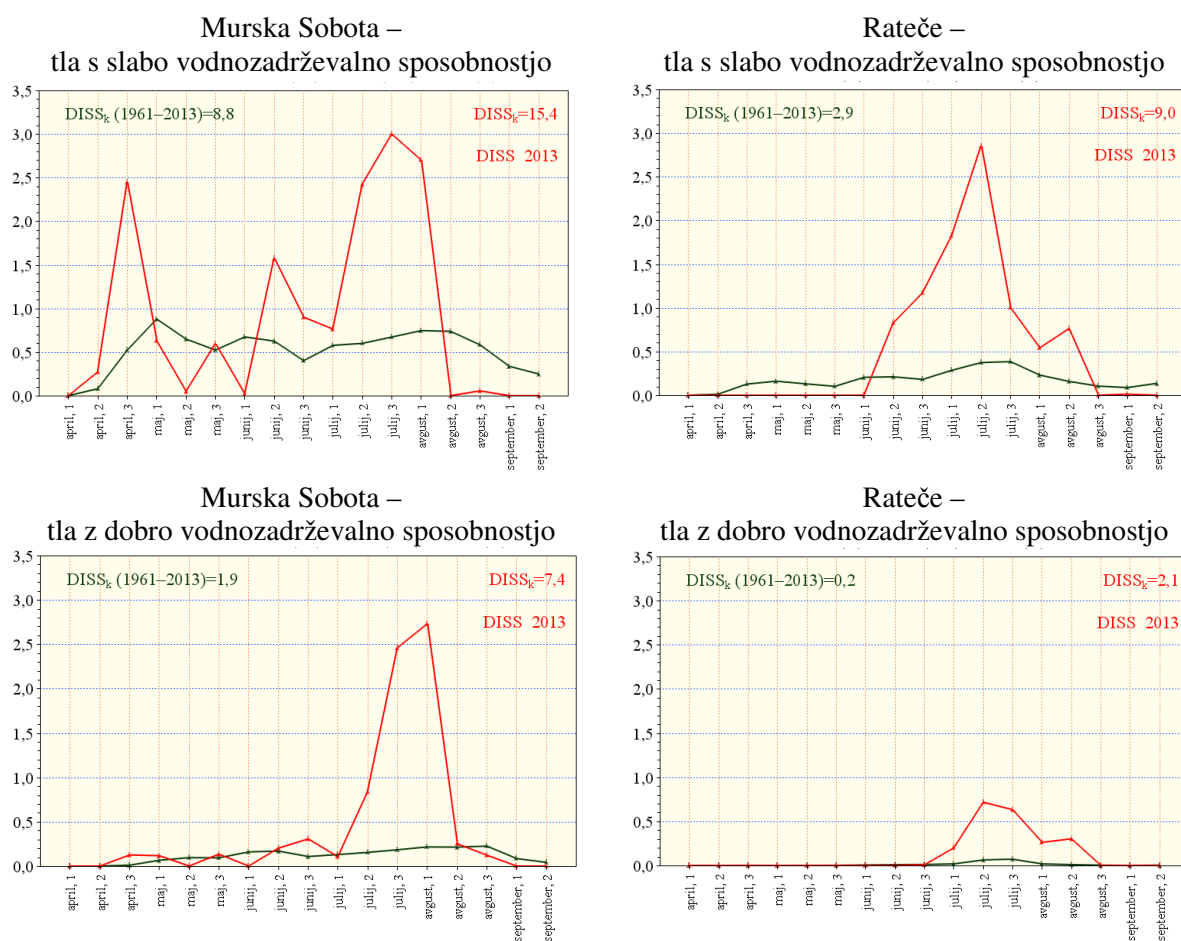
1. **operativno sledenje kmetijske suše.** V prvem delu smo izdelali zasnovo za sprotno sledenje kmetijske suše z DISS v tekoči vegetacijski sezoni. Ta del je predvsem pomemben pri ugotavljanju razvoja suše in določanju praga suše, ki vodi do razglasitve suše kot naravne nesreče. DISS v tekoči sezoni primerjamo z dolgoletnim povprečjem v vsaki dekadi znotraj vegetacijske sezone izbrane kmetijske rastline.
2. **klimatološka analiza DISS.** Za napovedovanje razvoja suše v tekoči vegetacijski sezoni ali tudi v krajšem obdobju znotraj sezone je treba izvesti klimatološko analizo obdobja suše. Tako lahko bolje načrtujemo možne scenarije razvoja suše glede na analogna leta v preteklosti. Za ugotavljanje sprememb smo izvedli primerjavo DISS_k v dveh obdobjih 1961–1986 ter 1987–2012 za vse rastline in tla.
3. **sušni intervali in tipizacija suše.** Naredili smo še podrobnejšo analizo DISS, in sicer porazdelitve jakosti in trajanja sušnih stresnih intervalov. Tipizacijo suše smo izvedli na primeru trave. Za ugotavljanje sprememb smo izvedli primerjavo DISS v dveh petindvajsetletnih obdobjih 1961–1986 ter 1987–2012.
4. **jakost kmetijske suše.** V drugem delu smo ugotavljali vpliv tal in rastlin na DISS_k. Uporabili smo percentilno analizo za določanje jakosti suše s pragi (75., 90., 98.

percentil). Izdelali smo tudi verjetnost pojava kmetijske suše na različnih tleh in rastlinah po lokacijah.

5. **verifikacija sušnega kazalca DISS** je bila opravljena s podatki o poškodovanosti rastlin zaradi suše, pridelkih in meritvami vode v tleh.
6. **prostorski prikaz DISS**. Zasnovali smo okvir za prostorski prikaz DISS na kmetijskih zemljiščih. Ugotavljali smo pogostnost pojava suš v izbranih katastrskih občinah v obdobju 2000–2013.

4.3.1 Operativno sledenje kmetijske suše z DISS v tekoči vegetacijski sezoni

Analiza DISS v tekoči vegetacijski sezoni nam omogoča, da sprti sledimo stanje sušnega stresa specifične kmetijske rastline v primerjavi z dolgoletnim povprečjem (1961–2013) na različnih lokacijah. Slika 82 prikazuje sledenje sušnega stresa trave na tleh s slabimi in dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi v sezoni 2013 na dveh lokacijah.



Slika 82: Dekadni indeks sušnega stresa (DISS) za travo na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekad aprila do 2. dekad septembra 2013 in primerjava z dolgoletnim povprečjem v obdobju 1961–2013 v Murski Soboti in Ratečah.

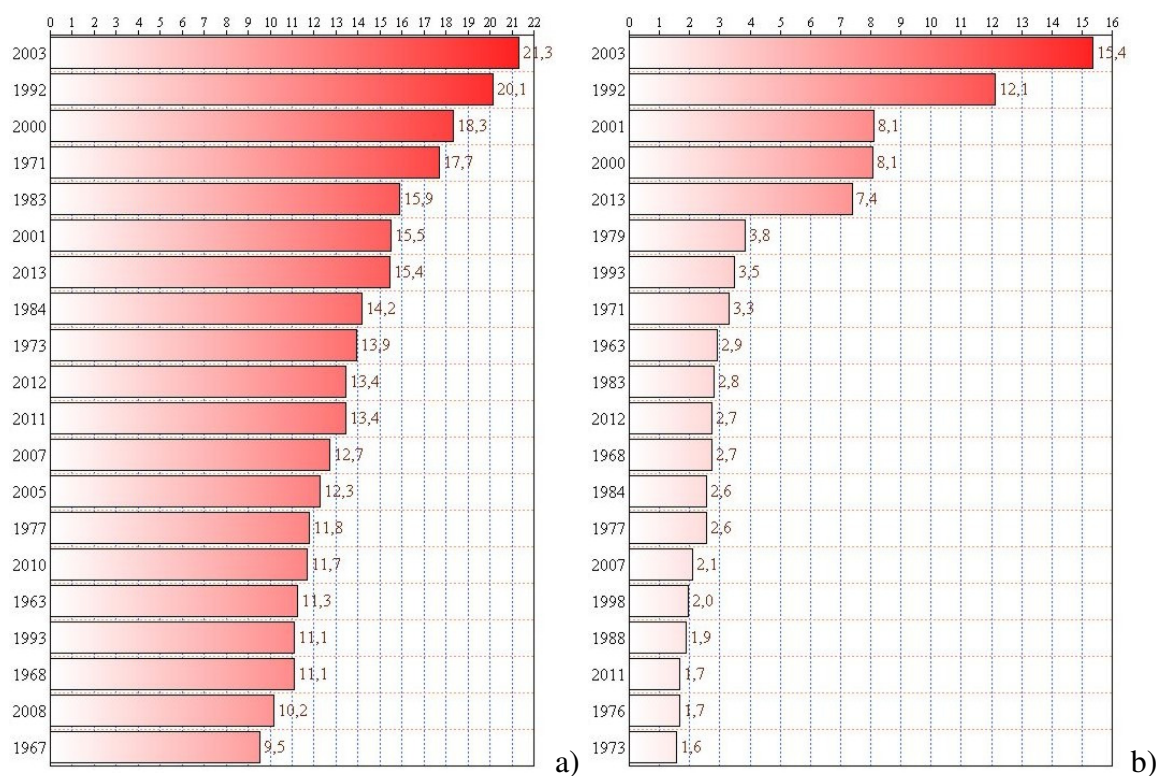
Figure 82: Decadal drought stress index (DISS) of grass on the soils with low and high water holding capacity from 1st decade of April to 2nd decade of September in the year 2013 and comparison to the long-term average 1961–2013 in Murska Sobota and Rateče.

Stanje kmetijskih rastlin v vegetacijski sezoni 2013 je bilo prostorsko zelo raznoliko. V Murski Soboti se je zmerna suša na travi na slabih tleh pojavila že ob koncu aprila, nato je bila vse do 2. dekade junija v mejah običajne namočenosti. Sušni stres je bil največji od 2. dekade julija do 2. dekade avgusta.

Tak način sledenja omogoča, da ob zgodnjem zaznanem pojavu kmetijske suše lahko poškodovanost rastlin še omilimo s tehnološkimi ukrepi.

4.3.2 Klimatologija suše z uporabo DISS_k na primeru trave

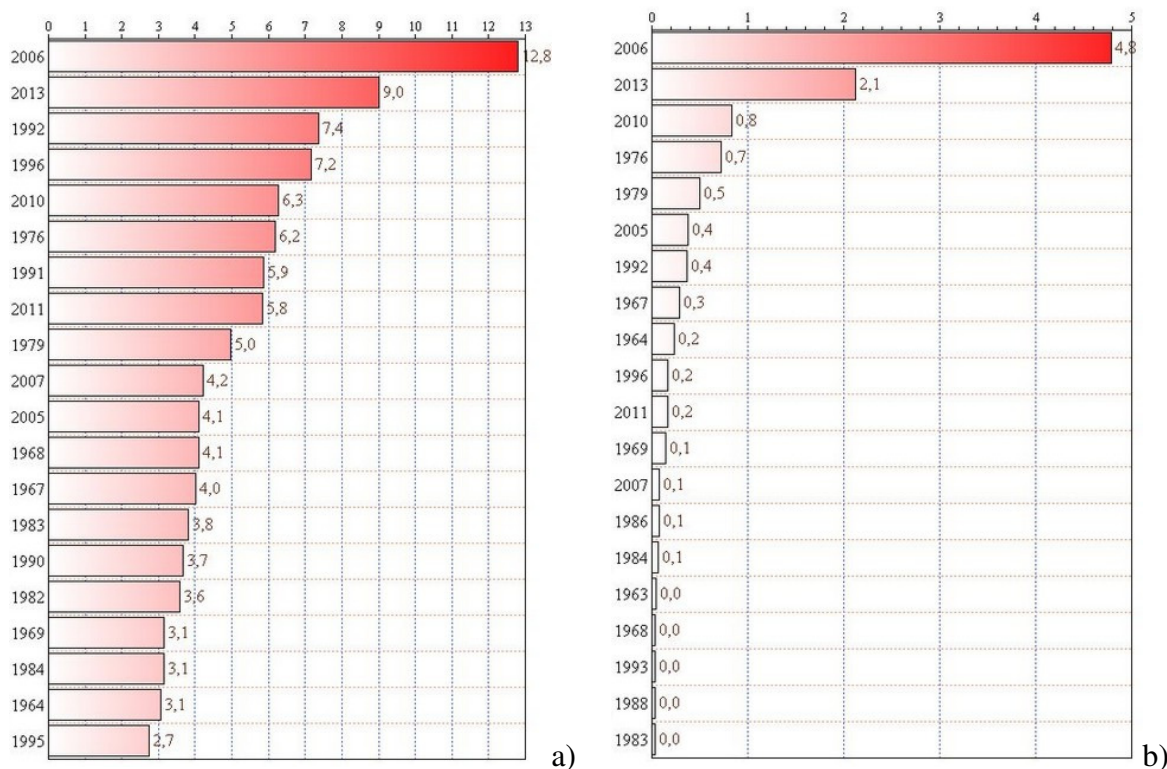
Navadno ob koncu vegetacijske sezone primerjamo sušo s preteklimi sušami, ali pa ugotovljamo pogostnost suš v daljšem obdobju in pogostnost tveganja zaradi suše. Za ta namen je DISS primerno orodje, saj poleg obstoječih analiz vključuje lastnosti posamezne rastline in njeno vodno bilanco ter zaznava sušni stres v času in prostoru. Omogoča tudi primerjavo med rastlinami. Za klimatološko analizo smo izbrali travo, ker pokriva celotno vegetacijsko sezono in je tipična kmetijska rastlina za splošen kazalec suše. V nadaljevanju navajamo primera DISS_k za Mursko Soboto in Rateče za travo na tleh s slabimi in dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi (slika 83).



Slika 83: Dvajset let z največjim DISS_k za travo na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2013 v Murski Soboti v padajočem vrstnem redu.

Figure 83: Twenty years with the highest DISS_k for grass from 1st decade of April to 2nd decade of September on the soils with low (a) and high (b) water holding capacity in the period from 1961 to 2013 in Murska Sobota in descending order.

S slike 83 je razvidno, da je bil v Murski Soboti v dvainpetdesetih letih največji $DISS_k$ za travo leta 2003 tako na tleh s slabimi kot tudi z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi. Podobno je bilo tudi z leti 1992, 2001 in 2000. Vrstni red sušnih let se med različnimi tlemi lahko rahlo spremeni, vendar hude suše vidno izstopajo. Vzrok je v količini padavin v določenem obdobju; manjša količina padavin na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi za kratek čas omili sušo, globlja tla pa potrebujejo dalj časa za zapolnitev talnega vodnega rezervoarja. Zanimivo je obnašanje $DISS_k$ v letih 2012 in 2013, ko je razvidno, da upoštevanje vodne bilance celotnega vegetacijskega obdobja – in ne samo določenega obdobja suše – vpliva na rezultat. Leto 2013 je bilo leto z višjim $DISS_k$ za travo kot leto 2012. Po letu 2000 je kar deset let uvrščenih med dvajset let z največjim $DISS_k$ v obdobju 1961–2013. V nasprotju s podatki za Mursko Soboto $DISS_k$ za Rateče kaže, da je bilo najbolj sušno leto 2006 tako na tleh s slabimi kot tudi na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi tal (slika 84). Precej bolje je, podobno kot v Murski Soboti, sušni stres preživela trava na tleh z dobro zadrževalno sposobnostjo v vseh najbolj sušnih letih. Takoj za letom 2006 se je med najbolj sušna leta za travo v Ratečah uvrstilo leto 2013. V Ratečah je šest let po letu 2000 med najbolj sušnimi v obdobju 1961–2013.

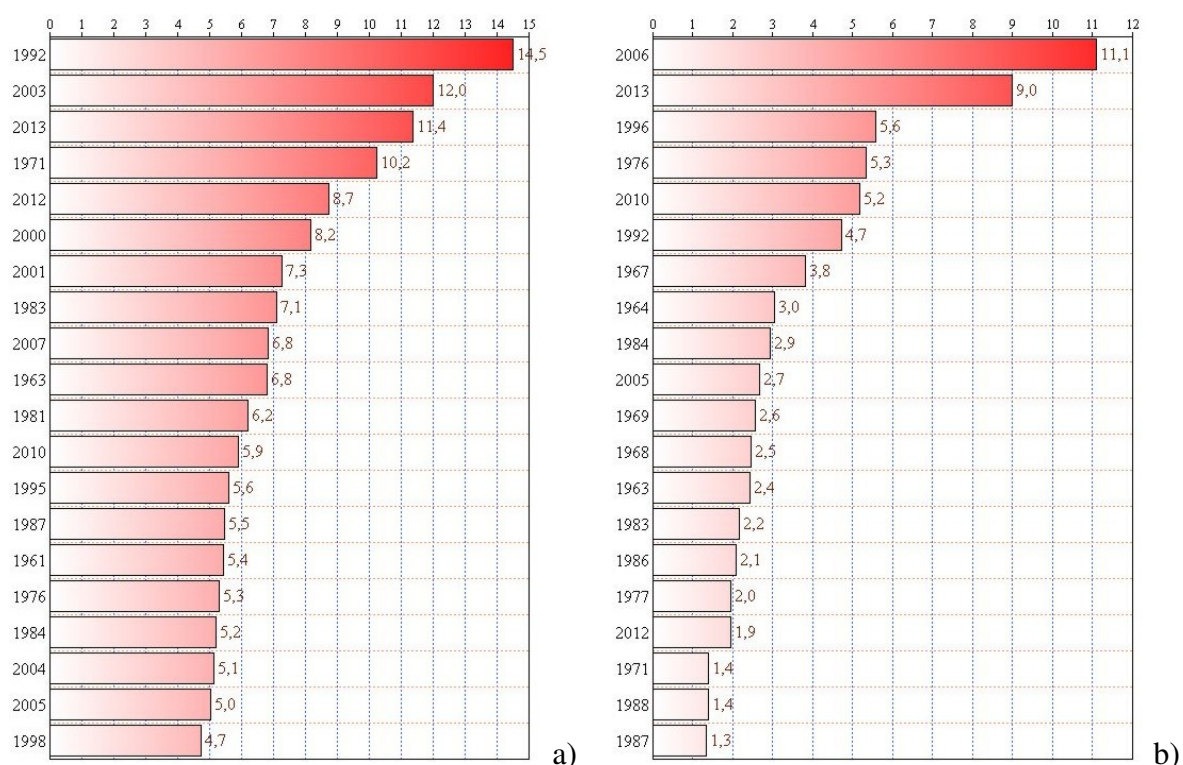


Slika 84: Dvajset let z največjim $DISS_k$ za travo na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2013 v Ratečah v padajočem vrstnem redu.

Figure 84: First twenty years with the highest $DISS_k$ for grass from 1st decade of April to 2nd decade of September on the soils with low (a) and high (b) water holding capacity in the period from 1961 to 2012 in Rateče in descending order.

Dejanske ocene suše v postopkih ocenjevanja so do zdaj potekale v različnih obdobjih (na primer leto 2013 od 11. junija do 10. avgusta); obdobje suše je določeno subjektivno. To povzroča izjemne težave pri primerjavi z dejansko poškodovanostjo rastlin. $DISS$ omogoča

tudi primerjavo različnih rastlin med takimi obdobji, čeprav je za oceno poškodb po suši potreben pogled na celotno sezono. Ta način primerjave pa lahko služi kot pomagalo pri določanju kritičnih obdobji med sezono. Ponovno naj poudarimo dejstvo, da je lahko situacija popolnoma drugačna, če uporabimo samo krajše obdobje v vegetacijski sezoni. Za primer smo uporabili obdobje poletja (20. junij–20. avgust) za tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo. S slike 85 je razvidno, da se na mesto najhujše suše v tem obdobju uvrsti leto 1992 pred 2003, kar označuje dejstvo, da je bila leta 1992 huda poletna suša. Leta 2013 se je poletna suša zelo približala letu 2003, sledi pa leto 2012 v Murski Soboti. Leta 2013 je vladala huda poletna suša tudi na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi v Ratečah. Tehnologi Kmetijsko-gozdarskega zavoda Kranj (Kalan, 2013) so leta 2013 ugotavljali, da je suša zelo prizadela travinje. Opozorili so na dejstvo, da ob intenzivni suši lahko prihaja tudi do degradacije travne ruše in da se na praznih mestih pojavlja več zeli in slabih vrst trav. Preverjanje rezultatov DISS s podatki o stanju kmetijskih rastlin v izbranih sušnih letih je opisano v poglavju 4.4 o verifikaciji DISS. Primerjava obeh lokacij kaže, da je na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi med Mursko Soboto in Ratečami razlika majhna, kar potrjuje, da je poletna suša prizadela travo v obeh regijah, v poletju 2012 pa je bila razlika večja (Murska Sobota 8,7 in Rateče 1,9).



Slika 85: Dvajset let z največjim DISS_k za travo na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo od 2. dekade junija do 2. dekade avgusta v obdobju 1961–2013 v Murski Soboti (a) in Ratečah (b) v padajočem vrstnem redu.

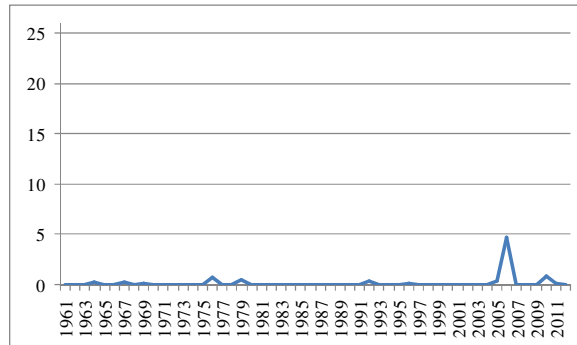
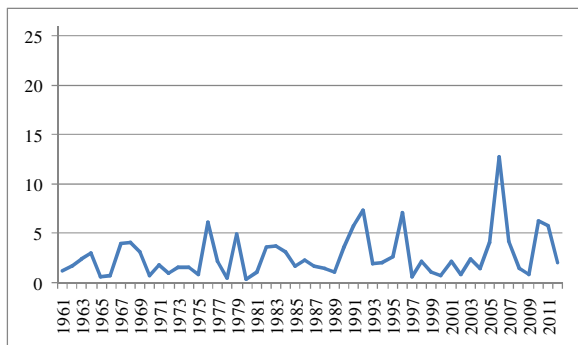
Figure 85: Twenty years with the highest DISS_k of grass from 2nd decade of June to 2nd decade of August on the soils with low water holding capacity in the period from year 1961 to 2013 in Murska Sobota (a) and Rateče (b) in descending order.

Časovni nizi DISS_k na različnih lokacijah, za različne rastline in tla omogočajo ugotavljanje klimatologije suše in oceno tveganja zaradi suše. Na slikah 86 do 88 je prikazan časovni niz DISS_k za travo za vse preučevane lokacije.

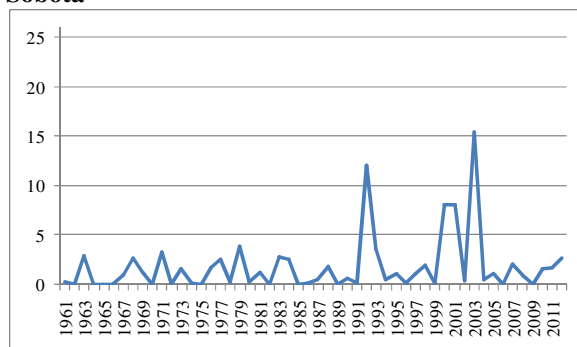
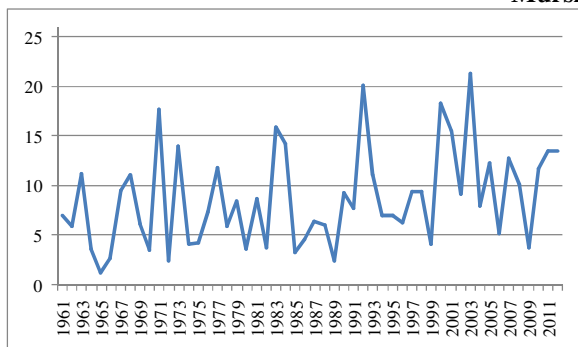
tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo

tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo

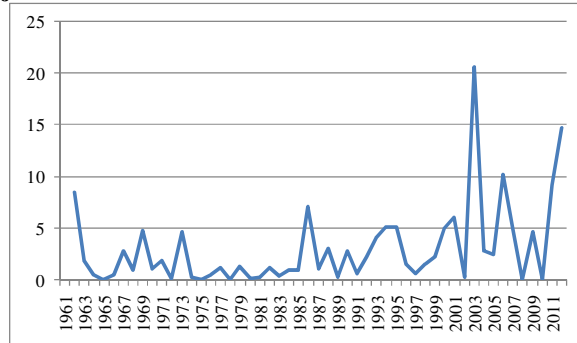
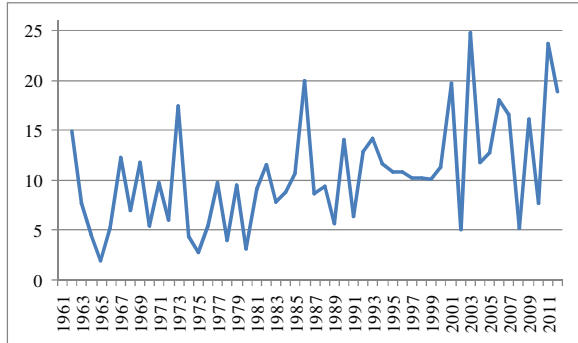
Rateče



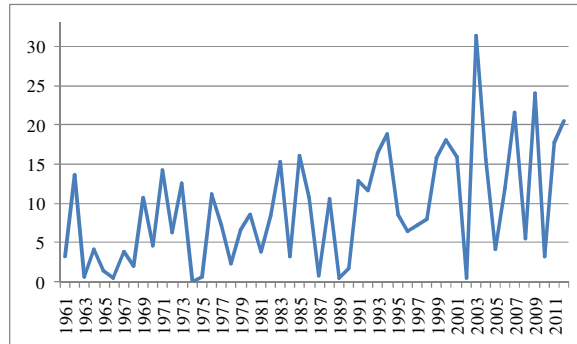
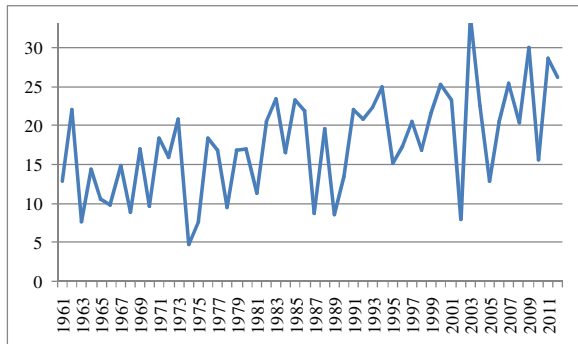
Murska Sobota



Bilje



Portorož

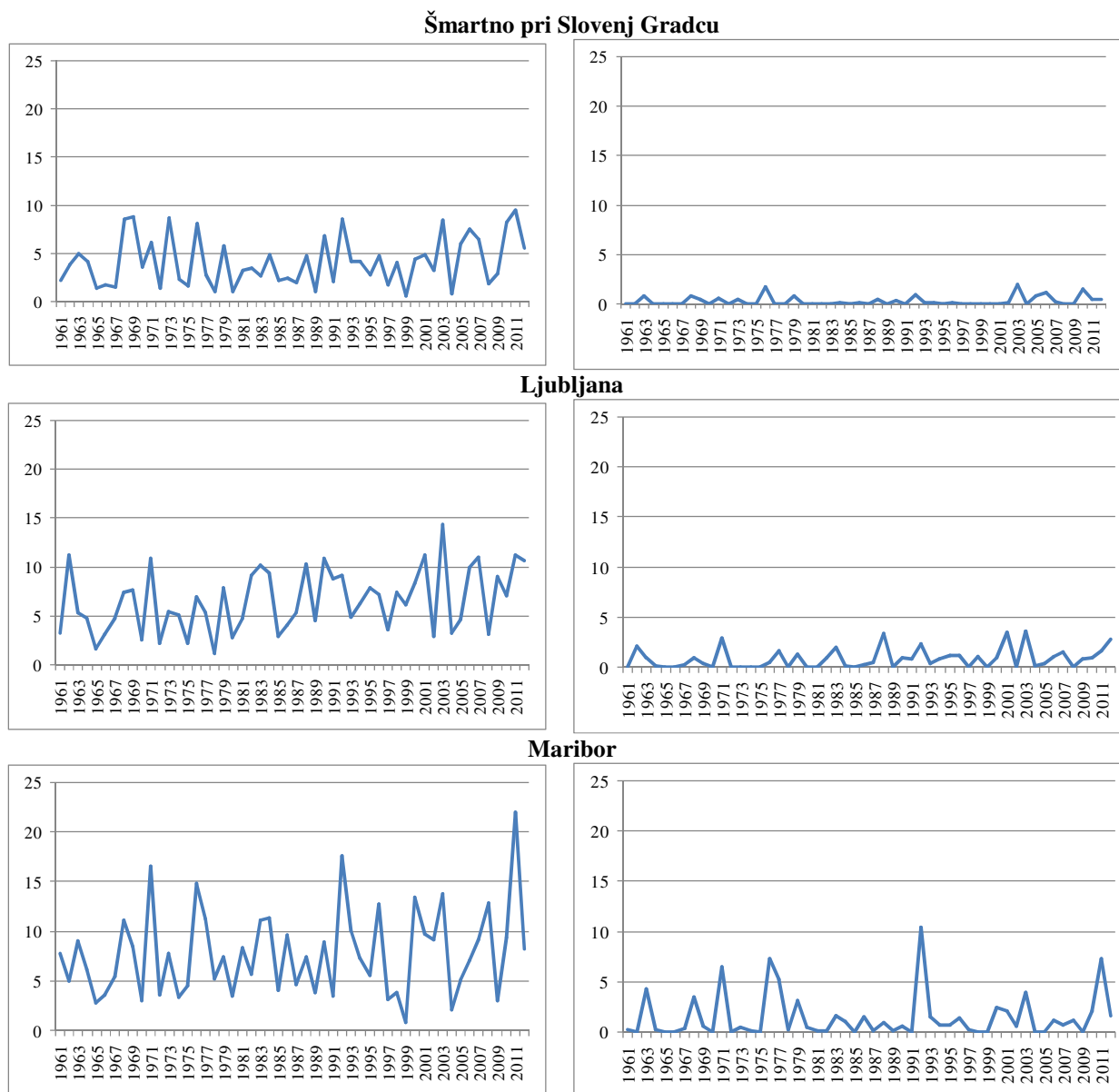


Slika 86: Kumulativni dekadni indeks sušnega stresa ($DISS_k$) za vegetacijsko obdobje trave na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobju 1961–2012 v Ratečah, Murski Soboti, Biljah in Portorožu.
 Figure 86: Cumulative drought stress index ($DISS_k$) in the vegetation period of grass on the soils with low and high water holding capacity in the period from year 1961 to 2012 for Rateče, Murska Sobota, Bilje and Portorož.

Tudi s slike 86 je razvidno, da tla z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi močno kompenzirajo sušni stres. V izjemno sušnih letih, kot je leto 2006 v Ratečah oziroma leto 2003 v Biljah in Portorožu, je suša dokaj močna tudi na teh tleh. Očitna je tudi večja jakost suše na Primorskem. To odraža močan vpliv sprememb osnovnih meteoroloških spremenljivk, ki vplivajo na pojav sušnega stresa pri rastlinah, tako povečanega izhlapevanja kot tudi zmanjševanja padavin v poletnem času.

tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo

tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo



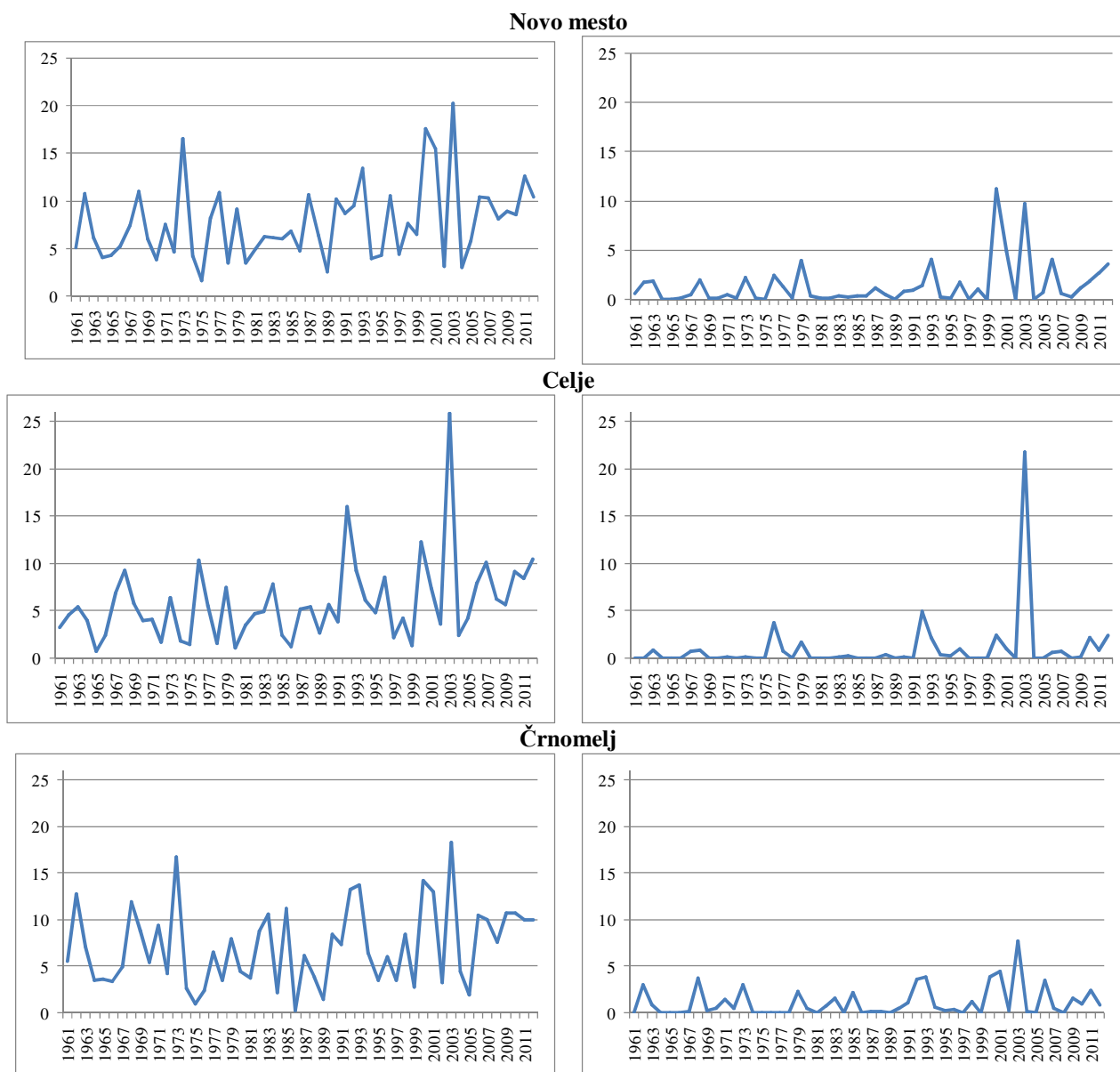
Slika 87: Kumulativni dekadni indeks sušnega stresa ($DISS_k$) v vegetacijskem obdobju trave na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobju 1961–2012 v Šmartnem pri Slovenj Gradcu, Ljubljani in Mariboru.

Figure 87: Cumulative drought stress index ($DISS_k$) in the vegetation period of grass on the soils with low and high water holding capacity in the period from year 1961 to 2012 for Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana and Maribor.

Slika 87 kaže, da je bil v Šmartnem pri Slovenj Gradcu največji $DISS_k$ v obravnavanem obdobju dosežen leta 2012. Zanimivo je, da je lahko lokalno suša izjemna tudi v letih, ko ni razglasitve naravne nesreče. Tako je v Mariboru, poleg leta 1992, na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo izstopalo leto 2011. To potrjujejo tudi rezultati projekta (Sušnik in sod., 2011; Sušnik in Valher, 2012a). V teh dveh letih se odraža vpliv suše tudi na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo.

tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo

tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo



Slika 88: Kumulativni dekadni indeks sušnega stresa ($DISS_k$) v vegetacijskem obdobju trave na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobju 1961–2012 v Novem mestu, Celju in Črnomelju.

Figure 88: Cumulative drought stress index ($DISS_k$) in the vegetation period of grass on the soils with low and high water holding capacity in the period from 1961 to 2012 for Novo mesto, Celje and Črnomelj.

Poleg enega leta (1973) v obdobju pred letom 1990 je v Novem mestu po letu 2000 kar 7 let, ko je bil $DISS_k$ večji od 10,0 (slika 88). V Celju je opazen porast $DISS_k$ za travo in pojav ekstremnih vrednosti tako na slabih kot na dobrih tleh v letih 2003, 2000, 2012 in 1992 (slika 88). S slike je razvidno, da je tudi v Črnomlju v preteklosti po visokem $DISS_k$ izpostavljeno leto 1973. Najvišja vrednost $DISS_k$ za travo je bila tudi v Črnomlju leta 2003.

4.3.3 Analiza $DISS_k$ v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012

Analiza $DISS_k$ za vse lokacije, tla in rastline kaže, da se v novejšem obdobju 1987–2012 povečuje $DISS_k$ za vse izbrane rastline v kombinaciji z vsemi tremi tipi tal na vseh obravnavanih primerih. Povprečne vrednosti $DISS_k$ v obeh obdobjih za izbrano rastlino na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo so v preglednici 37. Deleži povečanja $DISS_k$ za posamezne lokacije so podani v preglednici 38.

Preglednica 37: Povprečni kumulativni dekadni indeks sušnega stresa ($DISS_k$) za travo, koruzo in ozimno pšenico na tleh z dobro in slabo vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012 na izbranih lokacijah. Vrednosti so zaradi preglednosti zaokrožene na eno decimalno mesto.

Table 37: Average cumulative drought stress index ($DISS_k$) of grass, maize and winter wheat on the soils with high and low water holding capacity in the periods 1961–1986 and 1987–2012 at chosen locations. Values are due to clarity formatted to one decimal place.

Obdobje/Postaje	RA	ŠSG	LJ	MB	NM	CE	ČR	MS	BI	PO
	Trava/D									
1961–1986	0,1	0,2	0,6	1,5	0,8	0,4	0,8	1,1	1,6	6,6
1987–2012	0,3	0,3	1,2	1,6	2,0	1,6	1,5	2,6	4,2	11,9
	Trava/S									
1961–1986	2,3	3,8	5,5	7,3	6,5	4,3	6,3	7,4	8,5	15,0
1987–2012	3,3	4,5	7,7	8,3	9,0	7,3	8,1	10,1	12,6	20,1
	Koruz/D									
1961–1986	0,2	0,3	0,7	1,6	0,8	0,5	1,0	1,3	1,7	8,5
1987–2012	0,4	0,5	1,4	2,1	2,5	1,7	2,3	3,1	4,2	13,1
	Koruz/S									
1961–1986	2,4	2,9	4,6	6,2	5,5	3,7	5,7	5,9	8,0	14,4
1987–2012	2,6	3,6	6,8	7,0	8,1	6,3	7,9	8,7	11,2	18,0
	Ozimna pšenica/D									
1961–1986	0,5	1,4	1,5	4,0	2,8	1,6	2,2	3,7	2,4	5,9
1987–2012	0,8	1,4	2,3	3,4	2,9	2,7	2,1	4,5	4,6	8,6
	Ozimna pšenica/S									
1961–1986	4,0	6,4	6,9	9,9	7,8	6,9	7,3	9,3	9,1	13,6
1987–2012	5,3	6,7	8,0	9,2	8,5	8,1	7,0	10,1	11,0	15,3

Če primerjamo povprečji obeh obdobj, ugotovimo, da je največje povprečno povečanje $DISS_k$ za travo v novejšem obdobju 1987–2012 na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi (132 %), in sicer najbolj na postajah Celje (326 %), Rateče (221 %) in Novo mesto (161 %).

Na tleh s srednje dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi je povečanje največje v Šmartnem pri Slovenj Gradcu (83 %) in Mariboru (84 %). Na vseh obravnavanih lokacijah se DISS_k za travo na teh tleh poveča v povprečju za 68 %.

Na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi je povečanje najmanjše, v povprečju za 37 %; največje je v Celju, 68 %. Za več kot 40 % se je povečal DISS_k za travo tudi v Ratečah in Bilju.

Povprečji obeh obdobj pri koruzi glede na tla dajeta podobne rezultate. Največje povprečno povečanje DISS_k za koruzo v novjšem obdobju 1987–2012 je prav tako na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi. Povprečno povečanje pri koruzi je 116 %, in sicer največje v Celju (222 %) in v Novem mestu (193 %).

Preglednica 38: Relativna sprememba DISS_k za travo, koruzo in ozimno pšenico v obdobju 1987–2012 glede na obdobje 1961–1986 v %.

Table 38: Relative change of DISS_k for grass, maize and winter wheat in the period 1987–2012 in comparison to the period 1961–1986 in %.

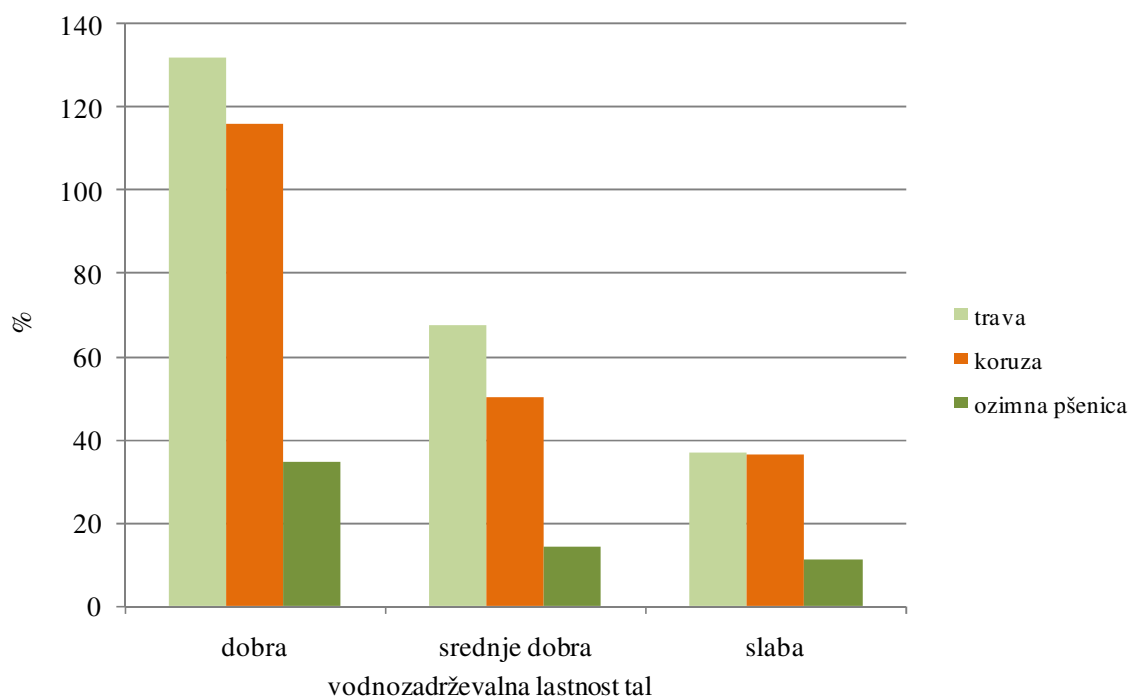
Rastlina	Tla	Postaje										
		RA	ŠSG	LJ	MB	NM	CE	ČR	MS	BI	PO	SLO
trava	D	221	52	106	7	161	326	80	129	159	79	132
	SD	65	83	62	84	64	50	74	66	58	69	68
	S	43	19	40	12	38	68	29	36	49	34	37
koruza	D	101	64	95	32	193	222	130	130	140	53	116
	SD	10	28	59	23	73	97	56	62	62	33	50
	S	10	25	48	13	48	70	40	46	39	25	36
ozimna pšenica	D	79	3	60	-13	3	67	-8	21	89	44	35
	SD	46	4	20	-9	5	24	-4	12	26	20	14
	S	34	4	15	-7	9	17	-4	9	21	12	11

Na tleh s srednje dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi je povečanje DISS_k za koruzo največje v Celju (97 %), Biljah ter Murski Soboti (62 %). Na vseh obravnavanih lokacijah se je DISS_k za koruzo povečal povprečno za 50 %.

Pri tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi je povečanje DISS_k koruze najmanjše, v povprečju za 36 %. Največje je prav tako v Celju, 70 %. Za več kot 40 % se je povečal DISS_k za koruzo v Ljubljani, Novem mestu in Murski Soboti.

Pri ozimni pšenici so spremembe nekoliko drugačne. Še vedno je sprememba največja na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi; v Mariboru in Črnomlju je prišlo v novjšem obdobju celo do zmanjšanja DISS_k za 13 oziroma 8 %. Največje pa je povečanje DISS_k za ozimno pšenico na teh tleh v Biljah (89 %), v Ratečah (79 %), v Celju in Ljubljani med 60 in 70 %. Povprečno povečanje DISS_k za ozimno pšenico na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi na vseh lokacijah je 35 %. Pri povečanju na tleh s srednje dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi prav tako izstopa postaja Rateče (46 %). Povprečna sprememba vseh desetih lokacij na teh tleh pri ozimni pšenici je 14 %.

Na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi so spremembe pri ozimni pšenici manjše, in sicer se je $DISS_k$ najbolj povečal v Ratečah, okrog 35 %. V Mariboru se je $DISS_k$ zmanjšal za 7 % glede na povprečje 1961–1986. Za 21 % se je povečal v Biljah, za 12 % v Portorožu. Zaključimo lahko, da je $DISS_k$ v obdobju 1987–2012 glede na obdobje 1961–1986 pri vseh obravnavanih rastlinah povprečno večji na vseh treh talnih tipih (slika 89). Največje je povečanje na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi.



Slika 89: Povprečno povečanje kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) za vegetacijsko obdobje trave, koruze in ozimne pšenice na tleh s slabo, srednje dobro in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012 za 10 lokacij v Sloveniji.

Figure 89: Average cumulative drought stress index ($DISS_k$) increase for vegetation period of grass, maize and winter wheat on the soils with low, medium high and high water holding capacity in the periods 1961–1986 and 1987–2012 for 10 locations in Slovenia.

Pri travi je večji za več kot 130 %, pri koruzi za 116 % in pri ozimni pšenici za okrog 35 %. Najmanjše je povprečno povečanje na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi (slika 89, preglednica 38).

4.3.4 Tipizacija suše

Kumulativni indeks sušnega stresa $DISS_k$ ponazarja stanje sušnega stresa v celotnem vegetacijskem obdobju preučevane rastline. Z uporabo dekadnega indeksa sušnega stresa $DISS$ smo izvedli podrobnejšo časovno analizo poteka suše.

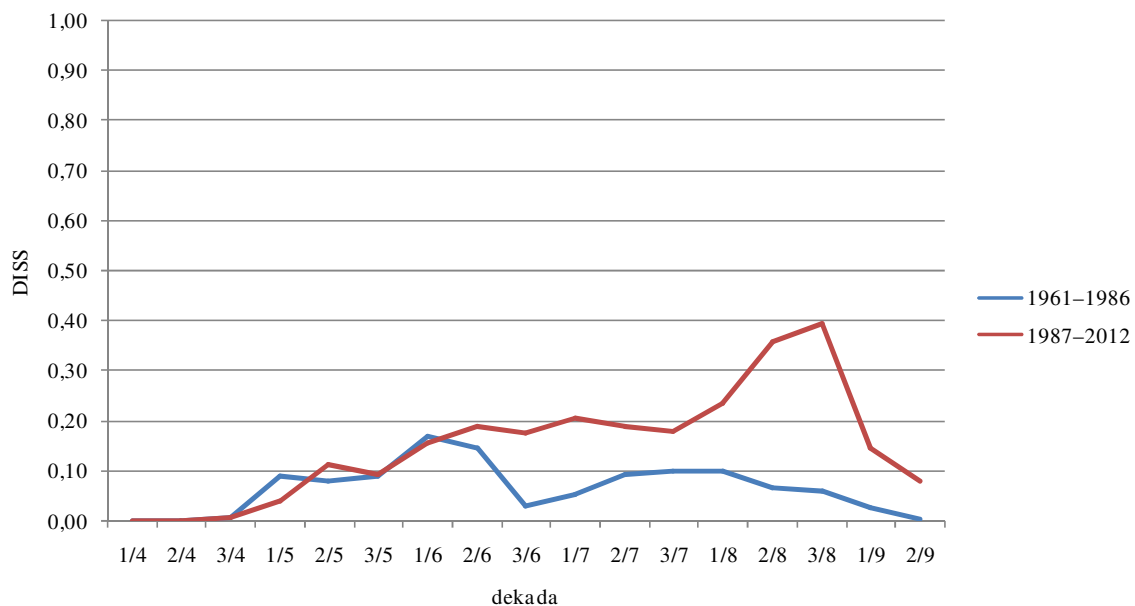
Ugotavljali smo tudi porazdelitev $DISS$ v obeh obdobjih. Analizirali smo sušni stres z $DISS$ v vegetacijski sezoni trave v Murski Soboti in Ratečah (sliki 90 in 91). Pri travi na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi v Murski Soboti je očitno, da se $DISS$ povečuje v večjem delu vegetacijske sezone novejšega obdobja, le v zgodnji pomladi so

vrednosti DISS večje v prvem obdobju. Največji razpon med obdobjema 1961–1986 in 1987–2012 je od 2. dekade julija do konca sezone.

Izjema je le 1. dekada maja, ko je DISS za 0,10 manjši v novejšem obdobju. Na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi pa je v vegetacijski sezoni očiten premik DISS v obdobju 1987–2012 v bolj sušne dekade v visokem poletju.

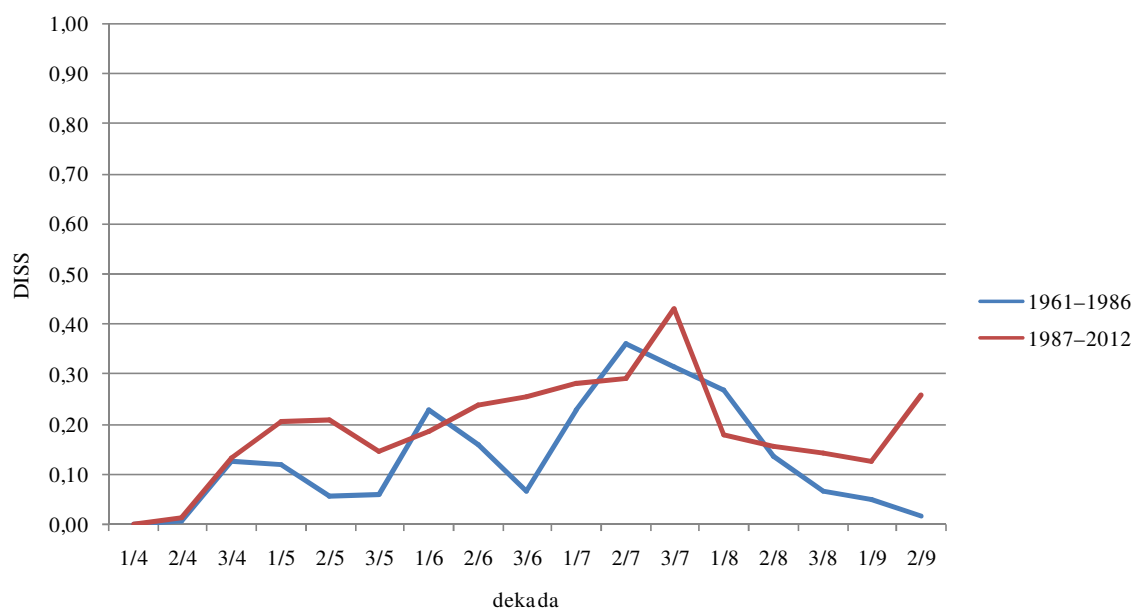


a)

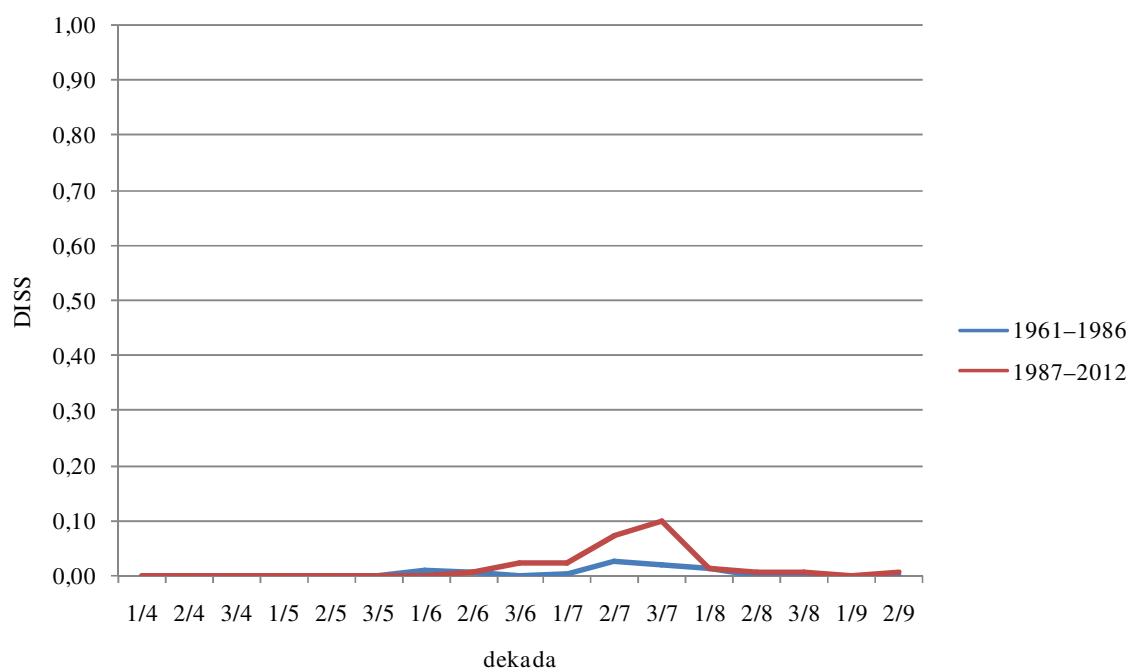


b)

Slika 90: Razporeditev dekadnega indeksa sušnega stresa (DISS) v vegetacijskem obdobju trave na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012 v Murski Soboti.
Figure 90: Distribution of decadal drought stress index (DISS) in the vegetation period of grass on the soils with low (a) and high (b) water holding capacity in the periods 1961–1986 and 1987–2012 in Murska Sobota.



a)



b)

Slika 91: Razporeditev dekadnega indeksa sušnega stresa (DISS) v vegetacijskem obdobju trave na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobjih 1961–1986 in 1987–2012 v Ratečah.
Figure 91: Distribution of decadal drought stress index (DISS) in the vegetation period of grass on the soils with low (a) and high (b) water holding capacity in the periods 1961–1986 and 1987–2012 in Rateče.

V Ratečah je DISS v obdobju 1987–2012 v pomladanskih dekadah (3. dekada aprila–3. dekada maja) in v poletju, razen 1. dekade junija in 2. dekade julija, na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo višji kot v obdobju 1961–1986. Na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo je višji v zgodnjem in poznem poletju.

S pomočjo dekadnega indeksa DISS smo želeli tudi določiti tipe kmetijske suše. Za mejo suše smo izbrali prag $DISS \geq 1$, ki predstavlja mejo, okrog katere so najvišji povprečni DISS. Pod to mejo so lahko krajša obdobja blagega primanjkljaja.

Zato smo uporabili dva pristopa:

- tipizacija časa pojava kmetijske suše v vegetacijski sezoni;
- tipizacija jakosti kmetijske suše v vegetacijski sezoni.

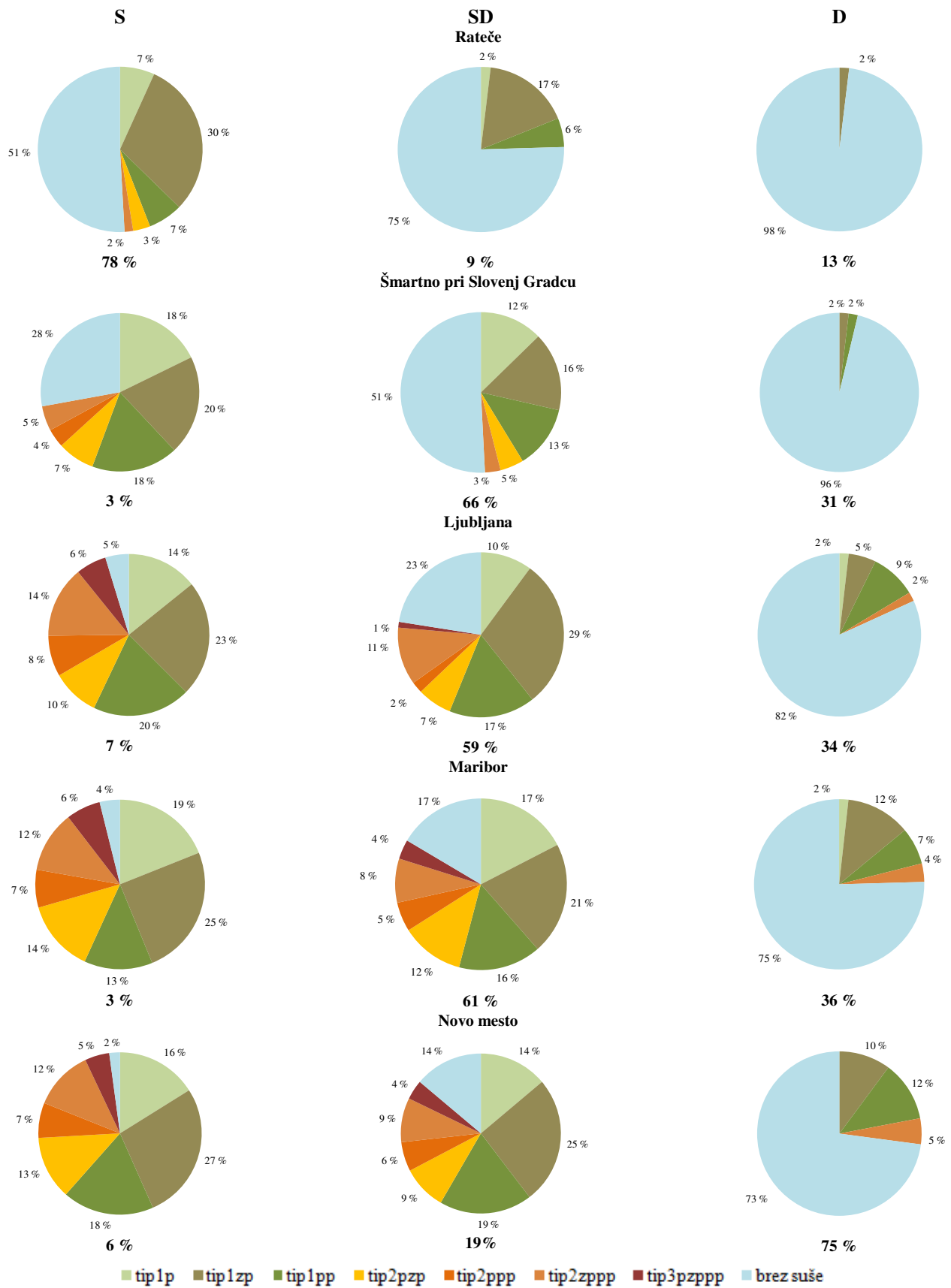
V našem primeru smo tipizacijo izvedli na primeru trave. V preglednici 25 je prikazana metodologija tipizacije pojava sušnega stresa. Več o tipizaciji je opisano tudi v poglavju 3.2.3.3.

S slike 92 je razvidno, da je v Ratečah na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo v obdobju 1961–2013 kar polovica primerov, ko ostanejo vrednosti $DISS < 0$ ali v tem primeru imenovano obdobje brez suše. Najpogosteje se v Ratečah pojavi eno obdobje z $DISS \geq 1$ v zgodnjem poletju. Redko pa traja interval suše prek dveh obdobj; tak primer je bilo leto 2013, ko je bila zgodnjepoletna in poznepoletna suša. Na tleh s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo je stanje podobno, le da ni suše tipa 2, na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo pa je tudi delež tipa 1 zelo majhen.

Nekoliko več je deleža vseh tipov suše na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo v Šmartnem pri Slovenj Gradcu; pojavijo se tudi vsi trije tipi 2. V Ljubljani pa se na teh tleh pojavi tudi že suša tipa 3 (6 %). Podobno je v Novem mestu in Mariboru. V Celju je na slabih tleh stanje podobno, le da je nekoliko več obdobj brez suše (12 primerov). V Murski Soboti je stanje še slabše, saj se tudi na tleh s srednjo vodnozadrževalno sposobnostjo delež vseh obdobj z $DISS \geq 1$ povečuje in zelo redka so obdobja brez suše (le 12 %). Najbolj sušno ranljivi pa sta lokaciji Bilje in Portorož, kjer se pojavi suša tipa 3 tudi na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo.

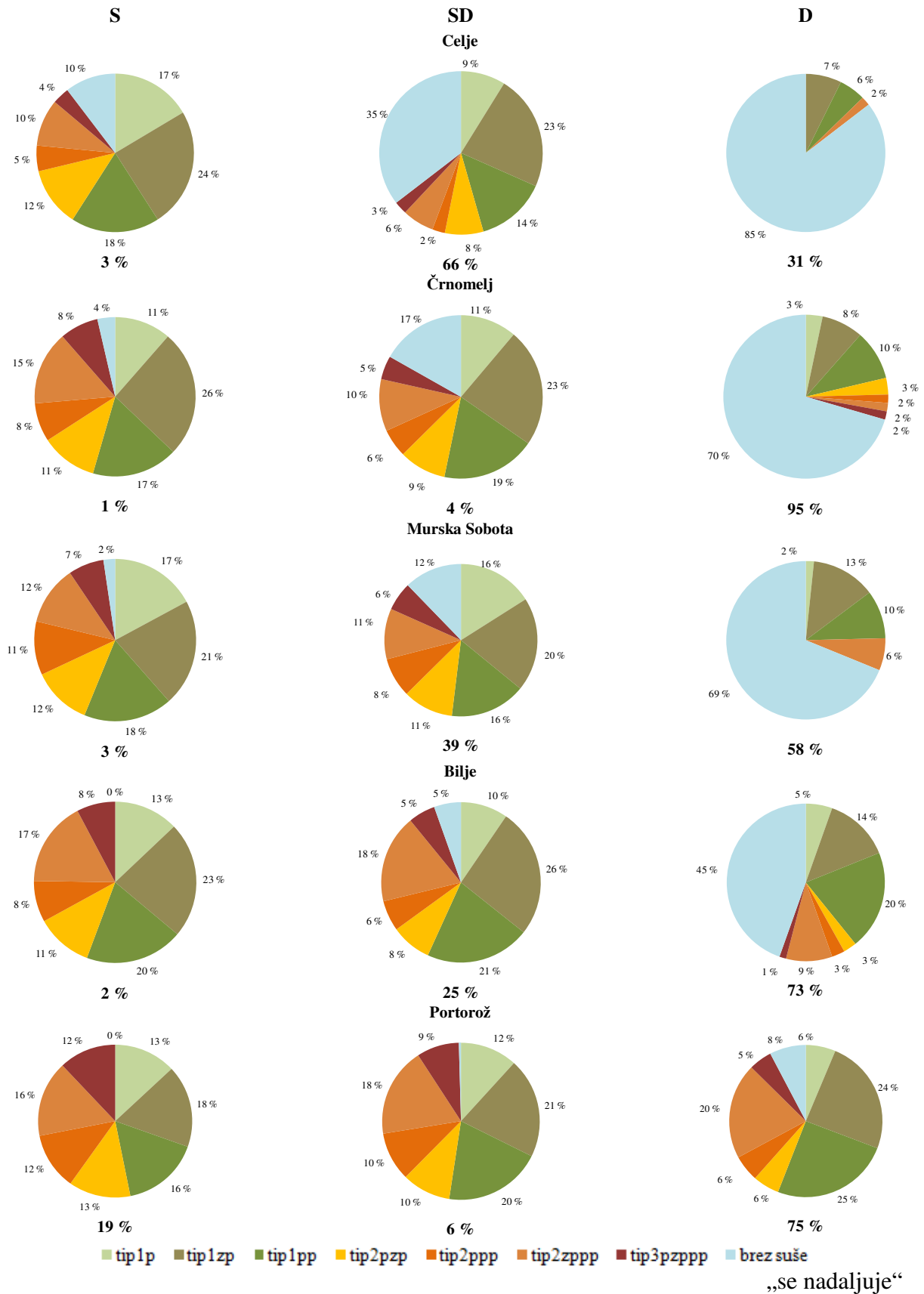
Delež različnih tal v okolici obravnavanih lokacij kaže, da je največ tal z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v Črnomlju (95 %); več kot 70 % jih je tudi v Biljah in Portorožu ter Novem mestu, v Murski Soboti pa jih je 58 %. Drugod je največ tal s srednjo vodnozadrževalno sposobnostjo tal. Le v Ratečah, kjer pa je malo kmetijskih površin, tla v večini slabo zadržujejo vodo.

Iz tega lahko sklepamo, da je glede na tipizacijo suše pojav vseh tipov suše na tleh z boljšimi vodnozadrževalnimi lastnostmi redkejši. Na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo pa je le v Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu med 30 in 50 % dekadnih obdobj brez suše.



„se nadaljuje“

„nadaljevanje“



„se nadaljuje“

„nadaljevanje“

Opomba:

Tipi suše: tip 1 – suša z enim obdobjem sušnega stresa; tip 2 – suša z dvema obdobjema sušnega stresa; tip 3 – suša s tremi obdobji sušnega stresa. Pri tipu 2 ločimo 3 kombinacije med pomladansko (p), zgodnjepoletno (zp) ali poznopoletno (pp) sušo.

Slika 92: Delež tipov sušnega stresa pri travi na tleh s slabo (S), srednjo dobro (SD) in dobro (D) vodnozadrževalno sposobnostjo na izbranih lokacijah glede na obdobje pojava v vegetacijski sezoni na osnovi $DISS \geq 1$ v obdobju 1961–2013. Delež skupne površine GERK z izbrano rabo glede na tri tipe tal v odstotkih v razdalji 20 km od postaje.

Figure 92: Share of drought stress types by grass on the soils with low (S), medium high (SD) and high (D) soil water holding capacity on the chosen locations according to the period of appearance in the vegetation period on the basis of $DISS \geq 1$ in the period 1961–2013. Share of different graphical units of agricultural land according to three classes of soil types in the radius of 20 km from the meteorological station.

Za podrobnejši klimatološki pregled suše smo si ogledali tudi jakost suše v vegetacijski sezoni po posameznih letih. Pri tem smo uporabili naslednjo tipizacijo suše:

- blag primanjkljaj, ko je $DISS \leq 1$;
- zmerna suša, ko je $1 < DISS \leq 2$;
- močna suša, ko je $2 < DISS \leq 3$.

Če je $DISS$ enak 0 je dekada brez suše.

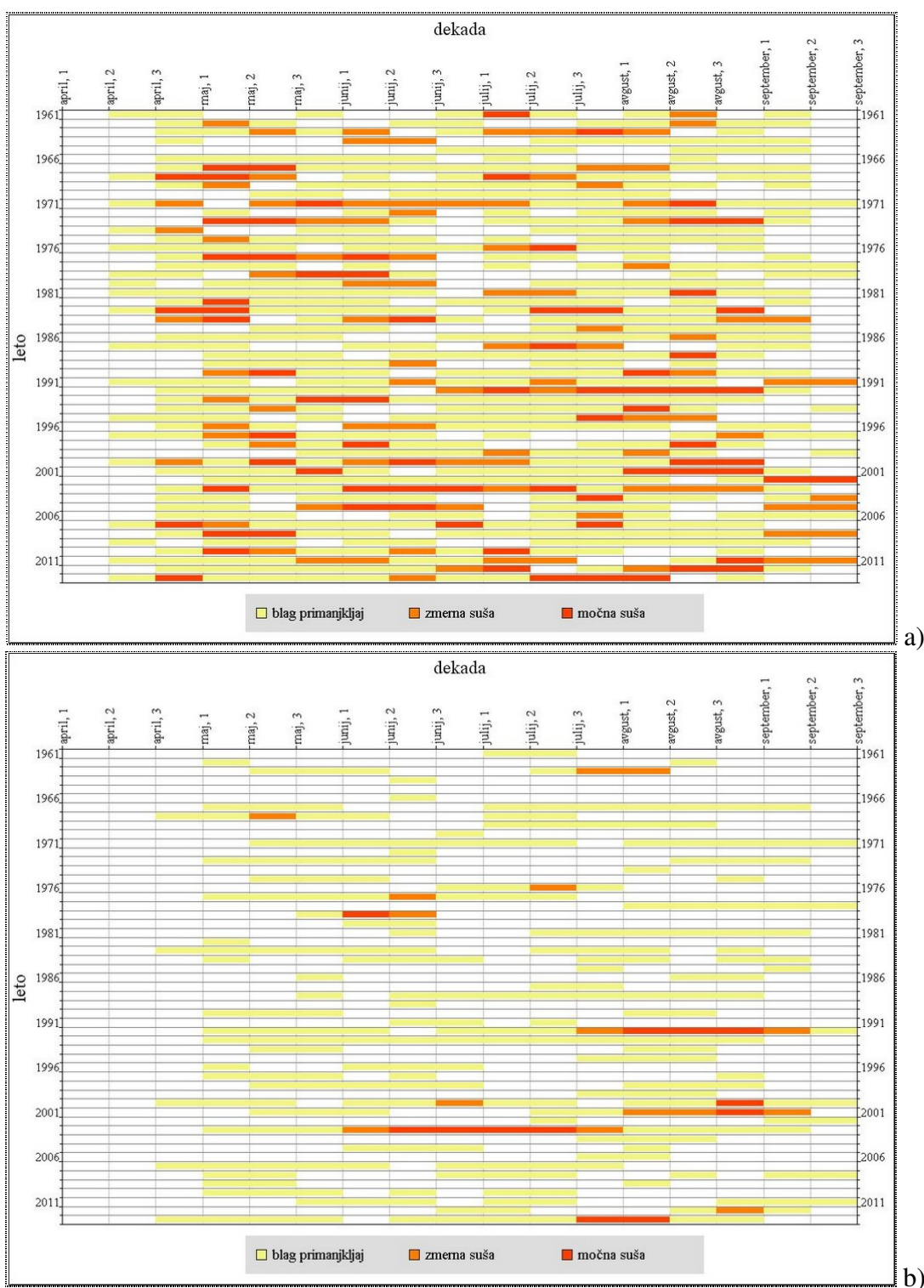
Primer tovrstne tipizacije za Mursko Soboto in Rateče je razviden na slikah 93 in 94. Vidna so obdobja krajših in daljših intervalov suše. Tako lahko obenem spremljamo trajanje in jakost suše. Če pogledamo primer suše v letu 2003, ugotovimo, da je suša na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo v Murski Soboti nastopila že spomladi, po kratkem presledku pa se je nadaljevala od junija do konca julija in s kratkotrajnim izboljšanjem vse do konca vegetacijske sezone trave. Zanimiva je tudi analiza suš v letih 2012 in 2013. Prvi interval suše (2 dekadi) leta 2012 je nastopil v 2. julijski dekadi, drugi val suše pa v avgustu (3. dekada) (slika 93). Primerjava jakosti suše v sušnih letih za izbrana tla za štiri postaje je tudi v preglednici 39.

Preglednica 39: Primerjava $DISS_k$ za travo za izbrana sušna leta v Murski Soboti, Ratečah in Ljubljani na tleh s slabo, srednje dobro in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo.

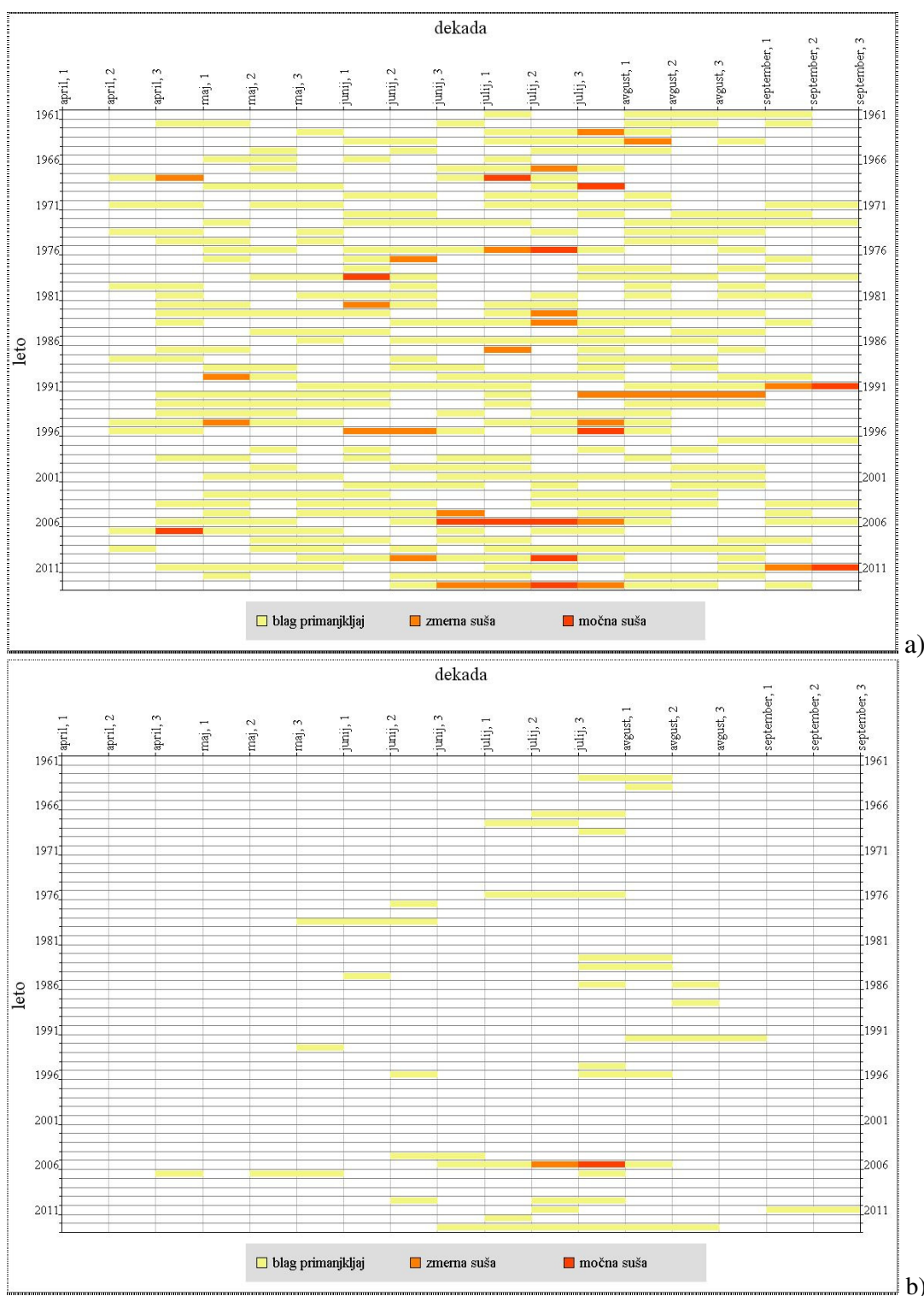
Table 39: Comparison of $DISS_k$ for grass in chosen droughty years in Murska Sobota, Rateče and Ljubljana on soil with low, medium high and high water holding capacity.

Postaja	MS	RA	LJ	MS	RA	LJ	MS	RA	LJ
Leta/Tla	S	S	S	SD	SD	SD	D	D	D
2013	15,4	9,0	12,3	13,0	6,7	9,5	7,4	2,1	5,2
2012	13,4	2,1	10,7	10,0	0,8	8,1	2,7	0,0	2,8
2006	5,2	12,8	9,9	2,0	10,9	6,5	0,0	4,8	1,1
2003	21,3	2,5	14,3	19,7	1,3	11,2	15,4	0,0	3,6
1992	20,1	7,4	9,2	18,8	3,5	6,9	12,1	0,4	2,3

Leta 2013 so bili v Murski Soboti krajši intervali suše v 1. majski dekadi, nato je bila pomlad v običajnem blagem primanjkljaju, drugi krajši interval zmerne suše je nastopil v 3. junijski dekadi, tretji, ki je gradiral v močno sušo, pa v 3. julijski dekadi. Najhujša suša v Murski Soboti je bila leta 1992, ko je zmerna do močna suša na travi trajala nepretrgoma 7 dekad. Iz tipizacije suše za Rateče v obdobju 1961–2013 (slika 94) je razvidno, da na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi ni bilo težav s sušo, razen leta 2006. Na slabih tleh pa izstopajo leta 2006, 2013 in 1992, ko so intervali suše trajali 4 dekade.



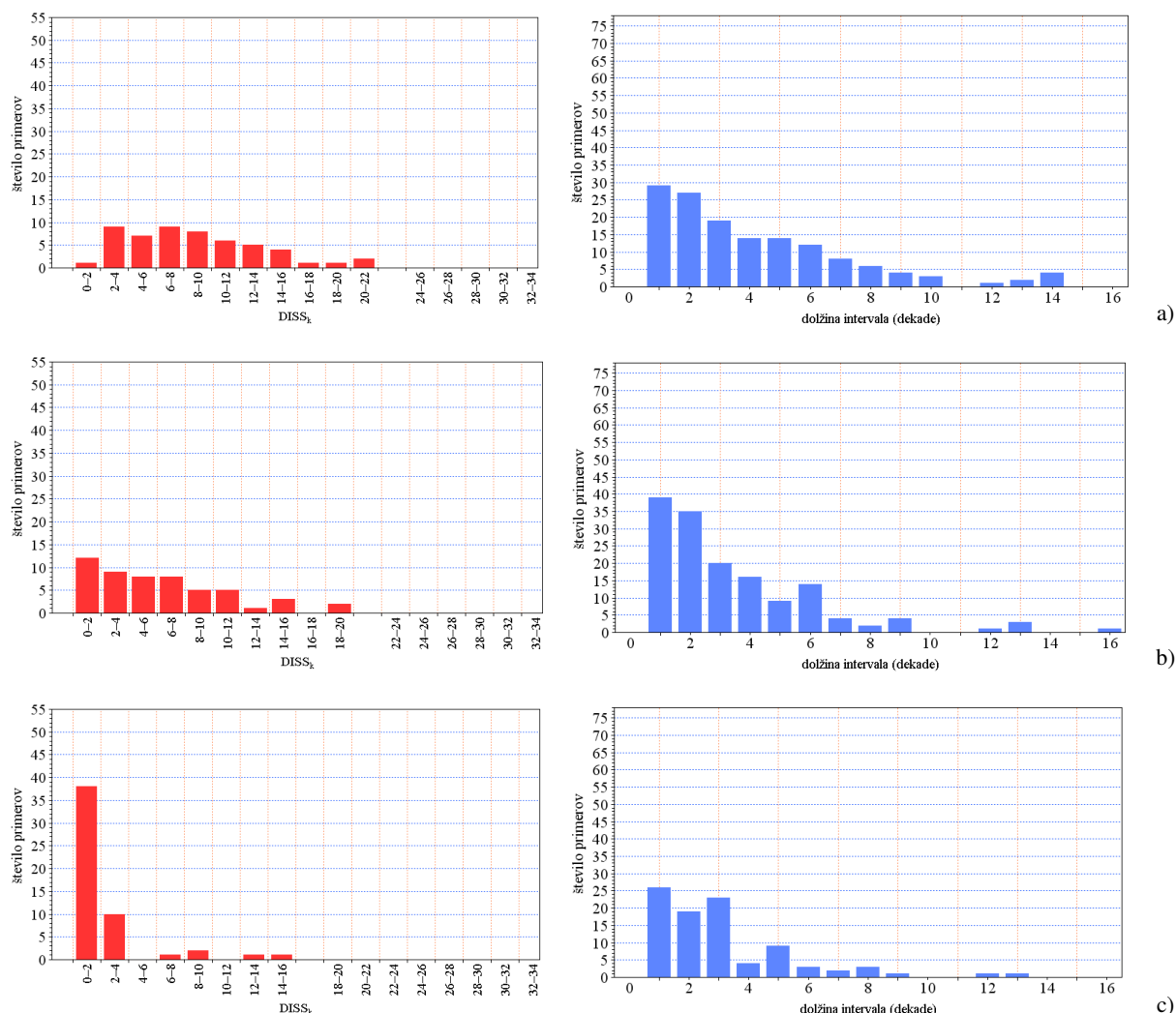
Slika 93: Tipizacija jakosti suše z DISS pri travi na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2013 v Murški Soboti. Obdobja blagega primanjkljaja, zmerne in močne suše v dekadi so obarvana rumeno, oranžno in rdeče.
 Figure 93: Typification of drought severity of grass by DISS on the soils with low (a) and high (b) water holding capacity in the period from 1st decade of April to 2nd decade of September in the period 1961–2013 in Murska Sobota. The periods with slight deficit, moderate and severe drought in decade are colored yellow, orange and red, respectively.



Slika 94: Tipizacija jakosti suše z DISS pri travi na tleh s slabo (a) in dobro (b) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2013 v Ratečah. Obdobja blagega primanjkljaja, zmerne in močne suše v dekadi so obarvana rumeno, oranžno in rdeče.
 Figure 94: Typification of drought severity of grass by DISS on the soils with low (a) and high (b) water holding capacity in the period from 1st decade of April to 2nd decade of September in the period 1961–2013 in Rateče. The periods with slight deficit, moderate and severe drought in decade are colored yellow, orange and red, respectively.

Leta 2012 je bila na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo suša v Murski Soboti nekoliko močnejša kot v Ratečah, pa vendar v podobnem terminu poleti. Razlika je bila le v tem, da se je v Murski Soboti pojavil stres že konec julija. To je povzročilo, da so imela tudi tla z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi na tej postaji večjo sušo kot v Ratečah, kjer je bila suša komaj opazna. Leta 2012, 1992 in 2003 večjih težav s sušo na travi v Ratečah ni bilo, leta 2006 pa je bilo ravno obratno.

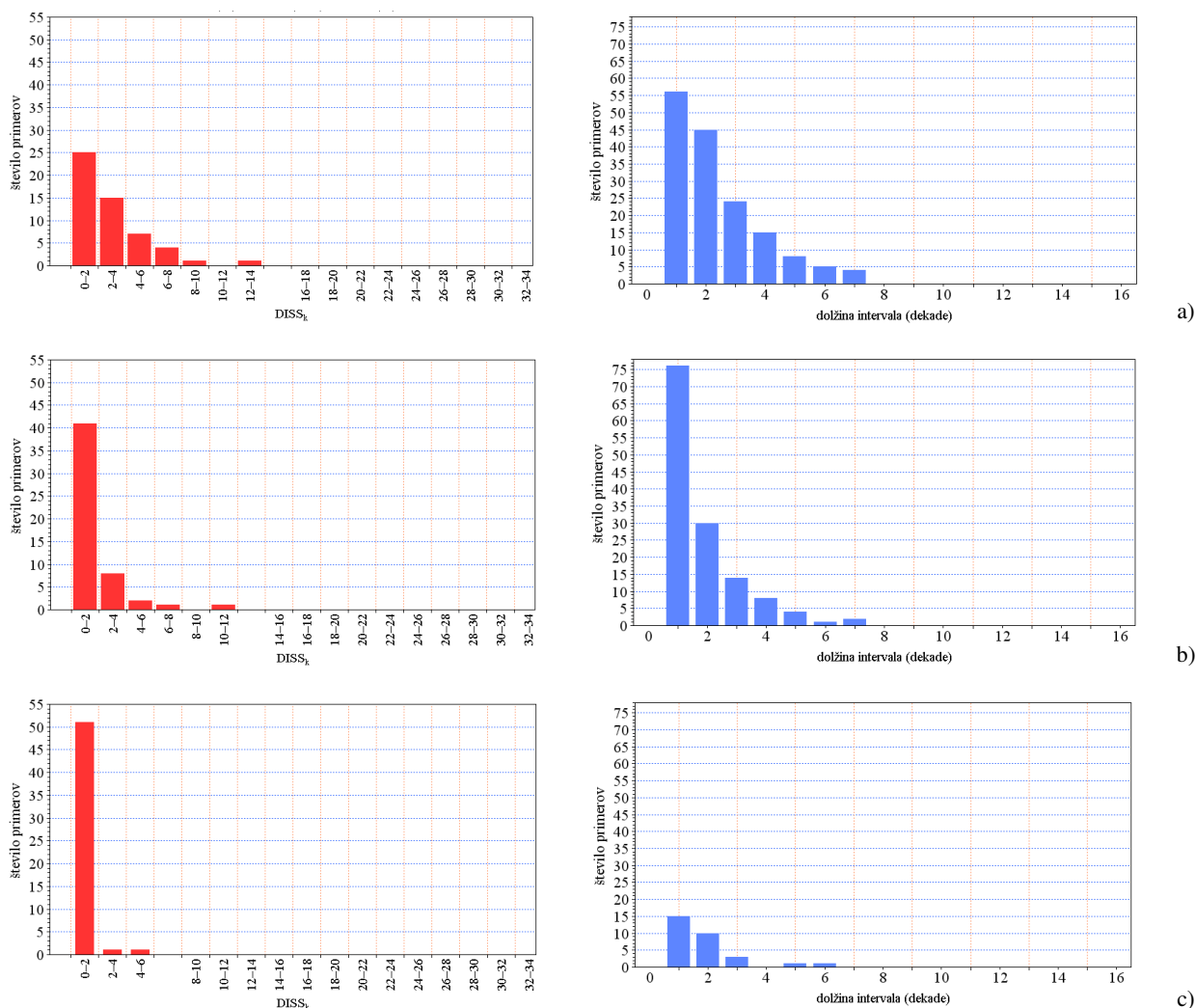
Na osnovi DISS je poleg jakosti sušnih intervalov možno oceniti tudi trajanje stresnih intervalov. V analizi za lokaciji Rateče in Murska Sobota smo ugotovili, da so desetdnevni intervali z $DISS > 0$ najbolj pogosti; na splošno se pojavljajo skoraj vsako drugo leto.



Slika 95: Porazdelitev kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) (rdeči stolpci), trajanja sušnih intervalov v dekadah (modri stolpci) za travo na tleh s slabo (a), srednje dobro (b) in dobro (c) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2012 v Murski Soboti.

Figure 95: Distribution of cumulative decadal drought stress index ($DISS_k$) (red columns), duration of drought intervals in decades (blue columns) for grass from 1st decade of April to 2nd decade of September on the soils with low (a), medium high (b) and high (c) water holding capacity in the period from 1961 to 2012 in Murska Sobota.

Dve dekadi dolgi intervali se pojavljajo redkeje, okrog 15 primerov pa je na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo v Murski Soboti 5 dekad trajajočih suš. Zredčijo se intervali suše, ki trajajo več kot 6 dekad. V ekstremnih sušah, kot je bila leta 2003, so intervali suše daljši. Takrat je v Murski Soboti ob menjavanju jakosti suše na takih tleh obdobje trajalo 14 dekad, od tega 8 dekad v zmerni ali močni suši. Na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo je obdobje suše trajalo 13 dekad, 6 dekad je bilo v zmerni ali močni suši (slika 95).



Slika 96: Porazdelitev kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa (DISS_k) (rdeči stolpci), trajanja sušnih intervalov v dekadah (modri stolpci) za travo na tleh s slabo (a), srednje dobro (b) in dobro (c) vodnozadrževalno sposobnostjo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2012 v Ratečah.
 Figure 96: Distribution of cumulative decadal drought stress index (DISS_k) (red columns), duration of drought intervals in decades (blue columns) of grass from 1st decade of April to 2nd decade of September on the soils with low (a), medium high (b) and high (c) water holding capacity in the period from 1961 to 2012 in Rateče.

Po jakosti je v Murski Soboti največ let z DISS_k za travo na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi v razredih med 2 in 4 ter 6 in 8, na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi pa je največ (38) let z DISS_k za travo med 0 in 2. Tovrstne analize so primerne za ugotavljanje frekvence suše na posamezni lokaciji. Stanje je

nekoliko drugačno v Ratečah (slika 96). Tam je manj primerov suše z večjim $DISS_k$ za travo že na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo, na ostalih dveh pa je največ, med 40 in 50 primerov $DISS_k$ med 0 in 2. Tudi na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo največja gradacija $DISS_k$ doseže vrednosti med 12 in 14. Po dolžini intervala pa je največ 1 do 2 dekadi trajajočega primanjkljaja; najdaljši interval je 7 tednov na tleh s srednje dobrimi in dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi.

4.3.5 Meje jakosti suše

V prejšnjem poglavju smo si ogledali nekaj časovnih nizov $DISS_k$ za primer trave in ugotavljali najhujše suše v zadnjih dvainpetdesetih letih. Ker je jakost suše odvisna od rastline, tal in lokacije, nas je zanimalo, kako lahko ovrednotimo jakost suše glede na klimatološko sliko posamezne lokacije. Na osnovi desetih reprezentativnih lokacij izbiramo statistične meje za območje Slovenije za različne rastline in tla. V preglednicah 40–42 so percentilna analiza in meje jakosti suše za kombinacije rastlina-tla-postaja. Tako določene meje suše smo v nadaljevanju uporabili za določanje verjetnosti pojava suše, pri kartografiji $DISS_k$ pa smo izračunali tudi povprečni 75. percentil za vse tipe tal.

Preglednica 40: Percentilna analiza kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa $DISS_k$ za travo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2012 na desetih lokacijah in treh tipih tal z različno vodnozadrževalno sposobnostjo: ekstremno sušna (98. percentil), zelo sušna (90. percentil) in sušna (75. percentil) vegetacijska sezona. Vrednosti $DISS_k \geq DISS_{kpovp}$ so označene z *.

Table 40: Percentile analysis of cumulative drought stress index $DISS_k$ of grass from 1st decade of April to 2nd decade of September in the period 1961–2012 on 10 locations and three soil types with different soil water holding capacity: extremely dry (98th percentile), very dry (90th percentile) and dry (75th percentile) vegetation period. $DISS_k \geq DISS_{kpovp}$ are marked with *.

DISS _k ZA TRAVO									
Postaja	Tip tal	98. perc.	90. perc.	75. perc.	Postaja	Tip tal	98. perc.	90. perc.	75. perc.
RA	S	7,4	5,9	3,7	CE	S	16,0	10,0	7,6
	SD	4,4	2,9	1,8		SD	12,2	6,9	4,7
	D	0,8	0,4	0,1		D	4,9	2,3	0,8
ŠSG	S	8,9	8,5	5,9	ČR	S	16,7	13,1	10,4*
	SD	6,3	5,4	3,5		SD	15,0*	10,4*	7,1
	D	1,7	0,8	0,4		D	4,9	2,3	0,8
LJ	S	11,3	10,9	9,1	MS	S	20,1*	15,4*	11,7*
	SD	9,5	8,1	5,7		SD	18,8*	11,6*	8,6*
	D	3,6	2,3	1,2		D	12,0*	3,5	2,2
MB	S	17,5*	13,4*	9,8	BI	S	23,7*	18,1*	12,8*
	SD	15,3*	10,0	7,1		SD	19,0*	15,2*	9,8*
	D	7,4	4,3	1,6		D	14,7*	7,1*	4,6*
NM	S	17,6*	12,4	10,3*	PO	S	29,9*	25,2*	22,0*
	SD	15,4*	10,3	7,3		SD	29,0*	23,1*	20,2*
	D	9,6*	3,9	1,8		D	24,0*	18,0*	14,5*
(DISS _{kpovp})	S	16,9	13,3	10,3	Legenda: S – tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo SD – tla s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo D – tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo				
	SD	14,5	10,4	7,6					
	D	8,3	4,6	2,9					

Analiza DISS_k na izbranih lokacijah za travo kaže, da od slovenskega povprečja odstopajo, predvsem na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo, lokacije Portorož, Bilje, Murska Sobota, Maribor, Novo mesto in deloma Črnomelj. Tla z boljšimi vodnozadrževalnimi lastnostmi imajo povprečen DISS_k manjši. Na lokaciji Portorož, Bilje in Murska Sobota je sušni stres tudi na tleh s srednje dobro in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo še vedno zelo visok. To kaže, da kljub vplivu tal izjemno vlogo igra podnebje lokacije. Podobno je tudi pri koruzi.

Preglednica 41: Percentilna analiza kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa DISS_k za koruzo od 3. dekade aprila do 1. dekade oktobra v obdobju 1961–2012 na desetih lokacijah in treh tipih tal z različno vodnozadrževalno sposobnostjo: ekstremno sušna (98. percentil), zelo sušna (90. percentil) in sušna (75. percentil) vegetacijska sezona. Vrednosti DISS_k ≥ DISS_{kpopv} so označene z *.

Table 41: Percentile analysis of cumulative drought stress index DISS_k of maize from 3rd decade of April to 1st decade of October in the period 1961–2012 on 10 locations and three soil types with different soil water holding capacity: extremely dry (98th percentile), very dry (90th percentile) and dry (75th percentile) vegetation period. DISS_k ≥ DISS_{kpopv} are marked with *.

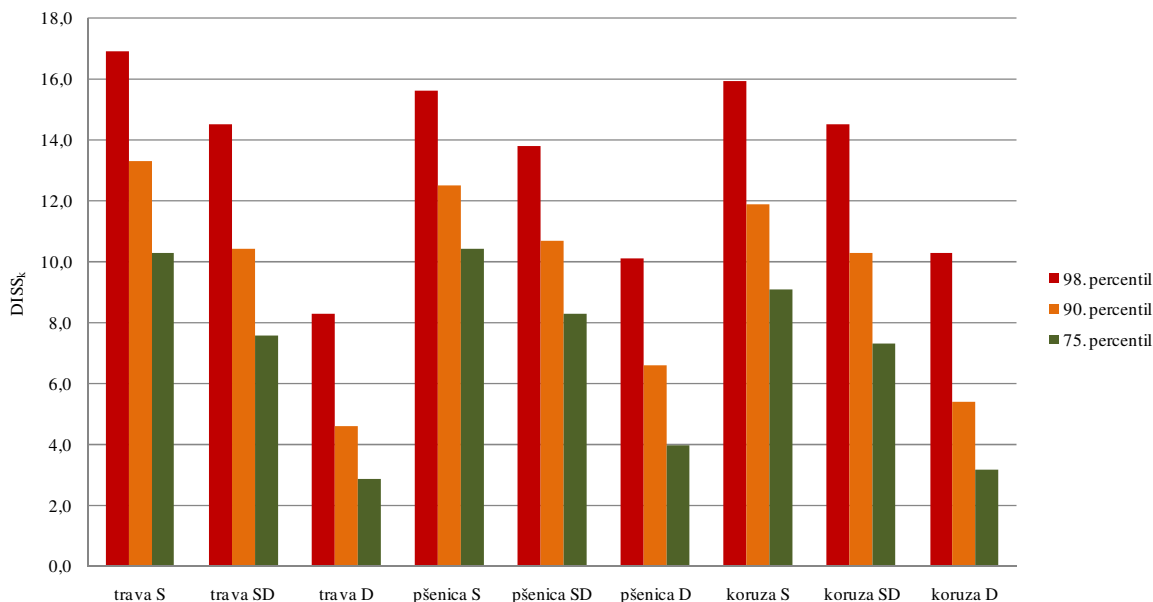
DISS _k ZA KORUZO									
Postaja	Tip tal	98. perc.	90. perc.	75. perc.	Postaja	Tip tal	98. perc.	90. perc.	75. perc.
RA	S	9,0	6,5	3,2	CE	S	14,2	9,2	6,5
	SD	6,3	3,8	1,7		SD	12,8	7,5	5,3
	D	2,3	0,6	0,1		D	5,5	2,7	1,0
ŠSG	S	9,4	6,4	4,5	ČR	S	15,8	12,1	8,9
	SD	7,5	4,4	2,8		SD	14,3	9,6	6,9
	D	3,2	1,0	0,4		D	9,0	4,7	2,3
LJ	S	12,9	9,6	7,1	MS	S	18,6*	12,1*	9,6*
	SD	11,7	8,3	5,2		SD	17,6*	12,3*	7,7*
	D	4,4	2,7	1,4		D	16,7*	4,0	2,8
MB	S	15,0	12,0	8,9	BI	S	19,9*	16,5*	12,6*
	SD	13,8*	9,9	6,6		SD	19,0*	14,0*	10,8*
	D	11,1*	4,6	2,3		D	17,0*	7,6*	3,5*
NM	S	15,9*	11,3	8,5	PO	S	27,9*	23,8*	21,1*
	SD	15,2*	10,8*	6,5		SD	26,5*	22,7*	19,7*
	D	8,3	4,6	1,8		D	25,8*	21,3*	16,5*
(DISS _{kpopv})	S	15,9	11,9	9,1	Legenda: S – tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo SD – tla s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo D – tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo				
	SD	14,5	10,3	7,3					
	D	10,3	5,4	3,2					

Preglednica 42: Percentilna analiza kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa $DISS_k$ za ozimno pšenico od 1. dekade marca do 2. dekade julija v obdobju 1961–2012 na desetih lokacijah in treh tipih tal z različno vodnozadrževalno sposobnostjo: ekstremno sušna (98. percentil), zelo sušna (90. percentil) in sušna (75. percentil) vegetacijska sezona. Vrednosti $DISS_k \geq DISS_{kpovp}$ so označene z *.

Table 42: Percentile analysis of cumulative drought stress index $DISS_k$ of winter wheat from 1st decade of March to 2nd decade of July in the period 1961–2012 on 10 locations and three soil types with different soil water holding capacity: extremely dry (98th percentile), very dry (90th percentile) and dry (75th percentile) vegetation period. $DISS_k \geq DISS_{kpovp}$ are marked with *.

$DISS_k$ ZA OZIMNO PŠENICO									
Postaja	Tip tal	98. perc.	90. perc.	75. perc.	Postaja	Tip tal	98. perc.	90. perc.	75. perc.
RA	S	8,6	7,1	5,7	CE	S	15,2	12,0	9,4
	SD	8,1	5,2	3,7		SD	12,5	10,5	7,5
	D	4,5	1,3	0,9		D	8,4	5,1	2,9
ŠSG	S	12,1	9,6	8,1	ČR	S	13,5	11,7	9,1
	SD	9,4	7,7	6,1		SD	12,4	9,2	7,1
	D	5,1	4,0	1,5		D	9,8	5,7	2,5
LJ	S	13,0	10,4	9,0	MS	S	17,0*	14,9*	13,2*
	SD	11,3	8,5	7,3		SD	15,2*	13,2*	10,3*
	D	6,4	4,2	2,7		D	11,3*	8,6*	6,5*
MB	S	21,3*	14,6*	11,6*	BI	S	18,7*	13,7*	11,6*
	SD	18,5*	12,9*	9,2*		SD	16,9*	12,2*	9,8*
	D	14,2*	7,6*	4,8*		D	11,6*	8,7*	4,8*
NM	S	14,7	11,2	9,7	PO	S	21,7*	19,8*	16,4*
	SD	13,7	10,3	7,8		SD	20,4*	17,2*	13,9*
	D	11,5*	6,8*	3,8		D	17,5*	13,4*	9,8*
$(DISS_{kpovp})$	S	15,6	12,5	10,4	Legenda: S – tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo SD – tla s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo D – tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo				
	SD	13,8	10,7	8,3					
	D	10,1	6,6	4,0					

Podatke o povprečnih vrednostih $DISS_{k_{povp}}$ za vseh deset lokacij smo uporabili pri analizi vpliva tal na jakost kmetijske suše izbranih rastlin (slika 97). Pri kartografiji $DISS_k$ za koruzo smo uporabili mejo 6,5 za znak suše (povprečen 75. percentil za sušo).



Slika 97: Povprečne meje razredov suše za vegetacijske sezone trave, ozimne pšenice in koruze v Sloveniji (povprečje 10 lokacij) na treh tipih tal z različno vodnozadrževalno sposobnostjo (S/SD/D): ekstremno sušna (98. percentil), zelo sušna (90. percentil) in sušna (75. percentil) vegetacijska sezona.

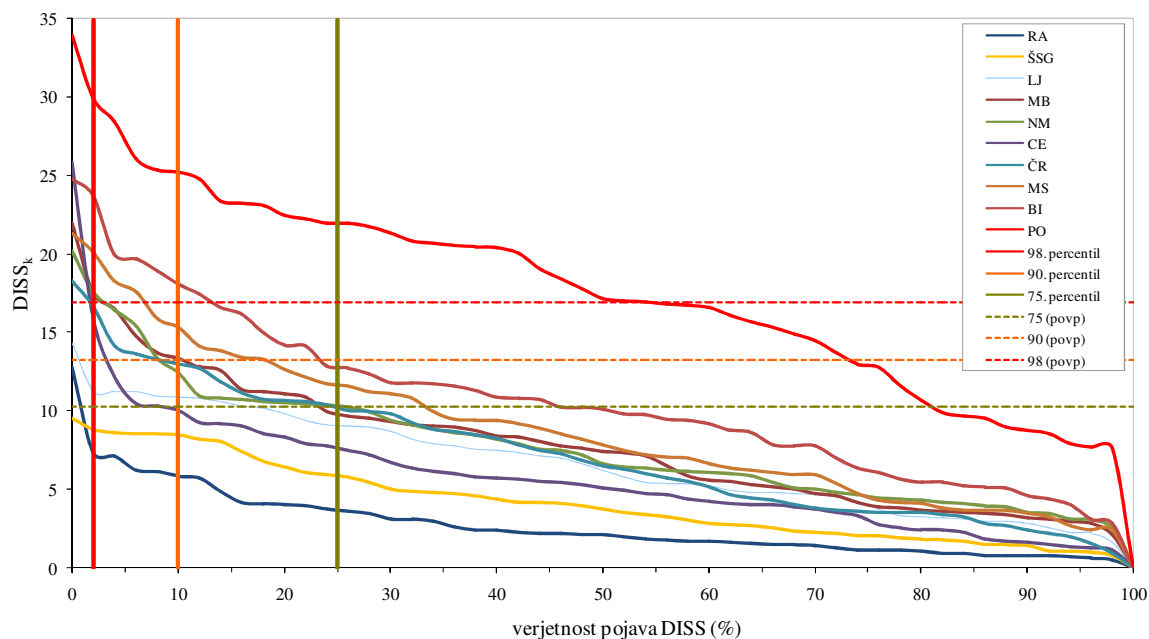
Figure 97: Average thresholds of drought classes for vegetation periods of grass, winter wheat and maize in Slovenia (average of 10 locations) and three soil types with different soil water holding capacity (S/SD/D): extremely dry (98th percentile), very dry (90th percentile) and dry (75th percentile) vegetation period.

4.3.6 Vpliv tal na verjetnost pojava različnih jakosti suše

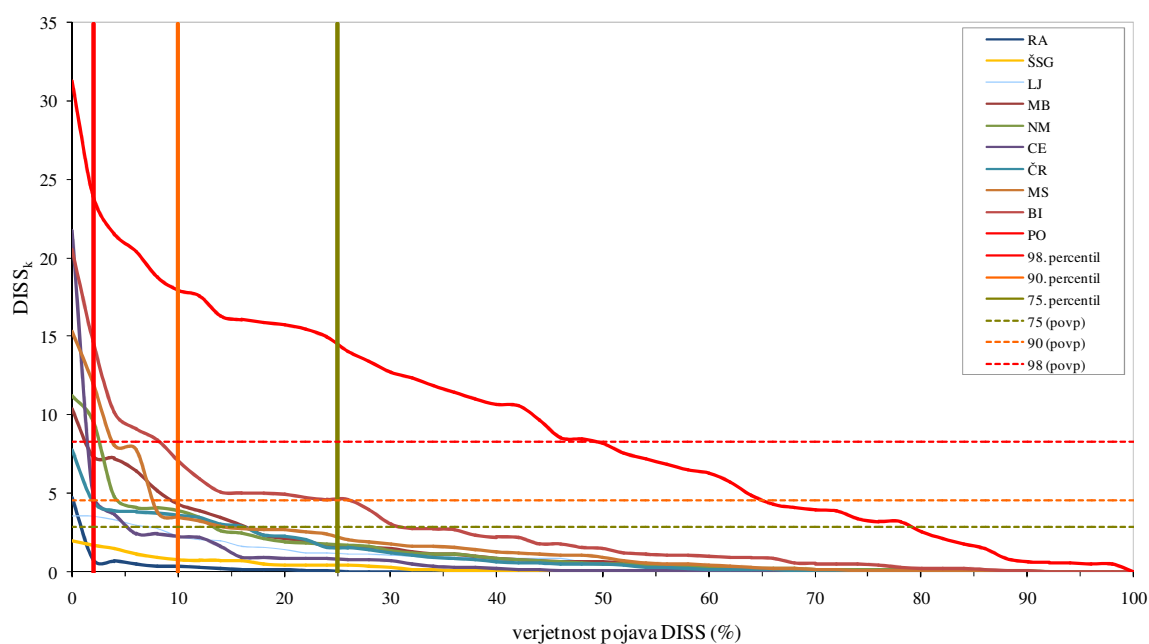
Že v prejšnjih analizah smo ugotovili, da tla močno vplivajo na odziv rastlin na sušo. Na sliki 98 so prikazane verjetnosti pojava suše na travi na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo na vseh preučevanih lokacijah.

Glede na slovensko povprečje $DISS_{k_{povp}}$ za travo na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo (10,3) je tveganje za sušno vegetacijsko sezono za travo največje v Portorožu, saj je 80 % (42 let) vegetacijskih sezon trave v tveganju sušnosti. Tudi v Biljah je takih sezon več kot 40 % (več kot 20 let). Veliko tveganje suše je tudi v Murski Soboti, več kot 30 % let. V Bilju pa vsaj v petih letih od 52 let lahko pričakujemo ekstremno sušo. V Portorožu je lahko ekstremna suša za travo glede na $DISS_{k_{povp}}$ vsaka druga vegetacijska sezona.

Na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo je stanje boljše. V dobri polovici let se pojavi tveganje suše za travo v Portorožu tudi na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi, v 30 % let pa tudi v Biljah. Drugod je tveganje manjše, do 10 % let (5 let). V Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu je tveganje še manjše, na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo enkrat na 50 let. Takrat je suša tudi na drugih tleh.



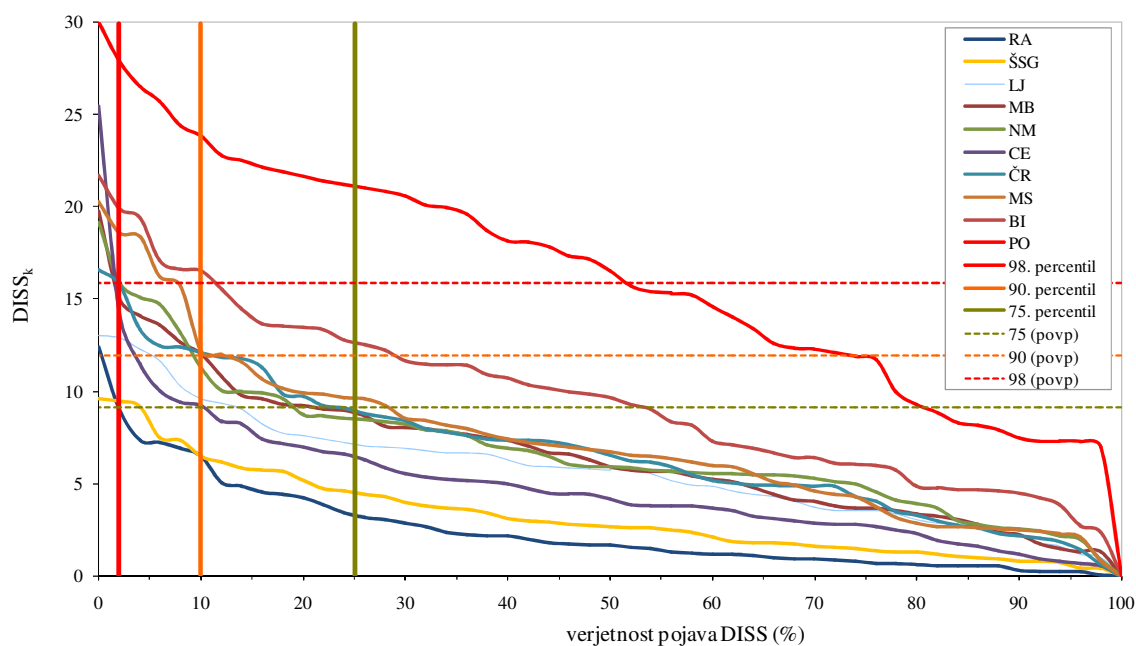
Trava – tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo (a)



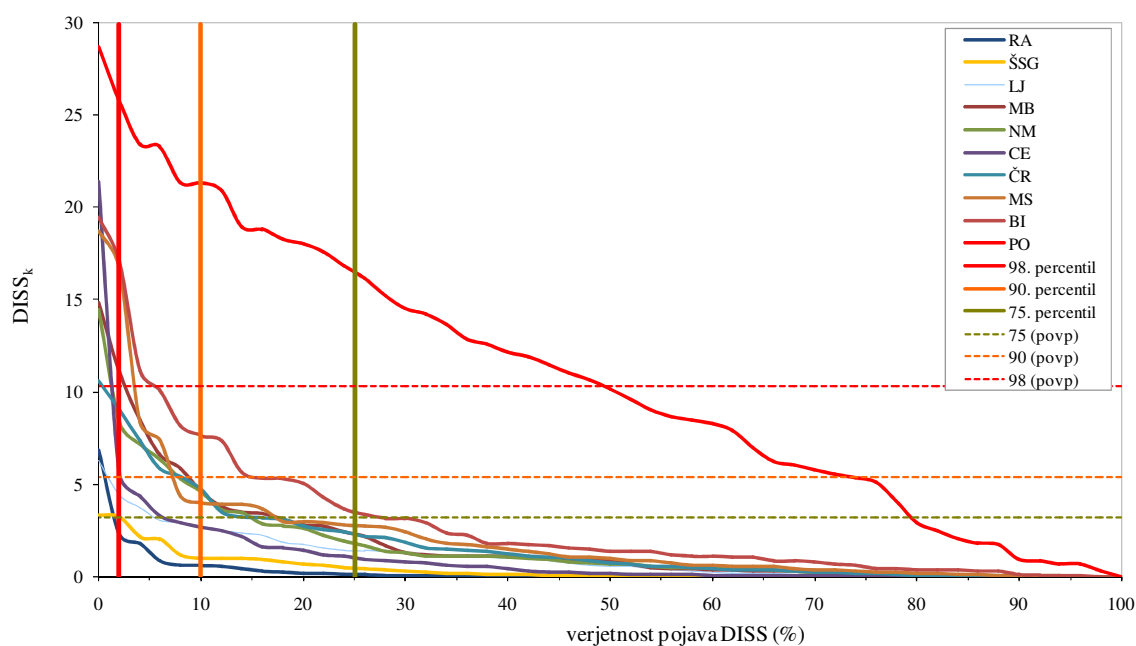
Trava – tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo (b)

Slika 98: Vrednosti kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) za travo na tleh s slabo (a) in dobro (b) zadrževalno sposobnostjo za vodo od 1. dekade aprila do 2. dekade septembra v obdobju 1961–2012 na 10 lokacijah v Sloveniji. Označene so meje za ekstremno sušna (2 %), zelo sušna (2–9 %) in sušna leta (9–25 %). Povprečne vrednosti percentilov za Slovenijo so označene s (povp).

Figure 98: Cumulative drought stress index ($DISS_k$) of grass on the soils with low (a) and high (b) water holding capacity from 1st decade of April to 2nd decade of September in the period from year 1961 to 2012 for 10 locations in Slovenia. Thresholds for extremely dry (2 %), very dry (2–9 %) and dry years (9–25 %) are marked. Average percentiles values for Slovenia are marked with (povp).



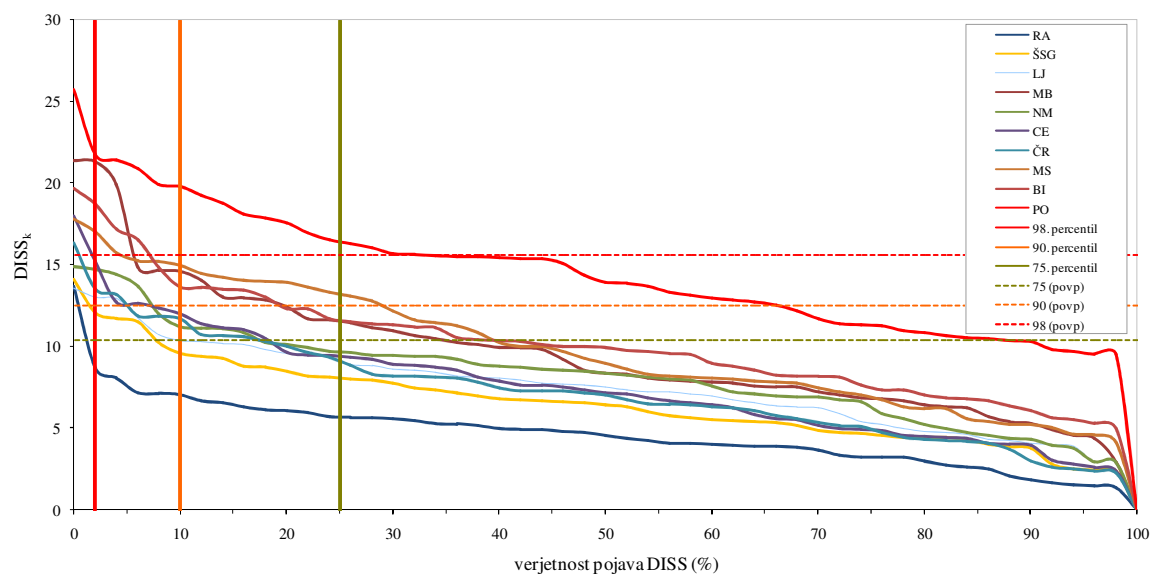
Koruza – tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo (a)



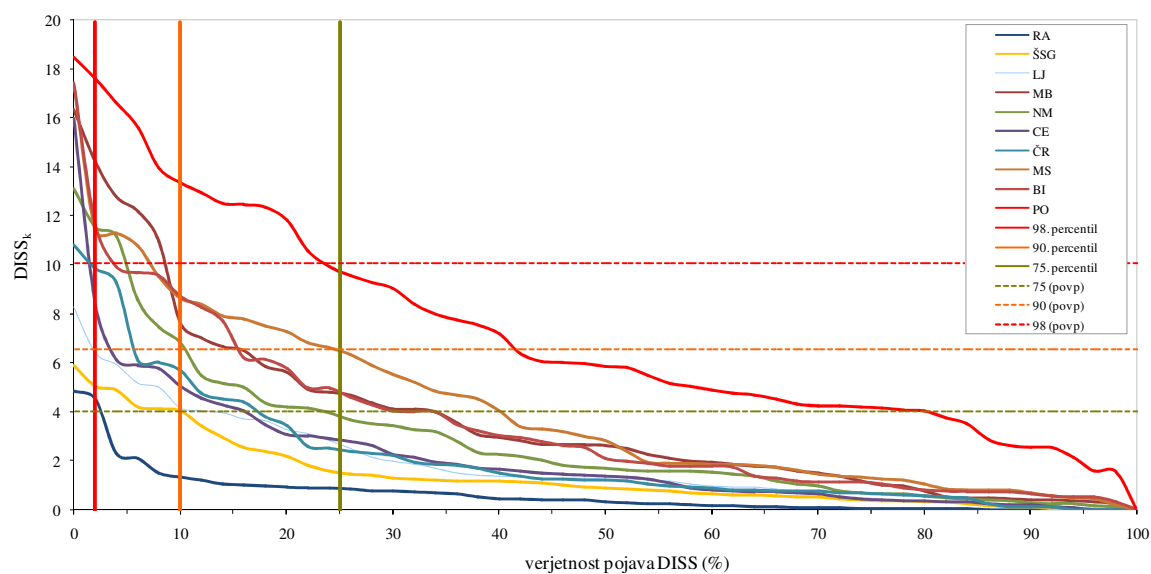
Koruza – tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo (b)

Slika 99: Vrednosti kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) za koruzo na tleh s slabo (a) in dobro (b) zadrževalno sposobnostjo za vodo od 3. dekadne aprila do 1. dekadne oktobra v obdobju 1961–2012 na 10 lokacijah v Sloveniji. Označene so meje za ekstremno sušna (2 %), zelo sušna (2–9 %) in sušna leta (9–25 %). Povprečne vrednosti percentilov za Slovenijo so označene s (povp).

Figure 99: Cumulative drought stress index ($DISS_k$) for maize on the soils with low (a) and high (b) water holding capacity from 3rd decade of April to 1st decade of October in the period from year 1961 to 2012 for 10 locations in Slovenia. Thresholds for extremely dry (2 %), very dry (2–9 %) and dry years (9–25 %) are marked. Average percentiles values for Slovenia are marked with (povp).



Ozimna pšenica – tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo (a)



Ozimna pšenica – tla z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo (b)

Slika 100: Vrednosti kumulativnega dekadnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) za ozimno pšenico na tleh s slabo (a) in dobro (b) zadrževalno sposobnostjo za vodo od 1. dekade marca do 2. dekade julija v obdobju 1961–2012 na 10 lokacijah v Sloveniji. Označene so meje za ekstremno sušna (2 %), zelo sušna (2–9 %) in sušna leta (9–25 %). Povprečne vrednosti percentilov za Slovenijo so označene s (povp).

Figure 100: Cumulative drought stress index ($DISS_k$) for winter wheat on the soils with low (a) and high (b) water holding capacity from 1st decade of March to 2nd decade of July in the period from 1961 to 2012 for 10 locations in Slovenia. Thresholds for extremely dry (2 %), very dry (2–9 %) and dry years (9–25 %) are marked. Average percentiles values for Slovenia are marked with (povp).

S slike 99 bi lahko sklepali, da je pridelava koruze v Portorožu povezana z velikim tveganjem, saj so visoke vrednosti $DISS_k$ pogoste (80 % primerov). Okrog polovice je takih let tudi v Biljah. Glede na slovensko povprečje $DISS_{k_{povp}}$ (9,1), ki je meja za sušno vegetacijsko sezono koruze, lahko sklepamo, da je razen v Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu tveganje pri pridelavi koruze tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo veliko. V 10 do 25 % let se na teh lokacijah pojavi sušna vegetacijska sezona za koruzo. V Murski Soboti je v 10 letih od enainpetdeset obravnavanih let verjetno, da se pojavi zelo sušna sezona, in vsaj v 5 letih celo ekstremno sušna vegetacijska sezona za koruzo. Na tleh z boljšo vodnozadrževalno sposobnostjo se zmanjšuje verjetnost za visoke vrednosti $DISS$.

Na sliki 100 je prikazana verjetnost pojava sušnih vegetacijskih sezon za ozimno pšenico na tleh s slabo in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo na vseh lokacijah. Če sklepamo, da je meja $DISS_k$ slovenskega povprečja (10 postaj) za ozimno pšenico na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo 10,4 za razred suše, se v Portorožu, Murski Soboti in Biljah v kar več kot 30 % let (v 15 letih) pojavi verjetnost, da bo ta vrednost $DISS_k$ presežena. V Mariboru, Murski Soboti in Biljah je 10 do 25 % let v zelo sušnem razredu. Pri tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo je povprečna vrednost izbranih postaj in verjetnost zelo sušnega leta glede na ta prag podobna kot na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo.

4.3.7 Prostorski prikaz suš z $DISS_k$ za koruzo v obdobju 2003–2013

Kot je bilo pojasnjeno že v metodološkem delu (poglavje 3.2.3.4), smo se odločili za prostorski pregled jakosti suše na primeru koruze. Dosedanje analize kmetijske suše so v glavnem potekale na osnovi podatkov in prostorske interpolacije meteorološke vodne bilance površinskega sloja tal. Ob kmetijski suši 2012 in 2013 so v prostorsko prikazovanje vključevali tudi rabo tal, ni pa bil upoštevan dejanski sušni stres obravnavane kmetijske rastline. To smo dosegli s kazalcem $DISS$.

4.3.7.1 Prostorski prikaz $DISS$ na primeru suše 2006

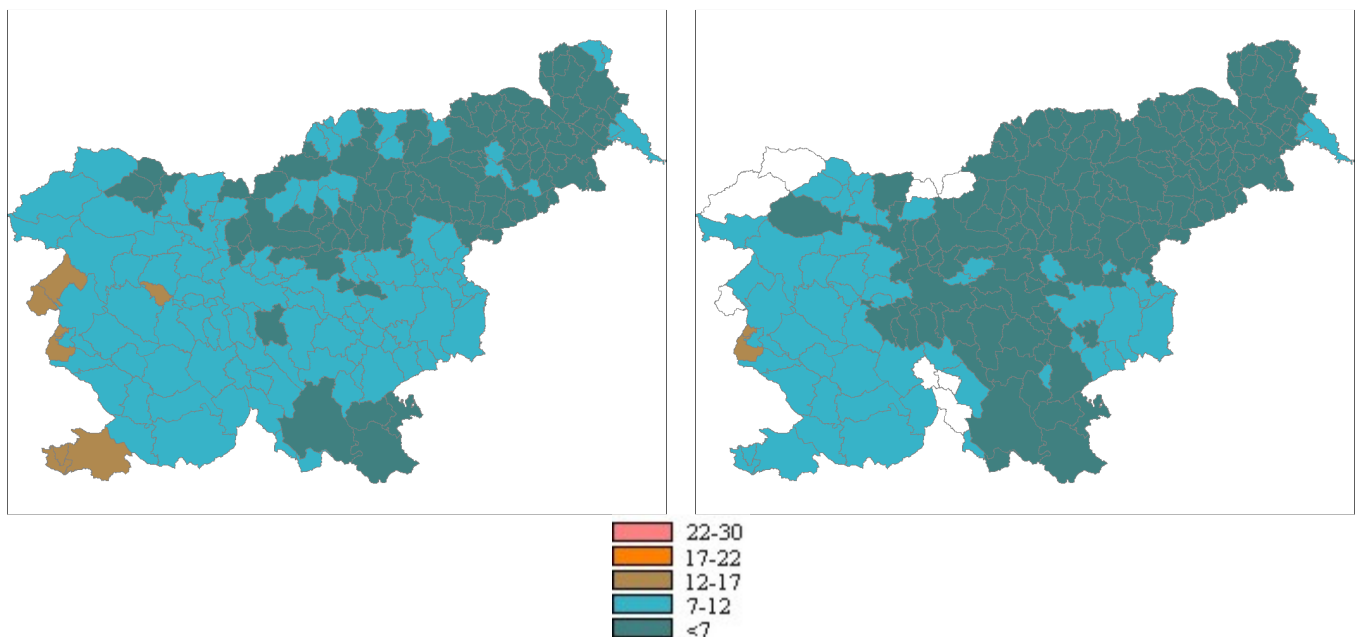
Tudi pri prostorskem prikazu $DISS_k$ smo uporabili osnovno prostorsko enoto v kmetijstvu – GERK. Viri (poglavje 3.1.3.3) in določitev prikaza so opisani v metodah ter v preglednici 43. Le tako je bila možna interpretacija kazalca $DISS$ na rabo zemljišča, v našem primeru koruze. Koruza je poljščina, ki jo je v zadnjih desetih letih suša pogosto prizadela. Zasnovo prostorskega prikaza smo izvedli za leto 2006.

Če uporabimo samo GERK z rabo njiv, kot je bila praksa v analizah kmetijske suše v preteklosti, lahko napačno interpretiramo podatke, saj posamezni predeli pri preračunu na njivske površine lahko kažejo poškodovanost zaradi suše na njivah ($DISS$ 7–12), ko vključimo podatek iz baz AJDA ali ARSKTRP, pa ugotovimo, da na nekaterih lokacijah koruze sploh ni bilo ali pa sploh ni bilo prijave škode zaradi suše.

Preglednica 43: Zasnova DISS_k prostorske interpolacije.
 Table 43: Scheme of DISS_k spatial interpolation.

Prostorska enota/Podatki	Vir	Določitev
GERK		
meteorološki podatki	najbližja meteorološka postaja	razdalja do geometrične sredine kmetijskega zemljišča
pedološke lastnosti (EPK)	vrednost EPK na pedološki karti	prekrivanje pedološke karte in središčne točke kmetijskega zemljišča
DISS _k koruze na GERK	izračun DISS _k (na osnovi zgornjih podatkov za GERK)	DISS _k v središčni točki kmetijskega zemljišča
Občina		
raba tal	površina vseh kmetijskih zemljišč znotraj občine	vsota površine vseh GERK-ov v občini
DISS _k izbrane kmetijske kulture v občini	DISS _k za vsa kmetijska zemljišča znotraj občine z izbrano rabo na primeru koruze (register AJDA in/ali ARSKTRP)	utežba glede na površino vseh zemljišč

V evidencah je še precej težav z neenotnimi šifranti. Tak primer je recimo občina Bovec, ki po preračunu na njivske površine pade v razred DISS 7–12 (slika 101), v preračunu na površino pod koruzo pa tam podatka ni (slika 102). Vzrok je najverjetneje majhna površina pod koruzo in/ali premajhna poškodovanost koruze po suši in prijav oziroma ocen poškodovanosti po suši sploh ni bilo (bela lisa).



Slika 101: Povprečen DISS_k za koruzo v letu 2006, preračunan na vse GERK-e s kmetijsko rabo – njiva.

Figure 101: Average DISS_k for maize in the year 2006, calculated for all GERKs with land use – field.

Slika 102: Povprečen DISS_k za koruzo v letu 2006, preračunan samo na tiste GERK-e, kjer so površine s koruzo registrirane v katalogih AJDA in/ali Agencije RS za kmetijske trge.

Figure 102: Average DISS_k for maize in the year 2006, calculated only for GERKs where areas with maize are registered in the catalogues of AJDA and/or Agency RS for agricultural markets and rural development.

4.3.7.2 Karte suš 2000–2013 z uporabo metodologije prostorskega prikaza DISS

Na osnovi razložene sheme smo izrisali tudi prostorske prikaze DISS_k za koruzo v obdobju 2000–2013. Pri izdelavi legende smo izbrali okvirne meje povprečnih percentilov za koruzo v Sloveniji.

Močno izstopa leto 2003, ko je DISS_k presegel vrednosti ekstremne suše. V nasprotju s kartami vodne bilance, ki so prikazane na slikah 78 do 80, je na kartah DISS_k v območjih največjega vodnega primanjkljaja z novim pristopom možno ugotavljati oceno poškodovanosti posamezne kmetijske rastline, kar do zdaj ni bilo možno. S slike 103 je razvidno, da so najbolj prizadete občine z večjim deležem tal s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo na Primorskem, kjer je vpliv klimatološkega značaja območja zelo močan. Leta 2006 je bila prizadeta zahodna Slovenija, gradacija suše ni dosegla takih stopenj kot leta 2003. Večja intenzivnost suše na koruzi je bila očitna tudi leta 2012 na Primorskem in leta 2013 v večjem delu vzhodne Slovenije, v delu osrednje Slovenije in v delu Primorske z zaledjem.

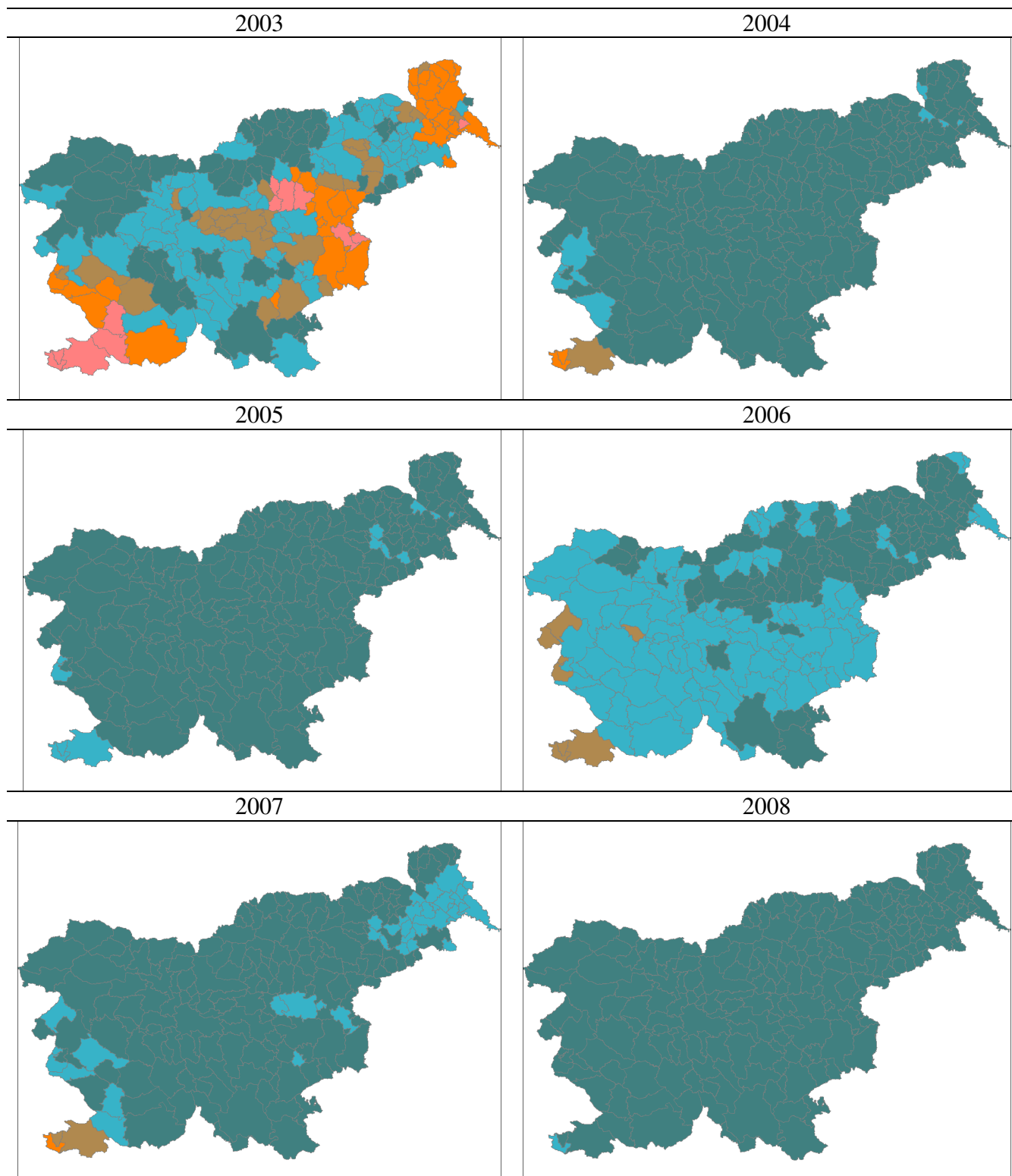
4.3.7.3 Pogostnost pojava suše na izbranih lokacijah v obdobju 2000–2012

Izdelali smo pregled pogostosti pojava kmetijske suše v zadnjih trinajstih letih in obseg poškodovanih njivskih kmetijskih površin v posamezni občini. Percentili so povprečne vrednosti DISS_k za koruzo iz preglednice 41.

S slik 104 in 105 je razvidno, da se je kmetijska suša nad pragom povprečnega 75. percentila za koruzo pojavila 9-krat v Piranu in 4-krat v Ljubljani, v Mariboru, v Celju, v Murski Soboti in v Novi Gorici, 2-krat v Šmartnem pri Slovenj Gradcu ter 1-krat v Radovljici, Novem mestu in Črnomlju, kjer je bil delež zaradi suše poškodovanih njiv v občini več kot 50 %.

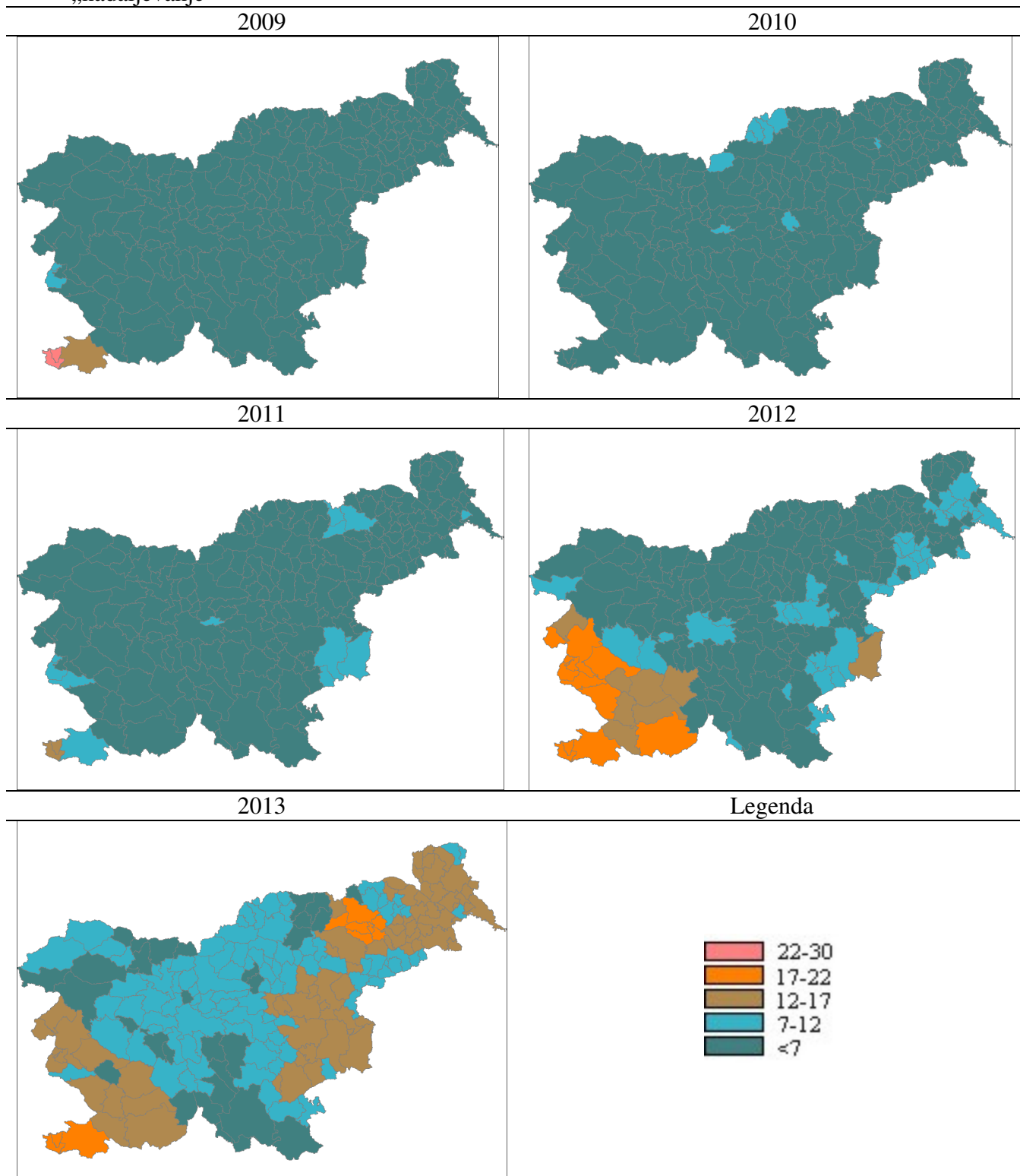
V teh letih je zelo sušno obdobje nastopilo vsaj enkrat do dvakrat povsod razen v Črnomlju ter enkrat ekstremna suša, in sicer v Novem mestu, Celju, Murski Soboti. Največji delež poškodovanih njiv je v ekstremnem območju v Piranu; petkrat je bil njihov delež 100 %. Tudi v Novi Gorici je bilo leta 2012 nad pragom 98. percentila 100 % njiv s koruzo.

Zanimivo je, da je v Murski Soboti delež poškodovanih njiv največji leta 2003; leta 2012 je bilo 100 % njiv v razredu sušno, ni pa bilo njiv v ekstremno sušnem razredu.



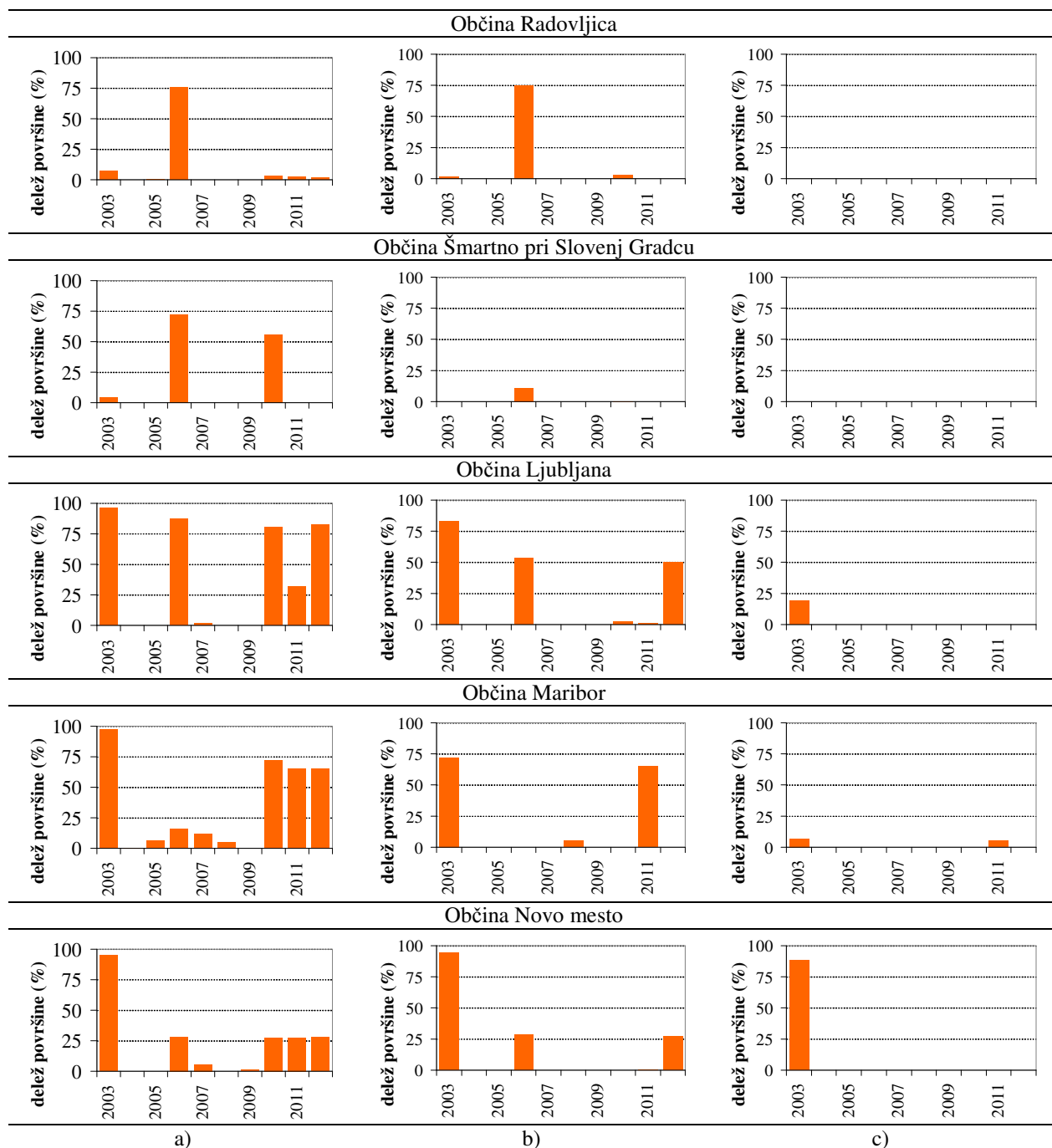
„se nadaljuje“

„nadaljevanje“



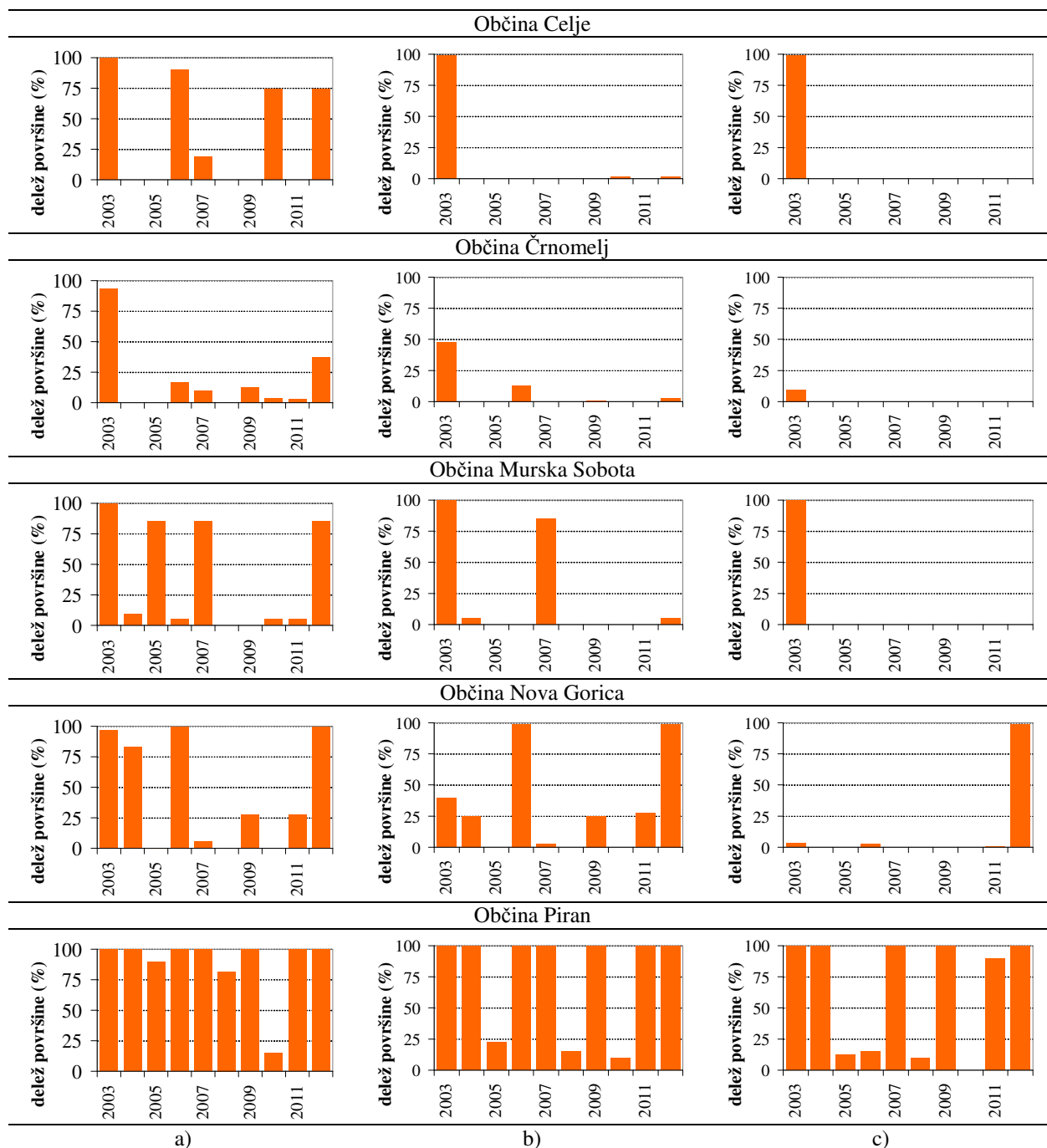
Slika 103: Povprečen DISS_k za koruzo v obdobju 2003–2013, preračunan na vse GERK-e s kmetijsko rabo – njiva. Uporabljeni so bili podatki iz kataloga GERK v letu 2010.

Figure 103: Average DISS_k for maize in the period from year 2003 to 2013, calculated for all GERKs with land use – field. Data from the GERK catalogue in the year 2010 were used.



Slika 104: Delež površine občine z DISS_k za koruzo nad povprečnim pragom (75. percentil – sušno /a/, 90. percentil – zelo sušno /b/ in 98. percentil – ekstremno sušno /c/) v obdobju 2003–2012, preračunan na vse GERK-e s kmetijsko rabo – njiva za občine Radovljica, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana, Maribor in Novo mesto.

Figure 104: Land share in the municipalities with DISS_k of maize above average threshold (percentile 75th – dry /a/, 90th percentile – dry /b/ and 98th percentile – extremely dry /c/) in the period from year 2003 to 2012 calculated for all GERKs with land use – field for the municipalities Radovljica, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana, Maribor and Novo mesto.



Slika 105: Delež površine občine z $DISS_k$ za koruzo nad povprečnim pragom (75. percentil – sušno /a/, 90. percentil – zelo sušno /b/ in 98. percentil – ekstremno sušno /c/) v obdobju 2003–2012, preračunan na vse GERK-e s kmetijsko rabo – njiva za občine Celje, Črnomelj, Murska Sobota, Nova Gorica in Piran.

Figure 105: Land share in the municipalities with $DISS_k$ of maize above average threshold (percentile 75th – dry /a/, 90th percentile–dry /b/ and 98th percentile – extremely dry /c/) in the period from year 2003 to 2012 calculated for all GERKs with land use – field for the municipalities Celje, Črnomelj, Murska Sobota, Nova Gorica and Piran.

4.4 PREVERJANJE KAZALCEV SUŠE

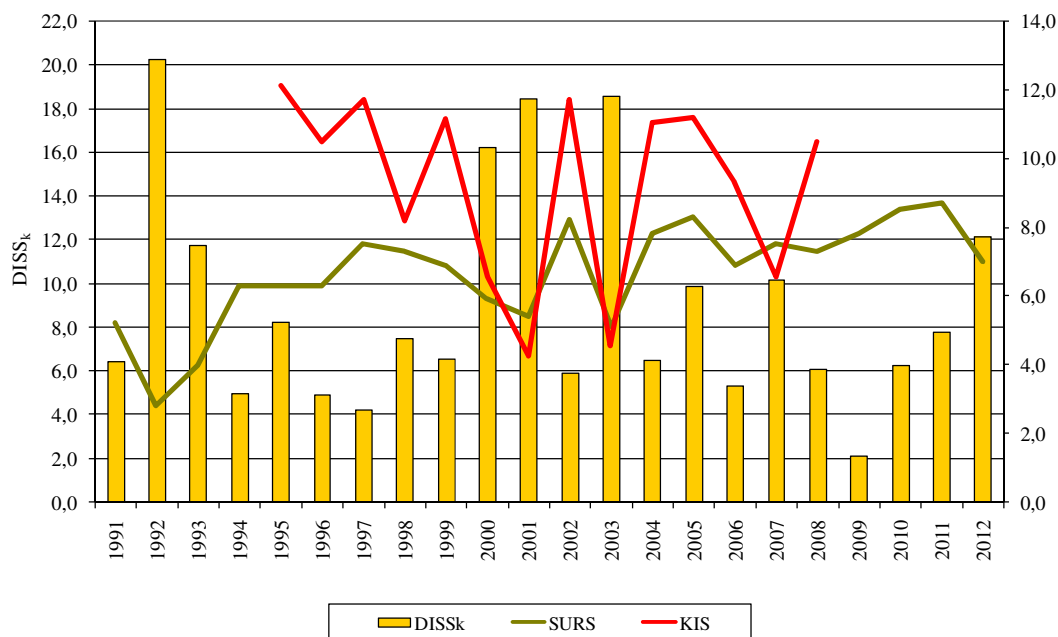
Rezultati, pridobljeni s kazalcem $DISS_k$, so bili preverjeni z informacijami o pojavu suše v arhivskih zapisih o suši Agencije RS za okolje (Popis suš ..., 2013) ter baze AJDA (Sistem za ocenjevanje ..., 2012), kjer so podatki o škodi po suši in o programu odprave posledic škode v kmetijstvu. Žal podatki o škodi niso javno dostopni; pridobili smo le bazo za leto 2006. Za izbrane lokacije smo točkovne vrednosti $DISS_k$ za koruzo preverjali še s podatki o pridelkih. Natančnejši opis vira je opisan v metodah.

4.4.1 Zmanjšanje pridelka koruze

Zmanjšanje pridelka koruze povzročijo različni dejavniki: sušni stres, vročinski stres, toča, močan veter in drugi. Pri uporabi višine pridelka za verifikacijo $DISS_k$ je največja težava ugotoviti oziroma omejiti samo vpliv suše na pridelek. Večinoma v vseh vegetacijskih sezonah pride tudi do drugih vremenskih motenj ali težav z boleznimi, neprimerne tehnologije in drugih dejavnikov, ki lahko povzročijo zmanjšanje pridelka. Ko smo ugotavljali povezave kazalca suše $DISS_k$ s podatki o pridelku koruze, smo uporabili podatke o povprečni višini pridelka koruze za zrnje v posameznih letih na poskusnem polju Kmetijskega inštituta Slovenije v Murski Soboti (Ceglar, 2011). Korelacija med pridelkom in $DISS_k$ je visoka ($r^2 = 0,77$).

Podatki o povprečnih pridelkih so zaradi omejenega obdobja pridelave hibrida dostopni le za obdobje 1998–2008. Ceglar (2011) navaja, da so se v Murski Soboti pojavila sušna leta 1992, 1993, 2000, 2001, pred letom 1990 pa po manjši količini padavin izstopajo predvsem leta 1967, 1971, 1983 in 1988. V navedenih letih je omenjena območja zajela izrazita kmetijska suša. Od omenjenih let je $DISS$ pokazal na sušne razmere, ki so vplivale na razvoj koruze leta 1971 in 1983, manjšo jakost suše pa v letih 1988 in 1967. Do podobnih ugotovitev je prišel tudi Bergant (2003), ki je omenjena leta klasificiral kot leta s temperaturo, višjo od dolgoletnega povprečja, ter z manjšo količino padavin v topli polovici leta.

Za daljše obdobje 1992–2012 smo zato uporabili še statistične podatke o pridelku koruze za zrnje (C1200) v Sloveniji (Pridelava poljščin ..., 2013). Ta podatek je povprečen pridelek koruze za celotno Slovenijo, zato ne odraža stanja na lokaciji Murske Sobotne. Med leta z najmanjšim pridelkom koruze v Sloveniji se uvrščajo leta 2000, 2001 in 2003 (slika 106). Prekmurje je predel, kjer obstajajo velika območja s koruzo in je vpliv na količino pridelka v Sloveniji velik. V teh letih je bila suša tudi drugod po Sloveniji, tako da je odziv pridelka zelo podoben tistemu na lokaciji Murska Sobota, kjer je še nekoliko slabši. Največje težave so bile na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo.



Slika 106: Povprečna višina pridelka koruze za zrnje (hibrid Furio) v posameznih letih na poskusnih poljih v Murski Soboti, (povzeto po Ceglar, 2011) v obdobju 1995–2008 in hibrida koruze za zrnje (C1200) v obdobju 1991–2012 v Sloveniji (Pridelava poljščin ..., 2013), navedena v tonah na hektar, in kumulativni dekadni indeks sušnega stresa (DISS_k) za koruzo od 3. deкаде aprila do 1. deкаде oktobra na tleh s slabo zadrževalno sposobnostjo v Murski Soboti v obdobju 1992–2012.

Figure 106: Mean grain maize yield (variety Furio) from field experiments in Murska Sobota (adopted by Ceglar, 2011) in the period 1995–2008 and maize grain hybrid (variety C1200) in the period 1991–2012 in Slovenia (Pridelava poljščin ..., 2013), expressed in tons per hectare and cumulative drought stress index (DISS_k) for maize from 3rd of April to 1st decade of October on the soils with low water holding capacity in Murska Sobota in the period 1992–2012.

4.4.2 Izjemni sušni dogodki v Sloveniji in arhivski zapisi o sušah

Za tri večje kmetijske suše v Sloveniji smo izvedli tudi preverjanje rezultatov z arhivskimi zapisi o sušah. Uporabili smo podatke v biltenih ARSO (Bilteni vodnobilančnega ..., 2013; Popis suš ..., 2013) ter podatke o poškodbah po suši iz Programov odprave posledic škode v kmetijstvu zaradi suše (Program odprave ..., 2007) (preglednica 44). Značilnost obravnavanih kmetijskih suš je, da so nastopile tako časovno kot prostorsko različno. Pri DISS_k smo uporabili mejo 6,5 za znak suše (povprečen 75. percentil za sušo).

Suša 2003 je trajala od marca do septembra in je zajela 60 % Slovenije. Najmanj prizadeto je bilo območje skrajne severozahodne Slovenije. V tako ekstremnem letu se dobro odzivajo vsi kazalci.

Suša 2006 je prizadela le 25 % ozemlja Slovenije. Bila je poletna suša in je trajala od junija do julija. Tu je razhajanje kazalcev večje: SPI4 sušo detektira samo v Ratečah in Biljah, v Portorožu pa ne, saj je SP4 1,12. Če uporabimo kazalec vodna bilanca, je znak suše tudi v Portorožu, ne vključuje pa Rateč. Najbolje se odzove DISS_k, ki se najbolj ujema tudi z arhivom suš.

Pri letu 2012 je zelo slabo ujemanje s SPI4, malo boljše z vodno bilanco, najbolj pa pokaže stanje suše DISS_k. Le v Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu zelo sušnega stanja ni bilo.

Preglednica 44: Preverjanje kazalcev kmetijske suše s podatki o škodi po suši na koruzi v treh sušnih letih.
Table 44: Agricultural drought indicators verification with archive data about drought damage on maize crops in three droughty years.

Sušna leta Postaja	SPI4	VB	DISS _k za tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo*	Arhiv sušnih dogodkov (SUŠA – DA/NE)
2003				
RA	✖	✖	✖(1,3)	NE
ŠSG	✓	✖	✓(7,5)	DA
LJ	✓	✓	✓(12,9)	DA
MB	✓	✓	✓(12,7)	DA
NM	✓	✓	✓(19,1)	DA
CE	✓	✓	✓(25,5)	DA
ČR	✓	✓	✓(16,6)	DA
MS	✓	✓	✓(18,6)	DA
BI	✓	✓	✓(21,7)	DA
PO	✓	✓	✓(30,0)	DA
2006				
RA	✓	✖	✓(12,4)	DA
ŠSG	✖	✖	✓(9,4)	DA
LJ	✖	✖	✓(9,1)	DA
MB	✖	✖	✓(7,2)	DA
NM	✖	✖	✓(11,4)	DA
CE	✖	✖	✓(7,4)	DA
ČR	✖	✖	✓(12,4)	DA
MS	✖	✖	✖(5,3)	NE
BI	✓	✓	✓(15,5)	DA
PO	✖	✓	✓(17,4)	DA
2012				
RA	✖	✖	✖(3,1)	NE
ŠSG	✖	✖	✖(5,3)	NE
LJ	✖	✖	✓(10,3)	DA
MB	✖	✓	✓(8,0)	DA
NM	✖	✖	✓(13,3)	DA
CE	✖	✖	✓(9,3)	DA
ČR	✖	✖	✓(8,5)	DA
MS	✖	✓	✓(12,1)	DA
BI	✓	✓	✓(19,4)	DA
PO	✓	✓	✓(23,9)	DA

* DISS_k > 6,5 pomeni 75. percentil za koruzo za Slovenijo.

4.4.3 Poškodovanost rastlin po suši leta 2006

Podatke o DISS_k smo primerjali tudi s podatki o škodi iz leta 2006. Tega leta so naravne nesreče – neurja, toča in suša – slovenskemu kmetijstvu povzročile zelo veliko škodo. Končno oceno neposredne škode v tekoči kmetijski proizvodnji leta 2006 je na osnovi poročil občinskih in regijskih komisij za ocenjevanje škode ter opisa meteoroloških razmer

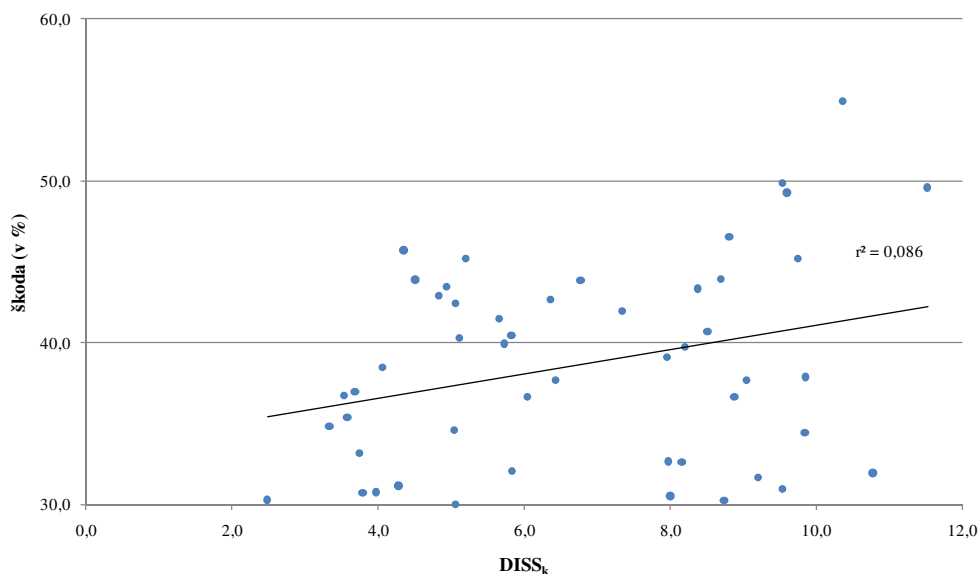
v navedenem obdobju izdelala Uprava RS za zaščito in reševanje pri Ministrstvu za obrambo. Državna komisija za ocenjevanje škode po naravnih in drugih nesrečah je to škodo potrdila. Največjo škodo so utrpeli naslednje kmetijske kulture: trajno travinje, jabolka I. kakovosti, koruzna silaža in koruza v zrnju in belo grozdje za predelavo. Ocena škode po kulturah in povprečni poškodovanosti poleg ocenjene škode navaja tudi poškodovano površino ter povprečno stopnjo poškodovanosti pridelka, ki se od kulture do kulture razlikuje in se glede na vse poškodovane kmetijske kulture najpogosteje giblje med 40 in 60 %. V preglednici 45 je izpis za obravnavane lokacije. Pri Biljah in Portorožu smo dodali še dve najbližji lokaciji, saj občini Portorož in Bilje ne obstajata. Dodali smo jih tudi zato, da pokažemo, kako se lahko že na kratki relaciji zaradi deleža tal oziroma zastopanosti koruze stanje zelo spremeni. Občina Brda ima le 2 ha koruze, občina Nova Gorica pa 212,6 ha. Podobno je tudi pri Portorožu, ko smo uporabili občino Izola, kjer je le 0,7 ha njiv s koruzo, in Koper s 27, 5 ha. Največja škoda na hektar je bila ocenjena v Novi Gorici, kjer je bila tudi vrednost $DISS_{kpovp}$ največja, nad 6,5, kar je meja za sušno vegetacijsko sezono koruze. Škoda je bila v Novi Gorici ocenjena na 456 EUR/ha, v Murski Soboti, kjer suše ni bilo, škode ni bilo (preglednica 45).

Preglednica 45: Povprečni $DISS_{kpovp}$, preračunan na občine, povprečna škoda na koruzi, površina zemljišč s koruzo in škoda leta 2006 za izbrane lokacije (z oranžnimi okvirčki sta označeni lokaciji z največjo in najmanjšo škodo zaradi suše).

Table 45: Average $DISS_{kpovp}$ calculated for municipalities, average damage due to drought, land area with maize, and damage cost in the year 2006 for chosen locations (locations with the highest and the lowest damage due to drought are marked in orange frame) .

Občina (Postaja)	$DISS_{kpovp}$	Povprečna škoda [%]	Površina [ha]	Škoda [EUR]	Škoda [EUR/ha]
Radovljica (RA)	10,2	32,6	263,0	95.560,0	363,3
Šmartno pri Slovenj Gradcu (ŠSG)	7,2	10,3	447,9	50.850,0	113,5
Ljubljana (LJ)	9,7	6,6	888,2	50.859,0	57,3
Maribor (MB)	5,4	8,7	482,1	37.837,0	78,5
Novo mesto (NM)	7,4	37,7	581,2	224.155,0	385,7
Celje (CE)	6,6	1,9	420,8	8313,0	19,8
Črnomelj (ČR)	6,4	40,3	621,1	214.116,0	344,8
Murska Sobota (MS)	3,1	0,0	953,9	0,0	0,0
Nova Gorica (BI)	11,3	49,6	212,6	97.030,0	456,4
Brda (BI)	12,2	0,0	2,1	0,0	0,0
Izola (PO)	12,1	41,9	0,7	184,0	264,5
Koper (PO)	12,3	27,5	35,3	7120,0	201,6

Pri ugotavljanju povezave med $DISS_k$ koruze in škodo po koruzi za 50 občin, ki so prijavile škodo višjo kot 30 %, smo naleteli na težavo pri variabilnosti ocen, ki jih je ponekod težko pojasniti, saj so vzroki lahko različni (slika 107).



Slika 107: Korelacija med DISS_k koruze in škodo po suši na koruzi za 50 občin (škoda > 30 %) leta 2006.
 Figure 107: Correlation between DISS_k of maize and damage due to drought on maize for 50 municipalities (damage > 30 %) in the year 2006.

4.5 PREDNOSTI IN SLABOSTI KAZALCEV

Slabosti in prednosti različnih kazalcev, preizkušenih na slovenskih razmerah, in kako njihove lastnosti vplivajo na uporabo, smo ponazorili v preglednici 46. Privzeli smo ocene od 1 (slabo) do 4 (dobro).

Preglednica 46: Lastnosti in uporabnost kazalcev kmetijske suše.
 Table 46: Agricultural drought indicator characteristics and usefulness.

Kazalec suše	Količina vhodnih podatkov	Dostopnost podatkov	Metoda	
			Natančnost izračuna	Napaka ocene suše
padavine	4	4	1	velika
SPI	3	3	2	srednje velika
vodna bilanca	2	2	3	majhna
DISS	1	1	4	zelo majhna
	Uporabnost kazalca		Potencialen uporabnik	
padavine	zgodnje opozarjanje na sušo – faza 1		MKO, kmetijske svetovalne službe (tehnološka navodila), splošna javnost	
SPI	SPI1		MKO, kmetijske svetovalne službe (tehnološka navodila), splošna javnost	
	SPI 3; SPI4		zavarovalnica (zavarovanje spomladanskih in poletnih poljščin)	
vodna bilanca	opozorilo na prve znake kmetijske suše – faza 2		MKO, svetovalne službe (tehnološka navodila pred sušo), splošna javnost	
DISS _k	kmetijska suša – faza 3		MKO, svetovalne službe (tehnološka navodila ob in po suši), postopki ocene kmetijske suše ob razglasu naravne nesreče (URSZR), splošna javnost; raziskovalci (klimatologija suše, ranljivosti in tveganja za sušo, rajonizacija za sušo ranljivih območij, prilagajanje na podnebne spremembe, akcijski načrt upravljanja suše), politiki in strategiji	

V preglednici 47 je naveden čas dostopnosti izračuna kazalcev in obdobje, ki ga obravnavajo.

Preglednica 47: Čas dostopnosti izračuna kazalcev in obravnavano obdobje.
Table 47: Indicators calculation time and period of reference.

Kazalec	Čas izračuna	Obravnavano obdobje
odklon kumulativnih padavin	vsako dekada v vegetacijski sezoni od 1. aprila do konca vegetacijske sezone	dan
SPI1	vsak mesec	mesec
SPI3	vsak mesec	3-mesečno obdobje
SPI3 za pomladanske poljščine	15. 6.	leto
SPI4 za poletne poljščine	1. 9.	leto
VB	vsako dekada v vegetacijski sezoni	dan
DISS _k za specifično rastlino	vsako dekada v vegetacijski sezoni	dan
DISS _k prostorsko	konec vegetacijske sezone	leto

Glavne ugotovitve glede kazalcev so, da so enostavni kazalci lažje dostopni in manj natančni, napaka ocene suše pa večja.

Ugotovitve glede lastnosti indeksa SPI in povezave s škodami zaradi suše so potrdile zaključke Bokalove (2010), ki trdi, da SPI ni neposredno povezan s škodami in da za neposredno povezavo potrebujemo še druge podatke. Stanje bolje opiše vodna bilanca, najbolje pa DISS. Glavna omejitev pri kompleksnejših kazalcih je pomanjkanje ustreznih podatkov.

4.6 NEGOTOVOSTI

Zavedamo se, da so ocene dejanskega stanja sušnega stresa kmetijskih rastlin s pomočjo modeliranih vrednosti oziroma kazalcev negotove. Ker je sušni stres zelo kompleksen dejavnik, vrednotenje negotovosti pri modeliranju sestavljenih procesov zahteva dobro poznavanje celotnega procesa. Negotovost kazalca $DISS_k$ je sestavljena iz negotovosti različnih podatkov in naključne negotovosti, ki je lahko na primer uporaba napačnih podatkov, meritev na napačnem mestu ali pomanjkanje meritev. V preglednici 48 so zbrane nekatere omejitve oziroma negotovosti, ki lahko vplivajo na interpretacijo kazalca $DISS_k$.

Preglednica 48: Seznam negotovosti ob uporabi kazalca $DISS_k$ za določanje stopnje kmetijske suše in njegovem preverjanju.

Table 48: List of uncertainties by use of $DISS_k$ for agricultural drought severity detection and its verification.

Vrsta podatka	Omejitev	Število merilnih mest (Vir)
Uporaba		
padavine	problematična je pokritost prostora (prostorska interpretacija podatkov)	62 postaj za 24-urne padavine in radarski podatki (ARSO)
	Učinkovitost padavin ni upoštevana.	
evapotranspiracija	manjše število postaj, ki merijo temperaturo zraka, sončno obsevanje, veter in vlažnost za izračun ET_0 po Penman-Monteithu (interpretacija podatkov v hribovitih predelih)	39 (ARSO)
fenološki razvoj kmetijskih rastlin	pomanjkanje sistematičnih aktualnih fenoloških faz (za simulacije vodne bilance se uporabljajo standardi fenološkega monitoringa ARSO, ne upoštevajo se letne variabilnosti, ki lahko močno spremenijo ritem razvoja rastlin)	55 (ARSO)
	težava s kolobarjem, vsako leto na isti površini druga rastlina ter sortimenti	
vodnozadrževalne lastnosti tal	raznolikost določanja vodnozadrževalnih lastnosti tal (modeliranje/merjenje), pomanjkanje podatkov	digitalna karta (Biotehniška fakulteta)
model IRRFIB	enoslojen model	razvoj modela v obdobju 2009–2013 (ARSO)
	pomanjkanje meritev globine korenin za Slovenijo in linearna interpolacija rasti	
	linearna interpolacija koeficienta rastlin	
	predpostavka o polni zalogi vode v koreninski coni na začetku sezone	
	neupoštevan kapilarni dvig	
Preverjanje		
evidenca grafičnih enot rabe kmetijskih gospodarstev – GERK	Niso stalno enaki, spreminjajo se površina oziroma velikost in vrsta kulture na GERK-u. Težava z neenotnimi evidencami in šifranti.	letno
evidenca rabe tal po kulturah	Evidenca po šifrantu vsebuje podatke o kulturi (po veljavnem šifrantu) ter natančne podatke o legi in površini kmetijskega zemljišča.	letno

„se nadaljuje“

„nadaljevanje“

Vrsta podatka	Omejitev	Število merilnih mest (Vir)
ocena poškodovanosti kmetijskih kultur zaradi suše	Ocene so subjektivne in zelo v širokih razponih. Komisije so zelo različno navedle podatke o površini (ha) in deležu (%) poškodovanih kmetijskih rastlin (vpliv človeškega faktorja).	ob razglasu suše
	Podatki o škodah so pridobljeni iz sistema AJDA le za posamezna leta. Pomanjkanje podatkov za analize suš v preteklosti.	ob razglasu suše
pridelek rastlin	Variabilnost pridelka glede na lokacijo in sortni izbor. Težko je izključiti multiple učinke različnih stresov (vročina, veter, toča, slaba tehnologija, pozeba, bolezni) in tehnologije na končni pridelek. Podatki za statistične regije lahko vodijo do napačnih zaključkov.	regijska dostopnost podatkov (ali eksperimentalno razdrobljeni podatki)

4.7 ZAKLJUČKI

V raziskavi smo vzpostavili koncept za slednje kmetijske suše v Sloveniji. Pri zasnovi kazalcev kmetijske suše v Sloveniji smo v študiji postavili metodologijo za zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo (**faza 1**), za izdajo opozoril na prve znake kmetijske suše (**faza 2**) in alarmiranje različnih stopenj kmetijske suše na različnih kmetijskih rastlinah (**faza 3**).

Za obdobje 1961–2013 smo na desetih lokacijah v Sloveniji (Rateče, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana, Maribor, Novo mesto, Celje, Črnomelj, Murska Sobota, Bilje in Portorož) raziskovali lastnosti enostavnih kazalcev (delež kumulativnih padavin glede na dolgoletno povprečje, SPI, meteorološka vodna bilanca) in kompleksnega kazalca (DISS) kmetijske suše in njihove spremembe v času in prostoru.

Izračun kazalcev smo izvedli na dnevni podatkih meteorološke baze Agencije RS za okolje. Podatke o vodnozadrževalnih lastnostih tal smo pridobili iz karte, ki jo je izdelala Biotehniška fakulteta, nekatere meritve za modeliranje vodne bilance pa so bile pridobljene iz arhiva pedoloških podatkov Agencije RS za okolje. Prav tako smo pri delu za vse izbrane lokacije uporabili arhivske fenološke podatke za 3 kmetijske rastline (trava, koruza in ozimna pšenica), ki jih zbira Agencija RS za okolje.

Za razvoj kompleknejšega kazalca smo nadgradili model IRRFIB (verzijo 03.1), modul za nenamakane rastline, in ga integrirali v bazo Agencije RS za okolje. Ob ugotavljanju dejanskega sušnega stresa pri rastlinah pa enostavni kazalci, ki vključujejo le meteorološke podatke, ne pa podatkov o razvojnem stanju rastlin in vodnozadrževalne lastnosti tal, ne pokažejo prave slike. Dosedanje analize so pokazale, da splošni enostavni kazalci kmetijske suše zaznajo sušno leto, manj pa stopnjo poškodovanosti kmetijskih rastlin. Velikokrat sta sušno obdobje in coniranje kmetijske suše določeni arbitrarno glede na meteorološko sušo, šele na osnovi subjektivne ocene strokovnih komisij na terenu se določa stopnja poškodovanosti kmetijskih rastlin.

Z uporabo modula za nenamakane rastline modela IRRFIB smo definirali nov kazalec – dekadni indeks sušnega stresa (DISS), ki združuje informacije rastlina-tla-podnebje. Dekadni indeks sušnega stresa pomeni jakost sušnega stresa izbrane kmetijske rastline na izbranem tipu tal v dekadi. DISS smo zasnovali kot orodje za sprotno sledenje in klimatološko vrednotenje sušnega stresa na matriki podatkov rastlina-tla-podnebje v izbranem obdobju. Analizo DISS na desetih izbranih lokacijah smo izvedli na treh različnih rastlinah – ozimna pšenica, koruza in trava – z različnimi vegetacijskimi obdobji na treh različnih tipih tal (slaba, srednje dobra in dobra vodnozadrževalna sposobnost tal) v obdobju 1961–2013. Pšenico smo izbrali zato, da z njo označimo pomladansko oziroma zgodnjepoletno sušo, koruzo kot kazalec poznopoletne suše in travo kot kazalec suše v vegetacijskem obdobju. Vegetacijsko obdobje ozimne pšenice smo definirali kot obdobje od spomladanskega razraščanja do žetve (začetek aprila–konec julija), koruze kot obdobje od setve do spravila pridelka (konec aprila–začetek oktobra), pri travi pa smo uporabili cikel štirih odkosov (konec aprila–sreda septembra).

Kazalce smo verificirali z arhivskimi podatki o sušnih dogodkih v Sloveniji, ki smo jih pridobili iz baze AJDA za leto 2006 (URSZR) in arhiva zapisov o suši ARSO.

Rezultate študije lahko strnemo v naslednje ugotovitve:

Rezultati kažejo, da je delež kumulativnih padavin glede na dolgoletno povprečje dober kazalec zgodnjega opozarjanja na kmetijsko sušo. Glede na sušna leta v obdobju 1961–2013 smo kot mejo za sušna leta definirali **prag ≤ 70 -odstotni delež dolgoletnih padavin**. Pri operativnem sledenju kmetijske suše smo definirali prag za zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo (faza 1) kot **delež kumulativnih padavin glede na dolgoletno povprečje (DKP) v % (1971–2000)** v vegetacijskem obdobju (analogno lahko tudi za izbrano obdobje v času mirovanja rastlin ali znotraj vegetacijske sezone). Klimatološko povprečje je treba obnavljati glede na nov niz meteoroloških podatkov.

Iz analize DKP v dveh enako dolgih časovnih nizih (1961–1986 in 1987–2012) lahko ugotovimo, da se povečuje število vegetacijskih obdobj, ko pade glede na dolgoletno povprečje 1971–2000 manj kot 70 % padavin v novejšem obdobju (1987–2012) pri vseh treh rastlinah: travi, koruzi in pšenici. Najočitnejši je porast let z izbranim pragom v Portorožu za vse izbrane rastline. To pomeni resno tveganje za kmetijsko pridelavo travinja in poljščin.

Analiza količine padavin v obdobjih 1961–1986 in 1987–2013 za vse postaje in različna vegetacijska obdobja (trava, koruza, ozimna pšenica) kaže, da se **količina padavin v vegetacijskih obdobjih izbranih rastlin v obdobju 1987–2013 zmanjšuje** na večini obravnavanih lokacij. Izjema so lokacije Šmartno pri Slovenj Gradcu, Maribor ter Murska Sobota pri koruzi, kjer gre za povečanje za 2–5,5 %. Analiza kaže, da so trendi sprememb padavin v vegetacijski sezoni trave statistično značilni v Ratečah, Biljah, Ljubljani, Celju, Mariboru in Portorožu. Največja relativna sprememba padavin na 10 let je v Portorožu (10,6 %), najmanjša, 1,3–1,8 %, pa v Murski Soboti in Šmartnem pri Slovenj Gradcu. Pri spremembah padavin v vegetacijski sezoni koruze, razen v Portorožu, ni statistično značilnih trendov. Pri padavinah v obdobju vegetacijske sezone ozimne pšenice od marca do julija pa sta trenda statistično značilna v Ratečah in Portorožu.

Pri obravnavi kmetijske suše sta se v Sloveniji kot pomembna kazalca na osnovi analize zavarovalniških tveganj izkazala za pomladanske poljščine **SPI3, izračunan na dan 15. junija (ponazarja stanje v obdobju 15. marec–15. junij)**, in za poletne poljščine **SPI4, izračunan na dan 1. septembra (ponazarja stanje v obdobju 1. maj–1. september)**. Seveda pa je logična predpostavka, da samo primanjkljaj padavin v večmesečnem obdobju (brez upoštevanja razvojnih faz rastlin, vodnozadrževalnih lastnosti tal in drugih dejavnikov) ne more pojasniti morebitnega nastanka škode zaradi sušnega stresa pri kmetijskih rastlinah.

Analiza SPI3 kaže, da v spomladanskem obdobju v zadnjih letih, predvsem **po letu 2000, pogosteje beležimo tudi sušnejša spomladanska obdobja, ko je stanje glede na SPI3 < -1**. Spomladanske poljščine, med katere poleg pšenice sodijo še ječmen, oves, rž, proso, oljna ogrščica in oljna repica, torej vse pogosteje doživljajo spomladanski in zgodnjepoletni padavinski primanjkljaj glede na SPI3. Najbolj sušna vegetacijska sezona za ozimno pšenico je bila leta 2003, ko so na obravnavanih lokacijah, razen v Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu, vrednosti SPI3 presegle -2. Za pšenico neugodna je bila tudi sezona 2000 v Črnomlju in Novem mestu ter sezona 2007 v Biljah, Portorožu in Ljubljani. Zelo sušne sezone so bile še leta 2010 (na 6 od 10 lokacij) in 2011 (na 5 od 10 lokacij).

Študija SPI4 kaže, da v obdobju maj–avgust **v zadnjih letih, predvsem po letu 2000, pogosteje beležimo sušnejša obdobja** zlasti v Biljah in Portorožu. Tam je kar 7 oziroma 6 sušnih sezon za koruzo v obdobju 1993–2013, določenih glede na SPI4 < -1. Manjše spremembe v smeri sušnejših sezon so tudi v Novem mestu in Črnomlju (4 več kot v obdobju 1972–1992), po dve več pa v Murski Soboti in Mariboru. Število sušnih let v Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu ostaja enako. Ugotovitve lahko veljajo tudi za druge poletne poljščine, ki so vse pogosteje deležne sezonskega padavinskega primanjkljaja. V Celju in Portorožu se je v novejšem obdobju po enkrat pojavila tudi ekstremna suša, v Novem mestu celo dvakrat.

Najhujša suša, določena na podlagi SPI4 leta 2003, je prizadela večji del slovenskega prostora. Vrednosti so bile prav tako kot pri SPI3 v razredu ekstremne sušnosti, saj je suša trajala od marca do septembra. SPI4 kaže še na ekstremne suše v letih 2000, 2001 in 2013.

Kazalec **meteorološka vodna bilanca** omogoča večjo natančnost pri interpretaciji suše na kmetijskih površinah, kot ga omogoča le pregled padavinskih kazalcev. Razvoj sušnega dogodka in potencialne vplive na stanje vegetacije lahko v **fazi 2** opišemo z meteorološko vodno bilanco, ki poleg padavin vključuje evapotranspiracijo referenčne površine. Tako lahko že določamo delež potencialno izhlapele vode iz referenčne rastline v obravnavanem obdobju.

Meje sušnosti smo določili na osnovi percentilne analize. Ko kumulativna vodna bilanca v vegetacijski sezoni preseže **75. percentil, je definirano območje sušnosti**. Takrat nastopi v tristopenjskem konceptu sledenja kmetijske suše **faza 2**. Kadar se negativna vodna bilanca še stopnjuje in preseže 95. percentil, je stanje zelo sušno, z 98. percentilom pa je stanje ekstremno sušno.

Pri klimatološki študiji spremenljivosti kmetijske suše v poletnem času smo uporabili **prag vodne bilance –150 mm** in razvrstili suše v obdobju 1963–2013 na lokalne, regionalne in nacionalne. Ugotovili smo, da se je **po letu 2000 pojavilo kar 6 kmetijskih suš nacionalne razsežnosti**.

Analiza meteorološke vodne bilance v vegetacijskem obdobju trave kaže na **povečanje primanjkljaja za kmetijske rastline na večjem številu obravnavanih lokacij**, pri čemer je v novjšem obdobju 1987–2013 največji porast primanjkljaja vode pri travi v Biljah (170 mm), kjer je bila v preteklosti vodna bilanca pozitivna. Močno se povečuje tudi v Portorožu, za 147 mm v obdobju 1987–2013 v primerjavi z obdobjem 1961–1986; tu je bila vodna bilanca tudi v preteklosti negativna. V negativno smer se obrača vodna bilanca v Celju, Novem mestu in Mariboru. Zmanjšuje se tudi v krajih, kjer je bila v preteklosti vodna bilanca izjemno pozitivna. Tak primer je postaja Rateče, kjer se je v novjšem obdobju vodna bilanca zmanjšala za 126 mm. Najmanjše spremembe pa so v Šmartnem pri Slovenj Gradcu (29 mm) in Mariboru (41 mm). Zelo se je vodna bilanca spremenila tudi v Ljubljani. V vegetacijskem obdobju koruze je stanje podobno kot pri travi, z največjim povečanjem primanjkljaja v Biljah (145 mm) in Portorožu (110 mm). Lastnosti sprememb v drugih krajih so podobne kot pri travi, le da je velikost primanjkljaja manjša. Razlike v vodni bilanci so v obeh obdobjih najmanjše v Črnomlju in Mariboru. Pri postaji Šmartno pri Slovenj Gradcu pa je celo opazen porast za 15 mm, kar pripisujemo povečanju padavin v jesenskem času. Tudi v vegetacijskem obdobju ozimne pšenice je največja sprememba v Biljah (113 mm), Portorožu, Ratečah, Ljubljani in Celju. Drugod je sprememba meteorološke vodne bilance novejšega obdobja v primerjavi s preteklim obdobjem v rangu od 10 do 40 mm; ponovno je v Šmartnem pri Slovenj Gradcu rahlo manjši primanjkljaj v novjšem obdobju.

Za vegetacijsko sezono **trave** so trendi vodne bilance v izbranem obdobju, razen v Črnomlju, **statistično značilni na vseh lokacijah**. Pri vegetacijski sezoni koruze pa so trendi statistično značilni v Ljubljani, Celju, Murski Soboti, Biljah in Portorožu. Pri ozimni pšenici trend ni statistično značilen le v Črnomlju. Opazno je, da je bilo v preteklosti v Biljah kar nekaj sezon, ko je bila vodna bilanca izjemno pozitivna, v novjšem času pa je večinoma negativna. Postaja Portorož v novjšem obdobju ne dosega pozitivne vodne bilance. Podobno je tudi v Murski Soboti, z izjemo nekaj let, ko je vodna bilanca blizu 0.

Analiza DISS v tekoči vegetacijski sezoni nam omogoča, da sproti sledimo stanje sušnega stresa posamezne kmetijske rastline v primerjavi z dolgoletnim povprečjem (1961–2013) na različnih lokacijah.

Navadno ob koncu vegetacijske sezone primerjamo sušo s preteklimi sušami in ugotavljamo pogostnost suš v daljšem obdobju, da bi ugotovili tveganje zaradi suše. Za ta namen je DISS primerno orodje, saj poleg obstoječih analiz vključuje tudi lastnosti posamezne rastline in njeno vodno bilanco ter zazna sušni stres v času in prostoru. Omogoča tudi primerjavo med rastlinami. Časovni nizi $DISS_k$ na različnih lokacijah, za različne rastline in tla omogočajo ugotavljanje klimatologije suše in tveganja zaradi suše.

Analiza trednov $DISS_k$ za vse lokacije, tla in rastline kaže, da se v **novjšem obdobju 1987–2012 v večini primerov $DISS_k$ povečuje za vse izbrane rastline v kombinaciji z vsemi tremi tipi tal na vseh obravnavanih primerih.**

Ugotovili smo, da je $DISS_k$ v obdobju 1987–2012 glede na obdobje 1961–1986 pri vseh obravnavanih rastlinah povprečno večji na vseh treh talnih tipih. **Najbolj se je $DISS_k$ povečal na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo.** Pri travi je večji za več kot 130 %, pri koruzi za 116 % in pri ozimni pšenici za okrog 35 %. Na tleh s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo je $DISS_k$ pri travi večji za 68 %, pri koruzi 50 %. Najmanjše je povprečno povečanje na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo.

Kumulativni indeks sušnega stresa $DISS_k$ ponazarja stanje sušnega stresa v celotnem vegetacijskem obdobju preučevane rastline. Z uporabo dekadnega indeksa sušnega stresa $DISS$ smo izvedli **tipizacijo suše** v treh obdobjih (pomladanska, zgodnje- in poznopoletna suša). Suša z vsaj eno dekada v obdobju, ko je $DISS \geq 1$, je tip 1, tip 2 je suša z vsaj eno dekada v dveh obdobjih in tip 3 z vsaj eno dekada v vseh treh obdobjih.

Tla močno vplivajo na pojav obdobj z $DISS \geq 1$. Zelo jasen je tudi vpliv lokacije. Na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo je teh obdobj na vseh lokacijah bistveno več kot na tleh s srednje dobro in dobro vodnozadrževalno sposobnostjo. Najbolj sušno ranljivi sta Bilje in Portorož, kjer se pojavijo tipi 3 tudi na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo. V Ratečah je v obdobju 1961–2013 kar polovica primerov, ko nastopi $DISS < 1$ ali v tem primeru imenovano obdobje brez suše. Najpogosteje se v Ratečah pojavi eno obdobje z $DISS \geq 1$ v zgodnjem poletju. Redko pa traja interval suše prek dveh obdobj; tak primer je bilo leto 2013, ko je bila zgodnjepoletna in poznopoletna suša. Na tleh s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo je stanje podobno, le da ni suše tipa 2, na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi je tudi delež tipa 1 zelo majhen. Nekoliko več je deleža vseh tipov suše v Šmartnem pri Slovenj Gradcu; pojavijo se tudi vsi trije tipi 2. V Ljubljani se pojavijo tudi že suše tipa 3 (6 %). Podobno je v Novem mestu in Mariboru. V Celju je na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo stanje podobno, le da je nekoliko več obdobj brez suše (12 primerov). V Murski Soboti je stanje še slabše, saj se tudi na tleh s srednje vodnozadrževalno sposobnostjo delež vseh obdobj z $DISS \geq 1$ povečuje in zelo redka so obdobja brez suše (le 12 %). Najbolj sušno ranljivi pa sta lokaciji Bilje in Portorož, kjer se pojavi suša tipa 3 tudi na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo.

Delež različnih tal v okolici obravnavanih lokacij kaže, da je največ tal z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo v Črnomlju (95 %); več kot 70 % je takih tal tudi v Biljah in Portorožu ter Novem mestu, v Murski Soboti pa jih je 58 %. Drugod je največ tal s srednje dobro vodnozadrževalno sposobnostjo. Le v Ratečah, kjer pa je malo kmetijskih površin, so v večini tla s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo. Iz tega lahko sklepamo, da je glede na tipizacijo suše pojav vseh tipov suše na tleh z boljšimi vodnozadrževalnimi lastnostmi redkejši. Na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo je le v Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu med 30 in 50 % dekadnih obdobj brez suše.

Na osnovi $DISS$ je poleg jakosti sušnih intervalov možno ugotavljati tudi trajanje stresnih intervalov. Ker je jakost suše odvisna od rastline, tal in lokacije, nas je zanimalo, kako jo

lahko ovrednotimo glede na klimatološko sliko posamezne lokacije. Na osnovi desetih reprezentativnih lokacij ugotovimo statistično mejo za območje Slovenije za različne rastline in tla. Vsa navedena dejstva kažejo na **večje tveganje suše** na obravnavanih lokacijah. Podnebne spremembe bodo najverjetneje povzročile še večje težave s sušo, saj že zdaj močno vplivajo prek temperature zraka (vročinski stres), sčasoma pa bodo vplivale tudi na sušo.

Glede na slovensko povprečje $DISS_{k_{povp}}$ za travo (10 postaj) na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo (10,3) lahko ugotovimo, da je tveganje za sušno vegetacijsko sezono za travo največje v Portorožu, saj je 80 % (42 let) vegetacijskih sezon trave sušnih. Tudi v Biljah je takih sezon več kot 40 % (več kot 20 let). Veliko tveganje zaradi suše je tudi v Murski Soboti, več kot 30 % let. V Bilju pa vsaj v petih letih od 52 let lahko pričakujemo tudi ekstremno sušo. V Portorožu je lahko ekstremna suša za travo glede na $DISS_{k_{povp}}$ vsaka druga vegetacijska sezona. Na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi je stanje boljše. V polovici let se pojavi tveganje sušnosti za travo v Portorožu tudi na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi, v 30 % let pa tudi v Biljah. Drugod je tveganje manjše, do 10 % let (5 let). V Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu je tveganje manjše, na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo enkrat na 50 let. Takrat je suša tudi na tleh z dobro vodnozadrževalnimi lastnostmi.

Glede na slovensko povprečje $DISS_{k_{povp}}$ (9,1), ki je meja za sušno vegetacijsko sezono koruze, lahko sklepamo, da je razen v Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu tveganje pridelave koruze na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo veliko. V 10 do 25 % let se na teh lokacijah pojavi sušna vegetacijska sezona za koruzo. V Murski Soboti je vsaj v 10 letih verjetno, da se pojavi zelo sušna sezona in vsaj v 5 letih celo ekstremno sušna vegetacijska sezona za koruzo. Na tleh z boljšo vodnozadrževalno sposobnostjo se zmanjšuje verjetnost za visoke vrednosti $DISS$.

Če sklepamo, da je meja $DISS_k$ slovenskega povprečja za ozimno pšenico na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo 10,4 za razred sušno, se v Portorožu, Murski Soboti in Biljah v kar več kot 30 % let (v 15 letih) pojavi verjetnost, da bo ta vrednost $DISS_k$ presežena. V Mariboru, Murski Soboti in Biljah je 10 do 25 % let v zelo sušnem območju. Pri tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo je povprečna vrednost izbranih postaj 4,0 in verjetnost zelo sušnega leta glede na ta prag je podobna kot na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo.

Nekoliko lahko stanje suše omilimo z gojenjem kultur na tleh z večjo vsebnostjo vode v tleh. Kjer tveganje suše kljub temu ostaja, je treba razmisliti o strategiji gojenja alternativnih kultur oziroma, kjer je to možno (7511 ha po evidencah Ministrstva za kmetijstvo in okolje), namakati oziroma racionalno vlagati v namakalno infrastrukturo (tehnološke posodobitve, gradnja novih namakalnih sistemov).

Dosedanje **prostorske analize kmetijske suše so v glavnem potekale na osnovi podatkov in prostorske interpolacije vodne bilance površinskega sloja tal**. Ob kmetijski suši 2012 in 2013 se je v prostorsko prikazovanje vključevala tudi raba tal, ni pa bil upoštevan dejanski sušni stres obravnavane kmetijske rastline. To smo dosegli s kazalcem $DISS$. Tudi pri prostorskem prikazu $DISS_k$ smo uporabili osnovno prostorsko

enoto v kmetijstvu – GERK. Le tako je bila možna interpretacija kazalca DISS na rabo zemljišča, v našem primeru koruze. Ugotovili smo, da s pomočjo $DISS_k$ in na osnovi $DISS_k$ določenih mej za jakost suše lahko razvrščamo kmetijska zemljišča po poškodovanosti in ga utežujemo z dejansko rabo zemljišč v osnovni prostorski enoti.

Zavedamo se, da so ocene dejanskega sušnega stresa kmetijskih rastlin s pomočjo modeliranih vrednosti oziroma kazalcev **negotove**. Ker je sušni stres zelo kompleksen dejavnik, vrednotenje negotovosti pri modeliranju sestavljenih procesov zahteva dobro poznavanje celotnega procesa. Negotovost kazalca DISS je sestavljena iz negotovosti različnih podatkov in naključne negotovosti, ki je lahko na primer uporaba napačnih podatkov ali meritev na napačnem mestu ali pomanjkanje meritev. Za tri večje kmetijske suše v Sloveniji smo izvedli tudi preverjanje rezultatov z arhivskimi zapisi o sušah (podatki v biltenih ARSO ter poškodbe po suši iz Programov odprave posledic škode v kmetijstvu zaradi suše). Značilnost obravnavanih kmetijskih suš je, da so nastopile tako časovno kot prostorsko različno. Pri $DISS_k$ smo uporabili mejo 6,5 za znak suše (povprečen 75. percentil za sušo).

Suša 2003 je trajala od marca do septembra in je zajela 60 % Slovenije. Najmanj prizadeto je bilo območje skrajne severozahodne Slovenije. **V tako ekstremnem letu se dobro odzivajo vsi kazalci**, saj ni bila zaznana le v Ratečah; manj močne suše so bile tudi na lokaciji Šmartno pri Slovenj Gradcu.

Poletna suša 2006 je prizadela le 25 % ozemlja Slovenije in je trajala od junija do julija. Tu je razhajanje kazalcev večje: SPI4 sušo detektira samo v Ratečah in Biljah, v Portorožu pa ne, saj je SP4 enak 1,12. Če uporabimo kazalec vodna bilanca, je znak suše tudi v Portorožu, ne pa v Ratečah. Najbolje se odzove $DISS_k$. Noben kazalec ne zazna suše na lokaciji Murska Sobota, kjer suše ni bilo. Najbolj se z arhivom suš ujema $DISS_k$.

Pri letu 2012 je zelo slabo ujemanje s SPI4, malo boljše z vodno bilanco, najbolj pa pokaže stanje suše $DISS_k$. Le v Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu zelo sušnega stanja ni bilo, kar potrди tudi $DISS_k$.

Zasnova okvira kazalcev za slednje kmetijske suše ima **potencialno uporabno vrednost**, saj zmanjšuje subjektivnost določanja, kako poškodovane so rastline zaradi suše. Potencialni uporabniki so: Javna služba kmetijskega svetovanja pri Kmetijsko gozdarski zbornici, zavarovalnice, komisije za odpravo posledic škode v kmetijstvu, Uprava RS za zaščito in reševanje, Agencija za kmetijske trge in razvoj podeželja in drugi. Uporabna vrednost kazalcev bo še večja, če bodo dostopni kakovostni podatki za krmiljenje (agronomski, pedološki, podatki o rabi zemljišč, škode itd.) in poenotene evidence različnih inštitucij. Tu obstaja še velika možnost za razvoj. Sistem za ugotavljanje poškodovanosti po suši trenutno pestijo neažurni, premalo natančni in slabo dostopni podatki. Tudi ocene poškodovanosti rastlin so splošne in subjektivne. Ob izboljšanju evidenc in integraciji podatkov je možno zmanjšati stroške postopkov za določanje suše, saj novo vzpostavljeni okvir za sledenje kmetijske suše lahko pomaga pri oceni stanja in vpliva suše na kmetijstvo, pri pripravi smernic in ukrepov za prilagajanje in zmanjševanje posledic suše, pri pripravi programov za razvoj podeželja ali kmetijsko-okoljskih plačil, pri pripravi programa za odpravo posledic po suši in tudi pri strategijah ter študijah vpliva podnebnih sprememb na kmetijsko pridelavo. Na ta način bi lahko dosegli večjo preventivo, zmanjšali tveganje in spodbujali primere dobrega gospodarjenja v kmetijstvu.

5 SKLEPI

Rezultate študije lahko strnemo v naslednje sklepe:

1. Na osnovi študije smo potrdili hipotezo, da so izbrani kazalci kmetijske suše mere za sledljivost kmetijske suše na obravnavanih lokacijah v prostoru in času v Sloveniji. Uporabljeni enostavni kazalci (delež kumulativnih padavin glede na dolgoletno povprečje, SPI, meteorološka vodna bilanca) in kompleksni dekadni indeks sušnega stresa (DISS) so del tristopenjskega koncepta za sledenje kmetijske suše od zgodnjega opozarjanja in sledenja do alarmiranja. Ocena suše na kmetijskih površinah je bolj natančna, če imamo kakovostne vhodne podatke.
2. DISS je primerno orodje za analizo kmetijske suše, saj vključuje tudi lastnosti posamezne rastline in njeno vodno bilanco na različnih tleh ter zazna sušni stres v času in prostoru. Časovni nizi $DISS_k$ na različnih lokacijah, za različne rastline in tla omogočajo ugotavljanje klimatologije suše in tveganja zaradi suše. Na večini obravnavanih lokacij so spomladanske in tudi poletne suše pogostejše. Tudi jakost suše se v novjšem obdobju povečuje.
3. Na osnovi vseh uporabljenih kazalcev kmetijske suše smo potrdili domnevo, da se tipologija in jakost kmetijske suše v Sloveniji spreminjata. Na vseh obravnavanih lokacijah se pojavlja suša večjih razsežnosti in tudi jakosti. Analiza trendov $DISS_k$ za vse lokacije, tla in rastline kaže, da se v novjšem obdobju 1987–2012 v večini primerov povečuje $DISS_k$ za vse izbrane rastline v kombinaciji z vsemi tremi tipi tal.
4. Potrdili smo tudi domnevo, da se tveganje za sušo povečuje na večini obravnavanih lokacij. Na odziv rastlin na sušo zelo vplivata lokacija in tla. Glede na slovensko povprečje $DISS_{kpovp}$ za travo na tleh s slabo vodnozadrževalno sposobnostjo (10,3) lahko ugotovimo, da je tveganje za sušno vegetacijsko sezono za travo največje v Portorožu, saj je 80 % (42 let) vegetacijskih sezon trave v tveganju sušnosti. Tudi v Biljah je takih sezon več kot 40 % (20 let). V velikem tveganju zaradi suše je tudi lokacija Murska Sobota, več kot 30 % let. V Bilju pa vsaj v petih letih od 52 let lahko pričakujemo tudi ekstremno sušo. V Portorožu je lahko ekstremna suša za travo glede na $DISS_{kpovp}$ vsaka druga vegetacijska sezona. Na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo je stanje boljše. V polovici let se pojavi tveganje sušnosti za travo v Portorožu tudi na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo, v 25 % let pa tudi v Biljah. Drugod je tveganje manjše, do 10 % let (5 let). V Ratečah in Šmartnem pri Slovenj Gradcu je tveganje manjše, na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi enkrat na 50 let. Takrat je suša tudi na tleh z dobro vodnozadrževalno sposobnostjo.
5. Da se tveganje povečuje, kažejo tudi večje ocenjene škode zaradi kmetijske suše v zadnjih desetih letih.
6. V raziskavi smo vzpostavili koncept za slednje kmetijske suše v Sloveniji, zasnovo kazalcev kmetijske suše in metodologijo za zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo. To lahko pripomore k večji preventivi in s tem manjšim škodam po suši in je tudi osnova za prilagajanje na podnebne spremembe.

6 POVZETEK (SUMMARY)

6.1 POVZETEK

Sprotno sledenje kmetijske suše je osnova dobrega upravljanja suše. Vzpostavitev metodologije za sledenje suše bi lahko pomembno pripomogla k boljšemu upravljanju kmetijske suše v prihodnosti.

V raziskavi smo vzpostavili koncept za slednje in zasnovo kazalcev kmetijske suše v Sloveniji. Vzpostavili smo metodologijo za zgodnje opozarjanje na kmetijsko sušo (**faza 1**), za izdajo opozoril na prve znake kmetijske suše (**faza 2**) in alarmiranje različnih stopenj kmetijske suše na različnih kmetijskih rastlinah (**faza 3**).

Za obdobje 1961–2013 smo na desetih lokacijah v Sloveniji (Rateče, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana, Maribor, Novo mesto, Celje, Črnomelj, Murska Sobota, Bilje in Portorož) raziskovali lastnosti enostavnih kazalcev suše (delež kumulativnih padavin glede na dolgoletno povprečje, SPI, meteorološka vodna bilanca) in kompleksnega kazalca (DISS) kmetijske suše in njihove spremembe v času in prostoru. Izračun kazalcev smo izvedli na dnevni podatkih, pridobljenih iz meteorološke baze podatkov Agencije RS za okolje. Podatke o vodnozadrževalnih lastnostih tal smo pridobili iz karte vodnozadrževalnih lastnosti tal, potrebne meritve za modeliranje vodne bilance pa so bile pridobljene iz arhiva pedoloških podatkov Agencije RS za okolje. Za vse izbrane lokacije smo uporabili tudi arhivske fenološke podatke za tri kmetijske rastline (trava, koruza in ozimna pšenica), ki jih zbira Agencija RS za okolje.

V raziskavi smo najprej ovrednotili uporabnost enostavnih kazalcev suše. Ob ugotavljanju dejanskega sušnega stresa pri rastlinah enostavni kazalci, ki vključujejo le meteorološke podatke, ne pokažejo popolne slike. Dosedanje ugotovitve so pokazale, da splošni enostavni kazalci kmetijske suše detektirajo le sušno leto. Ob njihovi uporabi je bilo sušno obdobje in coniranje območij s kmetijsko sušo določeno arbitrarno glede na meteorološko sušo. Poškodovanost kmetijskih rastlin zaradi suše je bila dodatno pridobljena na osnovi subjektivne ocene strokovnih komisij na terenu. Za razvoj kompleksnejšega kazalca DISS smo nadgradili vodnobilančni model IRRFIB (verzija 03.1), modul za nenamakane rastline, in ga integrirali v bazo vseh potrebnih vhodnih podatkov. Definirali smo nov kazalec – dekadni indeks sušnega stresa (DISS), ki združuje informacije rastlina-tla-podnebje. Prednost tega kazalca je, da pomeni jakost sušnega stresa za izbrane kmetijske rastline na izbranem tipu tal v izbrani časovni enoti – dekadi. Dekadni kazalec DISS smo zasnovali kot orodje za sprotno sledenje in klimatološko vrednotenje sušnega stresa. Ovrednotili smo ga na desetih izbranih lokacijah na treh rastlinah z različnimi vegetacijskimi obdobji na treh različnih tipih tal (slaba, srednje dobra in dobra vodnozadrževalna sposobnost tal) v obdobju 1961–2013.

Proučili smo tudi, kako se obravnavani kazalci suše spreminjajo v času in prostoru. Rezultate smo ovrednotili z arhivskimi podatki o sušnih dogodkih v Sloveniji, ki smo jih pridobili iz baze podatkov AJDA za leto 2006 (URSZR) in arhiva zapisov o suši ARSO.

Ugotovili smo, da je v novejšem obdobju (1987–2013) vedno več vegetacijskih obdobjih izbranih rastlin, ko pade glede na dolgoletno povprečje 1971–2000 **manj kot 70 % padavin** kot v enako dolgem starejšem obdobju (1961–1986). Nadaljnje analize so pokazale, da se količina padavin v obdobju 1961–2013 **statistično značilno zmanjšuje** na šestih od desetih obravnavanih lokacij v vegetacijskem obdobju trave. Pri spremembah padavin v vegetacijskem obdobju koruze, razen v Portorožu, **ni statistično značilnih trendov**, pri vegetacijski sezoni ozimne pšenice pa sta trenda zmanjševanja padavin značilna v Portorožu in Ratečah.

Tudi analiza SPI je potrdila nekatere spremembe, in sicer, da se v zadnjih letih, predvsem po letu 2000, pogosteje pojavljajo sušnejša spomladanska obdobja, **ko je stanje glede na trimesečni SPI3 < -1**. Tudi študija za štirimesečni SPI4 kaže, da **v obdobju maj–avgust v zadnjih letih, predvsem po letu 2000, pogosteje beležimo sušnejša obdobja** predvsem v Biljah in Portorožu. Tam je v obdobju 1993–2013 kar 7 oziroma 6 sušnih sezon za koruzo, določenih glede na SPI4 < -1. Manjše spremembe v smeri sušnejših sezon so tudi v Novem mestu in Črnomlju (4 več kot v obdobju 1972–1992), dve več pa v Murski Soboti in Mariboru.

Kazalec **meteorološka vodna bilanca** omogoča večjo natančnost pri interpretaciji suše na kmetijskih površinah, kot ga omogoča le pregled padavinskih kazalcev. Razvoj sušnega dogodka in potencialne vplive na vegetacijo lahko v **fazi 2** opišemo z meteorološko vodno bilanco. Ta poleg padavin vključuje evapotranspiracijo za referenčno rastlino. Na ta način je mogoče določiti delež potencialno izhlapele vode iz referenčne rastline v obravnavanem obdobju. Meje sušnosti smo določili na osnovi percentilne analize. Ko kumulativna vodna bilanca v vegetacijski sezoni preseže **75. percentil, je definirano območje sušnosti**. Takrat nastopi **faza 2** v tristopenjskem konceptu sledenja kmetijske suše. Kadar se negativna vodna bilanca še stopnjuje in preseže 95. percentil, je stanje zelo sušno, z 98. percentilom pa ekstremno sušno.

Pri klimatološki študiji spremenljivosti kmetijske suše v poletnem času smo uporabili **prag vodne bilance -150 mm** in razvrstili suše v obdobju 1963–2013 na lokalne, regionalne in nacionalne. Ugotovili smo, da se je **po letu 2000 pojavilo kar 6 kmetijskih suš nacionalne razsežnosti**. Analiza meteorološke vodne bilance v vegetacijskem obdobju trave kaže na **večji primanjkljaj na večjem številu obravnavanih lokacij**, pri čemer je v novejšem obdobju 1987–2013 največji porast primanjkljaja vode pri travi v Biljah (169,7 mm), kjer je bila pred letom 1987 vodna bilanca pozitivna. Za vegetacijsko sezono **trave** so trendi naraščajočega primanjkljaja vode v izbranem obdobju, razen v Črnomlju, **statistično značilni na vseh lokacijah**. Pri vegetacijski sezoni koruze so ti trendi statistično značilni v Ljubljani, Celju, Murski Soboti, Biljah in Portorožu. Pri ozimni pšenici trend ni statistično značilen le v Črnomlju.

Študija trendov kumulativnega indeksa sušnega stresa ($DISS_k$) za vse kombinacije je poudarila, da se v **novejšem obdobju 1987–2012 v večini primerov $DISS_k$ povečuje**. Ugotovili smo, da je $DISS_k$ v obdobju 1987–2012 glede na obdobje 1961–1986 pri vseh obravnavanih rastlinah povprečno večji na vseh treh talnih tipih. **Največje je povečanje $DISS_k$ na tleh z dobrimi vodnozadrževalnimi lastnostmi**. Pri travi je večji za več kot 132 %, pri koruzi za 116 % in pri ozimni pšenici za 35 %. Najmanjše je povprečno

povečanje DISSk na tleh s slabimi vodnozadrževalnimi lastnostmi. **Tla močno vplivajo na pojav obdobj z DISS ≥ 1 . Zelo jasen pa je tudi vpliv lokacije.** Vsa navedena dejstva kažejo na **večje tveganje suše** na obravnavanih lokacijah.

V prihodnosti bo treba opraviti še nadaljnje raziskave, ki bodo razjasnile mnoge negotovosti kazalcev. Vsekakor je zasnova kazalcev kmetijske suše v doktorski disertaciji dobra osnova, ki bi lahko pripomogla k boljšemu sledenju kmetijske suše in blažitvi tovrstnih posledic podnebnih sprememb; je tudi praktično izvedljiva. Zasnova okvira kazalcev za slednje kmetijske suše ima **potencialno uporabno vrednost**, saj zmanjšuje subjektivnost določanja poškodovanosti rastlin zaradi suše. Potencialni uporabniki so: kmetijske svetovalne službe, zavarovalnice, komisije za odpravo posledic škode v kmetijstvu, ministrstva, agencije in drugi. Uporabna vrednost kazalcev bo še večja, če bodo dostopni kakovostni podatki za krmiljenje modela (agronomski, pedološki, podatki o rabi zemljišč, škode ipd.) in poenotene evidence različnih inštitucij. Tu obstaja še velika možnost za razvoj. Trenutno je pomanjkljivost sistema za ugotavljanje poškodovanosti po suši neažurnost podatkov, premajhna natančnost in slaba dostopnost podatkov. Ob izboljšanju evidenc in integraciji podatkov je možno tudi zmanjšati stroške za postopke določanja suše. Novo vzpostavljeni okvir za sledenje kmetijske suše lahko pomaga pri oceni stanja in vpliva suše na kmetijstvo, pri pripravi smernic in ukrepov za prilagajanje in zmanjševanje posledic suše, pri pripravi programa za odpravo posledic po suši in tudi pri strategijah za upravljanje suše ter študijah vpliva podnebnih sprememb na kmetijsko pridelavo. Na ta način bi lahko dosegli boljšo preventivo, zmanjšali tveganje in spodbujali primere dobrega gospodarjenja v kmetijstvu.

6.2 SUMMARY

Prompt agricultural drought monitoring is a foundation for good drought management. This is one of the possibilities, which could enable better agricultural drought management in the future.

In this research a concept for agricultural drought monitoring in Slovenia was established. By agricultural drought indicators scheme in the study methodology for agricultural drought early warning (**phase 1**), an alert for first signals of agricultural drought (**phase 2**) and an alarm for different stages of agricultural drought on various agricultural plants (**phase 3**) were established.

In the period 1961–2013 simple (decline of precipitation amount from long-term average, SPI, meteorological water balance) and complex agricultural drought indicators (DISS) characteristics on ten locations in Slovenia (Rateče, Šmartno pri Slovenj Gradcu, Ljubljana, Maribor, Novo mesto, Celje, Črnomelj, Murska Sobota, Bilje and Portorož) and their variability in time and space were investigated.

The indicators calculation was performed on daily data derived from the meteorological database of Slovenian Environment Agency. The data of soil water holding capacity were obtained from a soil map, prepared by the Biotechnical Faculty, certain measurements for soil water modelling were obtained by the soil data archive of the Slovenian Environment Agency. Additionally, the archive phenological data for three agricultural plants (grass, maize and winter wheat), which are collected by Slovenian Environment Agency, were used.

For the development of complex indicator water balance model IRRFIB (version 03.1), a module for non-irrigated plants, was upgraded and integrated in the database of Slovenian Environment Agency.

According to the crop drought stress estimation simple indicators, which include only meteorological data, but not the data about phenological development and soil water retention data, do not show real situation. The findings so far showed that general simple agricultural drought indicators detect dry year only, less detected is, however, a degree of agricultural plants damage due to drought. In case of its use to detect drought period zoning of agricultural drought was determined arbitrary in regard to the meteorological drought. Only on the basis of subjective assessments of the professional commissions on the field, a degree of damage due to drought is estimated.

For development of complex drought indicator the water balance model IRRFIB (version 03.1) was used. The module for non-irrigated plants was integrated in the database of all input data needed. A new indicator was determined - decadal index of drought stress (DISS) which integrates information about plant-soil-climate. The preferences of DISS are the ones which represent a severity of drought stress for investigated agricultural plants on different soils in ten-day period. DISS was established as a tool for regularly monitoring and climatological evaluation of drought stress on the plant-soil-climate data matrix at a

given period of time. Analysis of DISS on ten investigated locations on three agricultural plants with different vegetation seasons on three soil types with diverse soil water holding capacity (low, medium high and high) in the period 1961–2013 was performed.

The interest of our research was also the variability of indicators in space and time. Our results were verified with the archive data derived from the AJDA database for the year 2006 and from the reports about drought events of Slovenian Environment Agency.

Our research showed that the number of dry vegetation periods of investigated agricultural plants **with less than 70 %** of long-term average precipitation amount (reference period 1971–2000) increased in the recent period 1987–2013.

Analyses emphasized that there is a statistically **significant decreasing trend of precipitation amount** in the period 1961–2013 on six out of ten investigated locations in the vegetation period of grass. By the changes of the precipitation amounts in the vegetation period of maize, except in Portorož, there are no statistically significant trends. In the vegetation period of winter wheat trends are significant in Portorož and Rateče.

Also the SPI analysis confirmed certain changes, namely that in the last years, mostly after the year 2000, there are more frequent dry spring periods, when **SPI3 < -1**.

The study **SPI4** shows that also in the **period from May to August dry periods are more frequent in Bilje and Portorož**. There are 7 or 6 dry seasons for maize in the period 1993–2013 determined by $SPI4 < -1$. Minor changes in the way to dry seasons are also in Novo mesto and Črnomelj (4 more than in the period 1972–1992), 2 more in Murska Sobota and Maribor.

The indicator of the **meteorological water balance** enables a more precise interpretation of drought on farmlands than a review of only precipitation indicators. The development of drought event and potential impacts on vegetation could be described with meteorological water balance in the phase 2. Beside the precipitation it also integrates reference crop evapotranspiration. With its share of potential evaporated water from the reference crop in the investigated period is determined. Thresholds of drought are defined on the basis of percentile analysis. When cumulative water balance in the vegetation period reaches **75th percentile it is defined as dry**. It is called phase 2 in a 3-step concept of agricultural drought monitoring. If a negative water balance still continues and reaches 95th percentile status it is very dry and with 98th percentile status of drought it becomes extremely dry.

According to the climatological study of the agricultural drought variability in the summer period threshold water deficit of **150 mm** was used and classified droughts in the period 1963–2013 on national, regional and local scale. It was found out that **after the year 2000 six agricultural droughts in the extent of natural disaster appeared**. The study of **meteorological water balance in the vegetation period of grass shows an increasing water deficit on the majority of the investigated locations**, the highest water deficit increased in the recent period 1987–2013 is in Bilje (169,7 mm), where in the past water balance was positive. For the grass vegetation period trends of water balance in the chosen period, except in Črnomelj, are statistically significant for all investigated locations. In the vegetation period of maize the trends of water balance are significant in Ljubljana, Celje,

Murska Sobota, Bilje and Portorož. Only in Črnomelj trend of water balance in the vegetation period of winter wheat is not statistically significant.

The study of $DISS_k$ trends for all combinations pointed out that in the period **1987–2013 in the majority of cases $DISS_k$ are increasing**. We found that average $DISS_k$ in the period 1987–2013 in reference to the period 1961–1986 on all investigated locations is higher on all soil types. **The highest is the increase with the soils with high water holding capacity**. With the grass increase it is higher for more than 130 %, for maize for 116 % and for winter wheat around 35 %. The lowest is the increase on soils with a low water holding capacity. **Soils, as well as location, have a strong impact on the appearance of period with $DISS \geq 1$** . All facts show increasing drought risk on the investigated locations.

In the future it will be necessary to carry out more research, which will explain indicator uncertainties. In any case the agricultural drought indicators scheme in the doctoral dissertation is a good foundation, which will enable better monitoring of agricultural drought and lessen climate change and it is practically useful. The scheme of indicators has a potential useful value, because it decreases subjectivity of drought damage determination. Potential users are the agricultural advisory services, insurance companies, a commission for drought relief, ministries, agencies and others. Useful value of indicators will be higher, when there is more available and qualitative input data (agronomical, pedological, land use, damages,...) and unified catalogues of different institutions. Currently, system disadvantage of drought damage determination is missing prompt data, low accuracy of data and their availability. If catalogues and data integration improve there is a possibility to reduce the costs of drought determination processes. A new established scheme of agricultural drought monitoring can serve as a support by drought and drought impacts estimation in agriculture, by preparation of guidelines and measures for adaptation and reduction of drought consequences, by performing drought relief processes and by drought strategies and by studies of climate change impacts on agricultural production. With it more focus will be on prevention, reducing risk and encourage examples of good management practices in agriculture.

7 VIRI

- Adam G. 2004. Primerjava različnih naprav za posredno merjenje volumskega deleža vode v tleh. Dipl. delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 48 str.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper. Technical report. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: 300 str.
- Alcamo J., Dronin N., Endejan M., Golubev G., Kirilenko A. 2007. A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia. *Global Environmental Change*, 17, 3-4: 429–444
- Alexandris S., Balint G., Fassouli V., Gregorič G., Herceg A., Karavitis C.A., Mattany Z., Popova Z., Skondras N.A., Stamatakos D., Szalai S., Tsesmelis D.E. 2012. Drought management centre for southeastern Europe – DMCSEE. Summary of the result of the project, co-financed by SEE Transnational cooperation programme. Slovenian Environmental Agency: 54 str.
- Alexander L., Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Rupa Kumar K., Revadekar J., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M., Vazquez-Aguirre J.L. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109.
<http://www.knmi.nl/publications/fulltexts/2005jd0062903.pdf> (1. 12. 2012)
- Alley W.M. 1984. The Palmer drought severity index: Limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 1100–1109
- AMS policy statement on meteorological drought. 1997. American Meteorological Society, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78: 847–849
- Andreadis K.M., Lettenmaier D.P. 2006. Trends in 20th century drought over the continental United States, *Geophysical Research Letters*, 33: L10403
doi: 10.1029/2006GL025711
- Annual report on the environment in Romania. 2007. National Agency for the Protection of the Environment – ANPM.
[http://www.anpm.ro/files2/1.%20CADRUL%20NATURAL 20081219456335.doc](http://www.anpm.ro/files2/1.%20CADRUL%20NATURAL%2020081219456335.doc) (17. 9. 2012)
- A perspective on water control in Southern Africa: Support for Regional Investment Initiative. 2004. Rome, FAO Subregional Office for Southern and East Africa in FAO Land and Water Development Division: 36 str.
- Archive. U.S. Drought monitor. 2012. National Drought Mitigation Center.
http://droughtmonitor.unl.edu/archive/20120828/pdfs/total_dm_120828.pdf (1. 3. 2013)
- Badripour H. 2007. Role of drought monitoring and management in NAP implementation. V: *Climate and land degradation*. Sivakumar M.V.K., Ndiang'ui N. (ur.). Germany, Springer: 566–581
- Bartholy J., Pongrácz R. 2007. Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change*, 57, 1-2: 83–95

- doi: 10.1016/j.gloplacha (30. 8. 2012)
- Bavec F. 2012. Klimatske spremembe – kolobar in pridelovalni sistemi na nenamakanih njivah. V: 2. Poljedelski posvet z mednarodno udeležbo, KGZS, 5. dec. 2012. 2012: 2 str.
- Bat M., Dolinar M., Frantar P., Hrvatin M., Kobold M., Kurnik B., Nadbath M., Ožura V., Uhan J., Ulaga F. 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. Frantar P. (ur.). Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje: 119 str.
- Beniston M., Stephenson D.B., Christensen O.B., Ferro C.A.T., Frei C., Goyette S., Halsanaes K., Holt T., Jylha K., Koffi B., Palutikof J., Schoell R., Semmler T., Woth K. 2007. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, 81: 71–95
- Bergant K. 2003. Projekcije simulacij globalne klime na lokalno raven in njihova uporaba v agrometeorologiji. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 170 str.
- Bergant K., Kajfež Bogataj L., Sušnik A., Cegnar T., Črepinšek Z., Kurnik B., Dolinar M., Gregorič G., Rogelj D., Žust A., Matajč I., Zupančič B., Pečenko A. 2004. Spremembe podnebja in kmetijstvo v Sloveniji. Sušnik A. (ur.). Ljubljana, Agencija RS za okolje: 40 str.
- Bergant K. Podnebje v prihodnosti – koliko vemo o njem? 2010. Agencija RS za okolje: 19 str. <http://www.arso.si/podnebne%20spremembe/Podnebje%20v%20prihodnosti/> (1. 7. 2013)
- Bergant K., Cegnar T., Dolinar M., Frantar P., Gregorič G., Kambič A., Klaneček M., Kobold M., Koren S., Nadbath M., Pavčič B., Pogačar T., Robič M., Souvent P., Strojani I., Sušnik A., Ulaga F., Vertačnik G., Vičar Z., Žlebir S., Žust A. 2010. Okolje se spreminja: podnebna spremenljivost Slovenije in njen vpliv na vodno okolje. Cegnar T. (ur.). Ljubljana, Agencija RS za okolje: 162 str.
- Bilteni vodnobilančnega stanja kmetijskih tal 2009–2013. 2013. Arhiv biltenov vodnobilančnega stanja kmetijskih tal. Ljubljana, Agencija RS za okolje, Oddelek za agrometeorologijo. http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/publications/wb_archive/ (1. 4. 2013)
- BIO intelligence service. 2012. Water saving potential in agriculture in Europe: findings from the existing studies and application to case studies. Final report prepared for European Commission DGENV: 243 str. http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/BIO_Water%20savings%20in%20agriculture_Final%20report.pdf (1. 12. 2012)
- Blanka V., Mezosi G., Meer B. 2013. Projected changes in the drought hazard in Hungary due to climate change. *IDŐJÁRÁS – Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 117, 2: 219–237
- Boer E.P.J., de Beurs K.M., Hartkam A.D. 2001. Kriging and thin plate splines for mapping climate variables. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3/2: 146–154
- Bohanec B., Javornik B., Strel B. 2004. Gensko spremenjena hrana. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 167 str.
- Bokal S. 2010. Ekonomsko-geografske posledice kmetijskih suš v Sloveniji. Analiza suše 2006. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 86 str.

- Bonaccorso B., Bordi I., Cancelliere A., Rossi G., Sutera A. 2003. Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management*, 17, 273–296
- Bordi I., Sutera A. 2007. Drought monitoring and forecasting at large scale. V: *Methods and tools for Drought analysis and management*. Water Science and Technology Library, 62: 3–29
- Bordi I., Sutera A. 2012. Drought assessment in a changing climate. V: *Drought assessment in a changing climate, climate variability – some aspects, challenges and prospects*. Hannachi A. (ur.). Zagreb, InTech: 123–140
<http://www.intechopen.com/books/climate-variability-some-aspects-challenges-andprospects/drought-assessment-in-a-changing-climate> (9. 7. 2013)
- Brázdil R., Trnka M., Dobrovolny P., Chromi K., Hlavinka P., Zalud Z. 2009. Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 97, 3–4: 297–315
- Briffa K.R., Jones P.D., Hulme M. 1994. Summer moisture variability across Europe, 1892–1991: An analysis based on the Palmer drought severity index. *International Journal of Climatology*, 14: 475 – 506
- Briffa K.R., Van der Schrier G., Jones P.D. 2009. Wet and dry summers in Europe since 1750: evidence of increasing drought. *International Journal of Climatology*, 29: 1894–1905
doi: 10.1002/joc.1836 (30. 8. 2012)
- Brilly M., Šraj M., 2005. *Osnove hidrologije: univerzitetni učbenik*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.
- Brown J.F., Wardlaw B.D., Tadesse T., Hayes M.J., Reed B.C. 2008. The vegetation drought response index (VegDRI): a new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience and Remote Sensing*, 45, 1: 16–46
doi: 10.2747/1548-1603.45.1.16 (30. 8. 2012)
- Brunetti M., Maugeri M., Nanni T., Navarra A. 2002. Droughts and extreme events in regional daily Italian precipitation series. *International Journal of Climatology*, 22: 543–558
- Burke E.J., Brown S.J. 2008. Evaluating uncertainties in the projection of future drought. *Journal of Hydrometeorology*, 9: 292–299
- Burke J., Kylenstierna J. 2009. The water variable – producing enough food in a climate insecure world. *World Water Forum. Perspectives on water and climate change adaptation*: 17 str.
http://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/world_water_council/documents_old/Library/Publications_and_reports/Climate_Change/PersPap_05._Producing_Enough_Food.pdf (1. 10. 2012)
- Cabrinha V., Santo F.E. 2000. Drought tendencies in Minland Portugal. V: *Early drought preparedness and drought management*. Expert group meeting, Lisbon, Portugal, 5-7 sept. 2000. Wilhite D.A., Sivakumar M.V.K., Wood A. (ur.). Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization: 149–159
- Campos A., Pereira L.S., Gonçalves J.M., Fabião M.S., Liu Y., Li Y.N., Mao Z., Dong B. 2003. Water saving in the Yellow River Basin, China. 1. Irrigation demand scheduling. *Agricultural Engineering International, the CIGR Journal of Scientific Research and Development*: 30 str.
http://ecommons.cornell.edu/bitstream/1813/10349/1/LW%2002%20007%20Campos%20final%2019_12_2003.pdf (6. 11. 2013)

- Ceccato P., Flasse S., Tarantola S., Jacquemond S., Gregoire, J.M. 2001. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77: 22–33
- Ceglar A., Kajfež Bogataj L. 2008. Obravnava meteorološke suše z različnimi indikatorji. *Acta agriculturae Slovenica*, 91, 2: 407–425
- Ceglar A. 2011. Uporaba dinamičnega simulacijskega modela rasti in razvoja rastlin za napovedovanje količine pridelka v spremenjenih podnebnih razmerah. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 185 str.
- Cesar P. 2010. Primerjava različnih metod izračuna evapotranspiracije. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Študij vodarstva in komunalnega inženirstva: 133 str.
- Cheval S. 2013. Standardized precipitation index.
<http://spi-support.blogspot.com/p/references.html> (11. 7. 2013)
- Cholpankulov E.D., Inchenkova O.P., Paredes P., Pereira L.S., 2008. Cotton irrigation scheduling in Central Asia: Model calibration and validation with consideration of groundwater contribution. *Irrigation and Drainage*, 57: 516–532
- Cindrić K., Mihajlović D., Juras J., Matjačić B. 2012. Drought monitoring system in Croatia. V: Different approaches to drought monitoring – towards EuroGEOSS interoperability model. Kajfež Bogataj L., Medved - Cvikel B., Ceglar A. (ur.). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za agrometeorologijo: 9–16
- Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. 2007. Cambridge University Press, IPCC (International Panel on Climate Change): 976 str.
- Climatologia – temperatura e precipitazioni Aprile 2007. 2007. MeteoAM.
<http://clima.meteoam.it/bollettinoMensile.php> (17. 12. 2012)
- Cloppet E. 2011. Agricultural drought indices in France and Europe: strenghts, weknesses, and limitations. V: Agricultural drought indices. Proceedings of the WMO/UN ISDR expert group meeting on agricultural drought indices, 2-4 June 2010, Murcia, Spain. Sivakumar, M.V.K., Motha R.P., Wilhite D.A., Wood D.A. (ur.). Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization: 83–94
- Comprehensive assessment of water management in agriculture. 2007. Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture. London, Earthscan, and Colombo, International Water Management Institute.
http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/files_new/synthesis/Summary_SynthesisBook.pdf (1. 10. 2012)
- Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century. 2007. UN Water: 29 str.
<http://www.unwater.org/wwd07/downloads/documents/escarcity.pdf> (10. 6. 2012)
- Crop and soils specific climatic water balance levels indicated crop drought conditions. 2013. Agricultural Drought Monitoring System, Institute of Soil Science and Plant Cultivation.
<http://www.susza.iung.pulawy.pl/en/progiKBW/> (15. 7. 2013)
- Cvejić R., Tratnik M., Meljo J., Bizjak A., Prešeren T., Kozelj K., Steinman F., Mezga K., Urbanc J., Pintar M. 2010. Vodne perspektive Slovenije in možnost rabe vode v kmetijstvu. V: 21. Mišičev vodarski dan 2010. Aktualni projekti s področja upravljanja z vodami in urejanje voda: 188–196
<http://mvd20.com/LETO2010/R31.pdf> (27. 9. 2013)

- Čergan P., Dolničar P., Knapič M., Poje T., Sušin J., Škerlavaj V., Ugrinovič K., Verbič J., Verbič J., Zemljič A., Kapun S. 2008. Tehnološka priporočila za zmanjšanje občutljivosti kmetijske pridelave na sušo: poljedelstvo, travništvo, zelenjadarstvo in hmeljarstvo. Hardi Z. (ur.). Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 44 str.
- Černelič J. 2007. Vodni potencial cepljenk žlahtne vinske trte (*Vitis vinifera* L.) sorte 'Rebula', cepljenih na izbrane podlage. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 39 str.
- Dai A., Trenberth K.E., Qian T. 2004. A global data set of Palmer drought severity index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 5: 1117–1130
- Dai A. 2011. Characteristics and trends in various forms of the Palmer drought severity index (PDSI) during 1900-2008. *Journal of Geophysical Research*, 116: D2115
http://www.cgd.ucar.edu/cas/adai/papers/Dai_JGR2011.pdf (1. 10. 2012)
- Dai A. 2012. Increasing drought under global warming in observations and models: nature climate change: Advance online publication: 1–7
http://www.sisyphe.upmc.fr/~agnes/mec558/nclimate1633_dai2012.pdf (1. 7. 2013)
- Das H.P., Adamenko D.I., Anaman K.A., Gommers R.G., Johnson G. 2003. Agrometeorology related to extreme events. Technical Note No. 201. WMO-No. 943. Geneva, World Meteorological Organisation: 137 str.
- Data and maps. Projected change in river floods with a return period of 100 years. 2012. European Environment Agency.
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-change-in-minimum-river> (5. 2. 2013)
- Demuth S., Stahl K. 2001. Assessment of the regional impact of droughts in Europe. Final report to the European Union, ENV-CT97-0553, Institute of Hydrology, University of Freiburg, Germany
- de Oliveira A.B., Mendes Alencar N.L., Gomes-Filho E. 2013. Comparison between the water and salt stress effects on plant growth and development, responses of organisms to water stress, Sener Akinci (ur.). Zagreb, InTech: 28 str.
<http://www.intechopen.com/books/responses-of-organisms-to-water-stress/comparison-between-the-water-and-salt-stress-effects-on-plant-growth-and-development> (23. 10. 2013)
- Digitalna karta vodnoretencijskih lastnosti tal. 2012. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja.
- Disaster profiles. Natural disasters. 2012. EM-DAT, The International Disaster Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED.
<http://www.emdat.be/disaster-profiles> (11. 11. 2012)
- DMCSEE. 2012. Drought management centre for southeastern Europe. 2012.
<http://www.dmcsee.eu/> (20. 11. 2012)
- Dokumentacija meteorološke mreže. 2013. Ljubljana, Agencija RS za okolje (arhivsko gradivo).
- Dolinar M. 2013. Karte podnebnih spremenljivk. Ljubljana, Agencija RS za okolje.
- Donatelli M.; Hammer G.L., Vanderlip R.L. 1992. Genotype and water limitation effects on phenology, growth, and transpiration efficiency in grain sorghum. *Crop Science*, 32: 781–786

- Doorenbos J., Pruitt W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: 144 str.
- Dolinar M., Bertalanič R., Demšar M., Dvoršek D., Nadbath M., Pavčič B., Roethel - Kovač M., Vertačnik G., Vičar Z. 2010. Spremenljivost podnebja v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje: 12 str.
<http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/spremenljivost%20podnebja.pdf> (1. 10. 2012)
- Domonkos P. 2003. Recent precipitation trends in Hungary in the context of larger scale climatic changes. *Natural Hazards*, 29: 255–271
- Droogers P., Allen R.G. 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and Drainage Systems*, 16: 33–45
- Drought bulletin for SE Europe. 2013. DMCSEE.
http://www.dmcsee.org/en/drought_bulletin/ (1. 7. 2013)
- Drought may threaten much of globe within decades. 2012. UCAR. NCAR & UCAR. Atmospheric News. Climate change.
<http://www2.ucar.edu/atmosnews/news/2904/climate-change-drought-may-threaten-much-globe-within-decades> (27. 9. 2013)
- Dubrovsky M., Svoboda M.D., Trnka M., Hayes M.J., Wilhite D.A., Zalud Z., Hlavinka P. 2009. Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology*, 96: 155–171
doi: 10.1007/s00704-008-0020-x (30. 8. 2012)
- Dupigny-Giroux L.A. 1999. Drought follow the deluge in Vermont. *Drought Network News*, 11, 2: 8–14
- EDC. 2012. European Drought Centre
<http://www.geo.uio.no/edc/> (20. 11. 2012)
- EDO. 2012. European Drought Observatory
<http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1051> (22. 1. 2013)
- Esper J., Frank D., Buntgen U., Verstege A., Luterbacher J., Xoplaki E. 2007. Long-term drought severity variations in Morocco. *Geophysical Research Letters*, 34, L17702
doi:10.1029/2007GL030844
- Estrela T., Vargas E. 2011. Drought management plans in the European Union. The case of Spain. *Water Resources Management*, 26, 6: 1537–1553
doi: 10.1007/s11269-011-9971-2 (30. 8. 2012)
- Evidenca zbirnih vlog za uveljavljanje ukrepov kmetijske politike. 2012. Ljubljana, Agencija RS za kmetijske trge in razvoj podeželja (baza podatkov, dostop do vira podatkov 10. 4. 2012).
- Factsheets of EDO indicators. 2013. European Drought Centre.
<http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1101> (12. 7. 2013)
- Fenološki podatki 1961–2013. 2013. Ljubljana, Agencija RS za okolje (arhiv podatkov).
- Feyen L., Dankers R. 2009. Impact of global warming on streamflow drought in Europe. *Journal of Geophysical Research*, 114, D17116
doi: 10.1029/2008JD011438 (1. 10. 2012)

- Fortes P.S., Platonov A.E., Pereira L.S. 2005. GISAREG - A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. *Agricultural Water Management*, 77: 159–179
- Franko M. 2010. Študij sušnega stresa pri rastlinah iz družine *Gesneriaceae* na ravni proteona. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Študij biotehnologije: 72 str.
- Gao B.C. 1996. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 3: 257–266
- Garcia-Herrera R., Paredes D., Trigo R.M., Trigo I.F., Hernandez H., Barriopedro D., Mendes M.T. 2007. The outstanding 2004-2005 drought in the Iberian Peninsula: associated atmospheric circulation. *Journal of Hydrometeorology*, 8: 483–498
- Garrido R. 1999. A drought watch system for southeast Spain. *Drought Network News*, 11, 2: 3–7
- Giannakopoulos C., Le Sager P., Bindi M., Moriondo M., Kostopoulou E., Goodess C.M. 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Global and Planetary Change*, 68, 3: 209–224
- Glavan M., Pintar M. 2012. Projekcija vodnih količin za namakanje v Sloveniji. Peti delovni sklop. Vpliv podnebnih sprememb na potrebne vodne količine za namakanje. Ciljni raziskovalni projekt V4-1066: Končno poročilo, 31. marec 2012. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 13 str.
- Glinni A.F., Sivakumar M.V.K., Wilhite D.A. 2001. Drought management and preparedness – WMO perspective, paper presented at MITCH. V: *Mitigation of climate induced natural hazards*, Workshop, 12-13 December 2001, WL Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands: 22 str.
- Global assessment report on disaster risk reduction: Revealing risk, redefining development. 2011. *United Nations International Strategy for Disaster Reduction*: 178 str.
- Glossary of meteorology. 2012. American Meteorological Society – AMS
http://glossary.ametsoc.org/wiki/Hydrological_drought (10. 7. 2012)
- Grčman H., Kralj T., Šijanec M. 2009. Desorbcijske lastnosti izbranih tal na območju Maribora in Ptuja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja. Kmetijski gozdarski zavod Maribor: 19 str.
- Gregorič G., Ceglar A. 2007. Monitoring suše – regionalni aspekt. V: 18. Mišičev vodarski dan: zbornik referatov, Maribor, 10. december, 2007. Maribor, Vodnogospodarski biro: 124–127
- Gregorič G., Sušnik A. 2008. Center za upravljanje suše v jugovzhodni Evropi. V: 60 let slovenske meteorološke in hidrološke službe. Bat M., Bergant K., Cegnar T., Gregorčič B., Knez J. (ur.). *Bilten Naše okolje/Agencije RS za okolje*, 15, posebna izdaja: 55–59
- Guttman N.B., Wallis J.R., Hosking J.R.M. 1992. Spatial comparability of the Palmer drought severity index. *Water Resources Bulletin*, 28: 1111–1119
- Guttman N.B. 1999. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35: 311–322
- Habjan M. 2008. Analiza vodne bilance v Vipavski dolini. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 45 str.

- Hancock P.A., Hutchinson M.F. 2006. Spatial interpolation of large climate data sets using bivariate thin plate smoothing splines. *Environmental Modelling & Software*, 21, 12: 1684–1694
- Hayes M., Svoboda M., Wall N., Widhalm M. 2011. The Lincoln declaration on drought indices. Universal meteorological drought index recommended. *American Meteorological Society*: 485–488
doi: 10.1175/2010BAMS3103.1 (1. 12. 2012)
- Haylock M.R., Goodess C.M. 2004. Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, 24: 759–776
http://www.vsamp.com/resume/publications/Haylock_Goodess.pdf (1. 7. 2013)
- Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D., New M. 2008. A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 113: D20119
doi:10.1029/2008JD10201 (1. 7. 2013)
- Heim R.R. 2002. A review of twentieth – century Drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83: 1149–1165
- Herceg A. 2012. The Palfai drought index. V: Drought management centre for south-east Europe – DMCSEE. Summary of the result of the project, co-financed by SEE Transnational cooperation programme. Gregorič G. (ur.). Ljubljana, Slovenian Environmental Agency: 17–23
- High level meeting on national drought policy (HMNDP). Final declaration. 2013. HMNDP.
http://www.hmndp.org/sites/default/files/docs/HMNDP_Final_Declaration.pdf (1. 7. 2013)
- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resources Management*, 21, 1: 35–48
- Human development report 2006. Beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis. 2006. United Nations Development Programme: 440 str.
<http://hdr.undp.org/en/media/HDR06-complete.pdf> (1. 6. 2012)
- Hunt E.D., Hubbard K., Wilhite D.A., Arkebauer T.J., Dutcher A.L. 2009. The development and evaluation of a soil moisture index. *International Journal of Climatology*, 29: 747–759
- Iglesias A., Garrote L., Cancelliere A., Cubillo F., Wilhite D.A. 2009. Coping with drought risk in agriculture and water supply systems. Drought management and policy development in the mediterranean series: advances in natural and technological hazards research Germany, Springer: 322 str.
- IMKO. 2004. Tehnična dokumentacija – priročnik. IMKO Micromodultechnik GmbH: 17 str.
http://www.imko.de/ENG/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=38
(15. 5. 2013)
- Impacts of Europe's changing climate, an indicator – based assessment. Report No. 2/2004. 2004. Luxembourg, EEA-Office for Official Publications of the EC: 107 str.
- Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment, Joint EEA-JRC-WHO report. EEA Report No 4/2008. 2008. Copenhagen, European Communities, European Environment Agency: 246 str.
- Ipavec T., Kajfež Bogataj L. 2008. Možni vplivi podnebnih sprememb na vodno bilanco tal v Sloveniji. *Acta agriculturae Slovenica*, 81: 427–441

- IRENA indicator fact sheet. IRENA 10 – Water use intensity. 2010. Eurostat: 10 str.
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agri_environmental_indicators/documents/IRENA%20IFS%2010%20-%20Water%20use%20intensity_FINAL.pdf (27. 9. 2013)
- Iršič - Žibert M. 2013. Mnenje ARSO o uporabi satelitskih posnetkov pri sledenju kmetijske suše. Interno gradivo. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 2 str.
- Jakšič A. 2010. Aplikacija za ocenjevanje škode na kmetijskih pridelkih in stvareh – AJDA. Ujma, 24: 292–300
- Jaleel C.A., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Somasundaram R., Panneerselvam R. 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11: 100–105
- Jansen E., Overpeck J., Briffa K.R., Duplessy J.-C., Joos F., Masson-Delmotte V., Olago D., Otto-Bliesner B., Peltier W.R., Rahmstorf S., Ramesh R., Raynaud D., Rind D., Solomina O., Villalba R., Zhang D. 2007. Palaeoclimate. V: *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (ur.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom in New York, NY, USA: 433–497
- Ji L., Peters A. 2003. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing Environment*, 87: 85–98
- Kajfež Bogataj L., Sušnik A. 2003. Operativni agrometeorološki modeli za izračun vodne bilance kmetijskih tal. V: *Zbornik simpozija Novi izzivi v poljedelstvu 2002*, Zreče, 5.–6. dec. 2002. Tanjšek A., Šantavec I. (ur.). Ljubljana, Slovensko agronomsko društvo: 164–170
- Kajfež Bogataj L., Bergant K. 2004. Podnebne spremembe v Sloveniji in suša. *Ujma*, 19: 37–41
- Kajfež Bogataj L., Sušnik A. 2007. Challenges to agrometeorological risk management – regional perspective: Europe. V: *Managing weather and climate risks in agriculture*. Sivakumar M.V.K., Motha R.P. (ur.). Germany, Springer: 113–123
- Kajfež Bogataj L., Pogačar T., Ceglar A., Črepinšek Z. 2010. Spremembe agroklimatskih spremenljivk v Sloveniji v zadnjih desetletjih. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Kmetijstvo, 95: 97–109
- Kajfež Bogataj L., Cvinkl B., Ceglar A. 2011. Projekt EuroGEOSS – spremljanje suš: The EuroGEOSS Project – Drought Monitoring. *Ujma*, 25: 190–195
- Kalan M. 2013. Prilagajanje rastlinske pridelave vse pogostejši suši. V: *Okrogla miza »Kmetijstvo in suša«*, Šenčur (osebni arhiv, 13. 9. 2013).
- Kapaciteta tal za zadrževanje rastlinam dostopne vode po katastrskih občinah. 2004. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za pedologijo in varstvo okolja, Ljubljana: 49 str.
- Karl T.R. 1986. The sensitivity of the Palmer drought severity index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25: 77–86
- Kastelec D., Dolinar M. 2003. Spatialisation of extreme precipitation in complex terrain. <http://www.map.meteoswiss.ch/map-doc/icam2003/453.pdf> (14. 10. 2013)
- Keršič P. 2012. Vpliv organske snovi na vodnoretenzijske lastnosti tal. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 31 str.

- Keyantash J., Dracup J.A. 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83: 1167–1180
- Kikec T. 2010. Pomurje in pojav suše. V: *Naravne nesreče 1. Od razumevanja do upravljanja*. Zorn M., Komac B., Pavšek M., Pagon P. (ur.). Ljubljana, Založba ZRC: 49–59
- Kiktev D., Sexton D.M.H., Alexander L., Folland C.K. 2003. Comparison of modeled and observed trends in indices of daily climate extremes. *Journal of Climate*, 16, 22: 3560–3571
- Kobold M. 2007. Vpliv podnebnih sprememb na pretoke slovenski rek. Raba vode. V: 18. Mišičev vodarski dan, Maribor, 10. dec. 2007. Maribor, Vodnogospodarski biro: 101–108
<http://www.vgb.si/mvd2007/R15.pdf> (1. 9. 2012)
- Kobold M., Petan S., Pogačnik N., Sušnik M., Polajnar J., Pavlič U., Uhan J., Gregorič G., Sušnik A., Božič P. 2012. Razvoj suše v Sloveniji v letu 2012: V: 23. Mišičev vodarski dan, Maribor, 5. dec. 2012. Maribor, Vodnogospodarski biro, Zbornik referatov: 1–12
- Kogan F.N. 1997. Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78: 621–636
- Kogan F.N. 2000. Global drought detection and impact assessment from space V: Drought: a global assessment. Vol 1. Wilhite D.A. (ur.). London, Routledge: 196–210
- Kopač I. 2012. Lizimetri kot orodja upravljanja z vodnimi viri. *Ekolist* 08: 14–18
- Koster R.D., Dirmeyer P.A., Guo Z., Bonan G., Chan E., Cox P., Gordon C.T., Kanae S., Kowalczyk E., Lawrence D., Liu P., Lu C.-H., Malyshev S., McAvaney B., Mitchell K., Mocko D., Oki T., Oleson K., Pitman A., Sud Y.C., Taylor C.M., Verseghy D., Vasic R., Xue Y., Yamada T. 2004. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation. *Science*, 305: 1138–1140
- Košmelj K. 2000. Statistične metode. Metode znanstveno-raziskovalnega dela. Delovno gradivo 1999/2000. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 198 str.
- Košmelj K. 2007. Uporabna statistika – 2. dopolnjena izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 239 str.
http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/groups/2721/Uporabna_statistika_okt_2007/Uporabna_statistika_01.pdf (14. 10. 2013)
- Kozyra J., Doroszewski A., Stuczyński T., Jadczyżyn J., Łopatka A., Pudełko R., Koza P., Nieróbca A., Mizak K., Borzęcka-Walker M. 2009. Agricultural drought monitoring systems (ADMS) – including crop specific requirements and soil map for the detection of areas affected by drought in Poland. V: *Extended abstracts of the international symposium*. University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU), Vienna, June 22-23 2009. Eitzinger J., Kubu G. (ur.). BOKU-Met Report 17: 37–40
http://www.boku.ac.at/met/report/BOKU-Met_Report_17_online.pdf (1. 8. 2012)
- Kurnik B. 2002. Primerjava različnih metod za izračun referenčne evapotranspiracije v Sloveniji. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Katedra za meteorologijo: 65 str.
- Łabędzki L. 2007. Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI. *Irrigation and Drainage* 56, 1: 67–77
doi: 10.1002/ird.285 (15. 9. 2013)
- Larcher W. 1995. *Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Third edition. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag: 506 str.

- Lehner B., Doll P., Alcamo J., Henrichs T., Kaspar F. 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75: 273–299
- Li Y.P., Ye W., Wang M., Yan X.D. 2009. Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. *Climate Research*, 39, 1: 31–46
- Lincoln declaration. 2009. Inter-regional workshop on indices and early warning systems for drought. Lincoln, Nebraska, USA, 8.–11. december 2009. Geneva, World Meteorological Organization.
<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/meetings/wies09/index.php> (1. 10. 2012)
- Liu W.T., Kogan F.N. 1996. Monitoring regional drought using the vegetation condition index. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 2761–2782
- Liu Y., Pereira L.S., Fernando R.M. 2006. Fluxes through the bottom boundary of the root zone in silty soils: parametric approaches to estimate groundwater contribution and percolation. *Agricultural Water Management*, 84: 27–40
- Liu X., Xu Z., Yu R. 2011. Spatiotemporal variability of drought and the potential climatological driving factors in the Liao River basin. *Hydrological Processes*.
doi:10.1002/hyp.8104 (5. 3. 2012)
- Ljubenkov I., Bonacci O. 2011. Utvrđivanje i određivanje suše na otoku Korčuli. *Hrvatske vode*, 19, 77: 181–194
- Lloyd-Hughes B., Saunders M.A. 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22: 1571–1592
- Ludwig F., Kabat P., van Schaik H., Van der Valk M. 2009. Climate change adaptation in the water sector. *Earthscan, UK and USA*: 274 str.
- MacDonald G. M. 2010. Climate change and water in Southwestern North America special feature: Water, climate change, and sustainability in the southwest. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107
doi: 10.1073/pnas.0909651107 (4. 8. 2012)
- Mainstreaming drought risk management – a primer. 2012 United Nations Development Programme: 73 str.
<http://web.undp.org/drylands/docs/Mainstreaming%20DRM-English.pdf> (10. 6. 2012)
- Managing water for all. An OECD perspective on pricing and financing. 2009. The organisation for Economic Co-operation and Development: 151 str.
<http://www.oecd.org/greengrowth/sustainableagriculture/44476961.pdf> (12. 9. 2012)
- Managing water under uncertainty and risk. 2012. The 4th edition of the UN World Water Development Report (WWDR4), UNESCO: 909 str.
<http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf#page=812> (1. 7. 2013)
- Managing water - demystifying the science of water in soils. 2013.
<http://toolboxes.flexiblelearning.net.au/demosites/series6/605/html/resources/depot/seeya/managing.htm> (22. 9. 2013)
- Maracchi G. 2000. Agricultural drought – a practical approach to definition, assessment and mitigation strategies. V: Drought and drought mitigation in Europe. Vogt J.V., Somma R. (ur.). Netherlands, Kluwer Academic Publisher: 63–75
- Matajc I. 1994. Suša v kmetijstvu v letu 1993. *Ujma*, 8: 12–15
- Matajc I. 1995. Kmetijska suša in namakanje v Prekmurju leta 1994. *Ujma*, 9: 55–58

- Matajc I. 2001. Značilnost in posledice kmetijske suše leta 2000 v Sloveniji. *Ujma*, 14-15: 156–161
- Matajc I. 2002a. Suša leta 2001. *Ujma*, 16: 74–80
- Matajc I. 2002b. Suša. V: Nesreče in varstvo pred njimi. Ušeničnik B. (ur.). Ljubljana, Uprava za zaščito in reševanje, Ministrstvo za obrambo: 297–302
- Matera A., Fontana G., Marletto V., Zinoni F., Botarelli L., Tomei F. 2007. Use of a new agricultural drought index within a regional drought observatory. V: *Methods and tools for drought analysis and management*. Water Science and Technology Library, 62: 103–124
- Mateescu E., Stancalie G., Nertan A., Alexandru D., Cotofan M., Irimescu A. 2012. Drought monitoring in Romania. V: *Different approaches to drought monitoring – towards EuroGEOSS interoperability model*. Kajfež Bogataj L., Medved - Cvikel B., Ceglar A. (ur.). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za agrometeorologijo: 16–28
- Mavromatis T. 2007. Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. 2007. *International Journal of Climatology*, 27: 911–924
- May W. 2008: Potential future changes in the characteristics of daily precipitation in Europe simulated by the HIRHAM regional climate model. *Climate Dynamics*, 30: 581–603
- McKee T.B., Nolan J., Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. V: *Eighth conference on applied climatology*, Anaheim, CA, American Meteorological Society: 179–184
- McKee T.B., Nolan J., Kleist J. 1995: Drought monitoring with multiple time scales. *Preprints, Ninth Conf. on Applied Climatology*, Dallas, TX, American Meteorological Society: 233–236
- Medved - Cvikel B., Ceglar A., Kajfež Bogataj L. 2012. Integration of drought management centre for southeastern Europe in European Drought Observatory. V: *Different approaches to drought monitoring – towards EuroGEOSS interoperability model*. Kajfež Bogataj L., Medved - Cvikel B., Ceglar A. (ur.). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za agrometeorologijo: 49–63
- Meteorološki podatki 1961–2013. 2013. Ljubljana, Agencija RS za okolje (arhiv podatkov).
- Meteorološki terminološki slovar. 1990. Petkovšek Z., Leder Z. (ur.). Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Društvo meteorologov Slovenije: 84 str.
- Mishra V., Cherkauer K.A. 2010. Retrospective droughts in the crop growing season: Implications to corn and soybean yield in the Midwestern United States. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 1030–1045
- Mishra A.K., Singh V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 2012–216
- Moonen A.C., Ercoli L., Mariotti M., Masoni, A. 2002. Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111: 13–27
- Možný M., Trnka M., Zalud Z., Hlavinka P., Nekovar J., Potop V., Virag M. 2012. Use of a soil moisture network for drought monitoring in the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, 107: 99–111
- Nain A.S., Kersebaum K.C., Mirschel W. 2005. Are meteorological parameters based drought indices enough for agricultural drought monitoring: A comparative study of drought

- monitoring with SPI and crop simulation model. ICID 21st European Regional Conference 2005 – 15-19 May 2005 – Frankfurt (Oder) and Slubice, Germany and Poland: 9 str.
- Namakanje. 2013. Ljubljana, Statistični urad RS.
http://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Okolje/27_okolje/03_27193_voda/04_27222_namakanje/04_27222_namakanje.asp (10. 7. 2013)
- Narasimhan B., Srinivasan R. 2005. Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133: 69–88
- Natek K. 1983. Ogroženost Slovenije zaradi suše. Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost. Ljubljana, ZRC SAZU, Zbornik Geografskega inštituta Antona Melika: 94–100
- Natek K. 2002. Ogroženost zaradi naravnih procesov kot strukturni element slovenskih pokrajin. V: II. Melikovi dnevi, Portorož 27.–28. sep. 2002. (Dela, 18): 61–74
- NDMC. 2013. National Drought Mitigation Center
<http://drought.unl.edu/> (28. 3. 2013)
- Nicholls N. 2004. The changing nature of Australian droughts. *Climate Change*, 63: 323–336
- National weather service natural hazards statistics. 2011. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Climate, Water and Weather Services, Silver Spring, MD
<http://www.nws.noaa.gov/os/hazstats.shtml> (1. 7. 2013)
- Ocena količin za namakanje iz površinskih voda v sušnem obdobju. 2013. Ljubljana, Agencija RS za okolje (interno gradivo).
- Ocenjena škoda po vzroku elementarne nesreče, Slovenija, letno. 2009. Ljubljana, Statistični urad RS.
http://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Okolje/27_okolje/05_Nesrece/27089_ocenjena_skoda/27089_ocenjena_skoda.asp (16. 9. 2013)
- OECD work on water. 2012. Paris, The organisation for economic co-operation and Development: 24 str.
<http://www.oecd.org/env/biodiversitywaterandnaturalresource/49854843.pdf> (1. 10. 2012)
- Ogrin D. 2002. Podnebje. V: Nesreče in varstvo pred njimi. Ušeničnik B. (ur.). Ljubljana, Uprava za zaščito in reševanje, Ministrstvo za obrambo: 29–34
- Operacija »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji«. 2013.
<http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/EU%20sofinancira/> (1. 10. 2013)
- Palmer W.C. 1965. Meteorological drought. research paper no. 45. Washington D.C., U.S. Department of Commerce, Weather Bureau: 58 str.
- Paredes P., Pereira L.S. 2010a. Water balance and irrigation scheduling simulation model. The WinISAREG model. Draft manual (v. 1.3.). CEER-Biosystems Engineering, Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon: 69 str.
- Paredes P., Pereira L.S. 2010b. Model WinISAREG 1.3 (stable version).
<http://ceer.isa-utl.pt/cms> (9. 1. 2012)
- Pereira L.S., Teodoro P.R., Rodrigues P.N., Teixeira J.L. 2003. Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. V: Tools for drought mitigation in Mediterranean regions.

- Rossi G., Cancelliere A., Pereira L.S., Oweis T., Shatanawi M., Zairi A. (ur.). Kluwer, Dordrecht: 161–180
- Pereira L.S., Gonçalves J.M., Dong B., Mao Z., Fang S.X. 2007. Assessing basin irrigation and scheduling strategies for saving irrigation water and controlling salinity in the Upper Yellow River Basin, China. *Agricultural Water Management*, 93, 3: 109–122
- Pintar M. 2003. Lizimetri v Sloveniji. V: 14. Mišičev vodarski dan 2003, Maribor, 5. 12. 2003. Maribor, Vodnogospodarski biro Maribor, Vodnogospodarsko podjetje Drava: 104–111
- Pintar M. 2006. Osnove namakanja s poudarkom na vrtinah in sadnih vrstah v SV Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 54 str.
- Pintar M. 2009. Končno poročilo za pilotno študijo o oceni porabljene količine vode za namakanje površin. Pilotna študija. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije: 23 str.
- Pintar M., Korpar P., Zupanc V. 2010. Vodnozadrževalne lastnosti tal izbranih lokacij ARSO. Končno poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo, Center za urejanje kmetijskega prostora in agrohidrologijo. Agencija RS za okolje: 18 str.
- Plut D. 2008. Okoljska globalizacija, svetovno gospodarstvo in Slovenija. Razprave. Ljubljana, Dela, 30: 5–19
- Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971–2000). 2006. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 27 str.
http://www.arso.gov.si/vreme/podnebnje/podnebnne_razmere_Slo71_00.pdf (1. 10. 2012)
- Popis suš 1961–2012. Povzetki iz agrometeoroloških poročil. 2013. Ljubljana, Agencija RS za okolje, Oddelek za agrometeorologijo (izpis iz baze podatkov).
- Popova Z., Eneva S., Pereira L.S. 2006. Model validation, crop coefficients and yield response factors for maize irrigation scheduling based on long-term experiments. *Biosystems Engineering*, 95, 1: 139–149
- Popova Z. 2012. Drought vulnerability estimates based on crop-yield models. V: Drought management centre for South-east Europe – DMCSEE. 2012. Summary of the result of the project, co-financed by SEE transnational cooperation programme. Gregorič G. (ur.): 39–50
- Poročilo komisije svetu in evropskemu parlamentu. Drugo poročilo o spremljanju sporočila o pomanjkanju vode in suši v Evropski Uniji. 2010. Bruselj, Evropska komisija
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0228:FIN:SL:DOC> (1. 10. 2012)
- Post 1900 Droughts and famines in Russia and the Soviet Union. 2012. Wikipedia.
http://en.wikipedia.org/wiki/Droughts_and_famines_in_Russia_and_the_Soviet_Union (1. 7. 2031)
- Potop V. 2010a. Evolution of drought severity and its impact on corn in the Republic of Moldova. *Theoretical and Applied Climatology*, 105, 3-4: 469–483
doi: 10.1007/s00704-011-0403-2 (14. 8. 2013)
- Potop V. 2010b. Temporal variability of daily climate extremes of temperature and precipitation in the middle Polabí (Elbeland) lowland region. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 41, 3: 140–148
- Potop V., Türkott L., Kožnarová V., Mozný M. 2010. Drought episodes in the Czech Republic and their potential effects in agriculture. *Theoretical and Applied Climatology*, 99: 373–388

- Potop V., Možný M. 2011. The application of a new drought index – standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic V: Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí. Středová H., Rožnovský J., Litschmann T. (ur.). Skalní mlýn, 2.–4. feb. 2011: 22 str.
- Potop V., Možný M., Soukup J. 2012a. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 156: 121–133
- Potop V., Boroneanț C., Možný M., Štěpánek P., Skalák P. 2012b. Spatial and temporal evolution of drought conditions at various time scales in the Czech Republic during growing period. *Idojaras*, 116, 4: 281–295
- Praćenje i ocjena klime u 2004. godini. 2005. Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske. Prikaz 14: 5
- Pravilnik o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Ur. l. RS, št. 45/08. 2008. http://rkg.gov.si/GERK/documents/RABA_Pravilnik.pdf (19. 9. 2013)
- Pridelava poljščin. 2013. Ljubljana, Statistični urad RS. http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=1502402S&ti=&path=../Database/Okolje/15_kmetijstvo_ribistvo/04_rastlinska_pridelava/01_15024_pridelki_povrsina/&lang=2 (9. 10. 2013)
- Predlog ustanovitve medresorske skupine za upravljanje s sušo. 2012. Ljubljana, Agencija RS za okolje. (interno gradivo)
- Produkti modela Cropsys. 2013. Beograd, Republički hidrometeorološki zavod Srbije. http://www.hidmet.gov.rs/podaci/agro/bilten_cropsyst/biltencropsyst.pdf (22. 7. 2013)
- Program odprave posledic škode v kmetijstvu po naravnih nesrečah v letu 2006. 2007. Ljubljana, Ministrstvo RS za kmetijstvo in okolje: 18 str.
- Programi odprave posledic naravnih nesreč. Program odprave posledic škode v kmetijstvu zaradi suše leta 2012. 2013. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje: 19 str. http://www.mko.gov.si/si/delovna_podrocja/odprava_posledic_naravnih_nesrec/ (10. 7. 2013)
- Quiring S.M., Papakryiakou T.N. 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agricultural and Forest Meteorology* *Agricultural and Forest Meteorology*, 118: 49–62
- Računsko sodišče. 2007. Revizijsko poročilo o smotnosti ravnanja Republike Slovenije pri preprečevanju in odpravi posledic suše v kmetijstvu: 85 str.
- Rakonczai J. 2011. Effects and consequences of global climate change in the Carpathian Basin. V: Blanco J. in Kheradmand H. (ur.). *Climate Change – Geophysical Foundations and Ecological Effects*. Zagreb, InTech, 2011: 297–322 http://cdn.intechopen.com/pdfs/19847/InTech-Effects_and_consequences_of_global_climate_change_in_the_carpathian_basin.pdf (22. 3. 2012)
- Rakovec J., Zupančič B., Cegnar T., Sušnik A., Rogelj D., Uhan J., Bergant K., Kajfež Bogataj L. 1998. Spremembe in trendi v Sloveniji izmerjenih meteoroloških in fenoloških količin ter priprava scenarijev spremembe podnebja. Tehnično poročilo. Ljubljana, Fakulteta za matematiko in fiziko, Hidrometeorološki zavod Slovenije, Biotehniška fakulteta: 134 str.
- RAPID. 2003. Press releases IP/03/1524. Brussels.

- http://europa.eu/rapid/press-release_IP-03-1524_en.htm (1. 10. 2012)
- Regionalne podnebne spremembe in prilagajanje nanje. Alpe se soočajo z izzivom spremenjenih lastnosti vodnih virov. Povzetek. 2009. Copenhagen, European Environment Agency: 13 str.
- Register kmetijskih gospodarstev – javno dostopni podatki. 2010. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje.
<http://rkg.gov.si/GERK/> (30. 9. 2010)
- Rodriguez A.J., Monreal T.E. 2000. Regionalization and drought characterisation in Europe. ARIDE Technical Report no. 9. Madrid, Spain, CEDEX: 55 str.
- Rojec L. 2009. Sposobnost tal za zadrževanje vode na izbranih tleh Apaške doline na osnovi meritev porušenih in neporušenih vzorcev. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 34 str.
- Rossi S., Niemeier S. 2012. Drought monitoring with estimates of the fraction of absorbed photosynthetically-active radiation (fAPAR) derived from MERIS. Remote sensing for drought: Innovative monitoring approaches. Wardlow B., Verdin J. (ur.). CRC Press-Taylor/Francis, Boca Raton, USA: 95–116
- SAGA 2.0.8. 2011. System for automated geoscientific analyses. Free open source software. Institute of Geography at the University of Hamburg, Germany.
<http://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/SAGA%20-%202.0/SAGA%202.0.8/> (1. 5. 2013)
- SAZU Digitalni model višin. 2013. Zirka prostorskih podatkov. Ljubljana, Geodetska uprava Slovenije.
<http://www.e-prostor.gov.si/index.php?id=708> (9. 10. 2013)
- Seneviratne S.I., Corti T., Davin E.L., Hirschi M., Jaeger E.B., Lehner I., Orlowsky B., Teuling A.J. 2010. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99, 3-4: 125–161
doi:10.1016/j.earscirev.2010.02.04 (10. 9. 2012)
- Sepulcre-Canto G., Horion S., Singleton A., Carrao H., Vogt J. 2012. Development of a combined drought indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12: 3519–3531
<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/3519/2012/nhess-12-3519-2012.pdf> (1. 6. 2013)
- Shahabfar A., Ghulam A., Eitzinger J. 2012. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation*, 18: 119–127
- Sheffield J., Wood E.F. 2008. Global trends and variability in soil moisture and drought characteristics, 1950–2000, from observation-driven simulations of the terrestrial hydrologic cycle. *Journal of Climate*, 21, 3: 432–458
<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2007JCLI1822.1> (1. 6. 2013)
- Siebert S., Burke J., Faures J.M., Frenken K., Hoogeveen J., Döll P., Portmann F.T. 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory. *Hydrology and Earth System Science*, 14: 1863–1880
doi: 10.5194/hess-14-1863-2010 (14. 8. 2013)
- Sillmann J., Roeckner E. 2008. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change, *Climatic Change*, 86, 1-2: 83–104

- Sinha A., Cannariato K.G., Stott L.D., Cheng H., Edwards R.L., Yadava M.G., Ramesh R., Singh I.B. 2007. A 900-year (600 to 1500 A.D.) record of the Indian summer monsoon precipitation from the core monsoon zone of India. *Geophysical Research Letters*, 34: L16707
doi: 10.1029/2007GL030431 (12. 12. 2012)
- Sistem za ocenjevanje škode AJDA. 2012. Ljubljana, Uprava RS za zaščito in reševanje (izpis iz baze podatkov, dostop do vira podatkov 10. 4. 2012).
- Sivakumar M.V.K., Motha R.P. 2007. Managing weather and climate risks in agriculture. Summary and recommendations. V: *Managing weather and climate risks in agriculture*. Sivakumar M.V.K., Motha R.P. (ur.). Berlin, New York, World Meteorological Organization, Springer: 477–489
- Sivakumar M.V.K. 2011. Agricultural drought – WMO perspectives. agricultural drought indices. proceedings of the WMO/UN ISDR expert group meeting on agricultural drought indices, 2-4 June 2010, Murcia, Spain. Sivakumar M.V.K., Motha R.P., Wilhite D.A., Wood D.A. (ur.). Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization: 22–34
- Sivakumar M.V.K., Stone R., Sentelhas P.C., Svoboda M., Omondi P., Sarkar J., Wardlow B. 2011. Agricultural drought indices: Summary and recommendation. V: *Agricultural drought indices. Proceedings of the WMO/UN ISDR expert group meeting on agricultural drought indices, 2-4 June 2010, Murcia, Spain*. Sivakumar, M.V.K., Motha R.P., Wilhite D.A., Wood D.A. (ur.). Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization: 172–197
- Stališče SMD o podnebnih spremembah. 2011. Ljubljana, Slovensko meteorološko društvo: 29 str.
http://www.meteo-drustvo.si/data/upload/Stalisce_net.pdf (10. 11. 2012)
- Sonnett J., Morehouse B.J., Fingerc T.D., Garfind G., Rattraye N. 2006. Drought and declining reservoirs: comparing media discourse in Arizona and New Mexico, 2002 – 2004. *Global Environmental Change*, 16: 95–113
- Special report on the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. 2012. Cambridge, Cambridge University Press, IPCC (International Panel on Climate Change): 582 str.
- Sporočilo komisije evropskemu parlamentu, svetu, evropskemu ekonomsko-socialnemu odboru in odboru regij. 2012. Poročilo o pregledu evropske politike proti pomanjkanju vode in suši. Bruselj, Evropska komisija: 11 str.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0672:FIN:SL:DOC> (1. 9. 2012)
- Standardized precipitation index user guide. 2012. Geneve, World Meteorological Organization.
http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO_1090_EN.pdf (11. 7. 2013)
- Steinemann A., Hayes M., Cavalcanti L. 2005. Drought indicators and triggers. V: *Drought and water crises: Science, technology, and management issues*. Wilhite D.A. (ur.). New York, Dekker: 71–92
- Stewart J.L., Hanks R.J., Danielson R.E., Jackson E.B., Pruitt W.O., Franklin W.T., Riley J.P., Hagan R.M. 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. *Utah Water Res. Lab. Rep. Logan, Utah State University*: 201 str.
- Stöckle C.O., Nelson R.L. 1994. *Cropsyst user's manual (Version 1.0)*. Pullman, Washington State University, Biological Systems Engineering Dept.: 235 str.

- Suhadolc M., Ruprecht J., Zupan M. 2008. Študijsko gradivo za vaje pri predmetu Nauk o tleh. Visokošolski strokovni študij agronomije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja: 50 str.
<http://sl.scribd.com/doc/77602445/13/VREDNOTENJE-PRIDELOVALNEGA-POTENCIALA-KMETIJSKIH-ZEMLJI%C5%A0%C4%8C> (27. 9. 2013)
- Suhadolc M., Sušnik A., Lobnik F., Kajfež Bogataj L., Gregorčič G., Bergant K. 2010. Izzivi Slovenije na področju suš in degradacije tal. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 76 str.
http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/agromet/product/document/sl/IZZIVI_Slovenije_na_podrocju_sus_in_degradacije_tal.pdf (27. 9. 2013)
- Sun L., Mitchell S.W., Davidson A. 2011. Multiple drought indices for agricultural drought risk assessment on the Canadian prairies: 12 str.
http://www.glel.carleton.ca/PDF/webDump/SunMitchellDavidson_2011_droughtIndices.pdf
doi: 10.1002/joc.2385 (10. 4. 2013)
- Sustainable water use in Europe. Part 3: Extreme hydrological events: floods and droughts. Environmental issue report 21. 2001. Copenhagen, European Environment Agency: 84 str.
- Sušnik A., Dolinar M. 2001. Ocena kmetijske suše 2001. Delovno gradivo. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 5 str.
- Sušnik A. 2003a. Dinamika primanjkljaja vode za kmetijske rastline včeraj, danes in jutri. V: 14. Mišičev vodarski dan 2003, Maribor, 5.12.2003. Maribor, Vodnogospodarski biro Maribor, Vodnogospodarsko podjetje Drava: 84–92
- Sušnik A. 2003b. Letos pravi sušec. *Sodobno kmetijstvo*, 36, 4: 41
- Sušnik A. 2003c. Rekordna spomladanska suša. *Sodobno kmetijstvo*, 36, 6: 41
- Sušnik A. 2003d. Povečano pojavljanje ekstremnih vremenskih dogodkov. Strokovni nasveti – MOP. *Kmečki glas*, 26: 8
- Sušnik A. 2003e. Izjemna kmetijska suša 2003. *Sodobno kmetijstvo*, 36, 7-8: 47–48
- Sušnik A. 2003f. Vročina, suša in neurja. *Sodobno kmetijstvo*, 36, 7-8: 49
- Sušnik A. 2003g. Ekstremni spomladanski primanjkljaj vode v tleh in kmetijska suša 2003. Strokovni nasveti – MOP. *Kmečki glas*, 23: 9
- Sušnik A., Kurnik B. 2004. Katastrofalna kmetijska suša leta 2003. *Ujma*, 17-18: 54–60
- Sušnik, A., Matajc, I., 2005. IRRFIB model and its practical usage for drought estimation in Slovenia. Irrigation and pest and disease models: evaluation in different environments and web-based applications. Maracchi G., Kajfež Bogataj L. (ur.). COST Action 718 – Meteorological applications for agriculture: 36–42
- Sušnik A. 2006. Vodni primanjkljaj v Sloveniji in možni vplivi podnebnih sprememb. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 147 str.
- Sušnik A., Matajc I., Kodrič I. 2006. Agrometeorological support of fruit production: application in SW Slovenia. *Meteorological applications, supplement*: 81–86
- Sušnik A. 2007a. Zemlji grozijo suše, človeštvu žeja. *Delo, Znanost* (22. 7. 2007):18
- Sušnik A. 2007b. Dezertifikacija in podnebne spremembe – globalni izziv. *Kmečki glas* (11. jul. 2007): 9
- Sušnik A. 2007c. Izjemno toplo in suho vreme povzroča zgodnejši razvoj rastlin in kmetijsko sušo. *Agrometeorološki pregled. Kmečki glas* (16. maj 2007): 3

- Sušnik A. 2007d. Vzroki in posledice kmetijske suše 2006. *Ujma*, 73–80
- Sušnik A., Kajfež Bogataj L., Črepinšek Z. 2007. Vse več sušnih let. *Sodobno kmetijstvo*, 40, 2: 5–7
- Sušnik A. 2008. Podnebne spremembe in posledice za kmetijstvo. Zbornik posveta Svetovni dan hrane 2008 – Samooskrba in kakovost hrane glede na podnebne spremembe in globalne ekonomske trende, 16. okt. 2008. Ljubljana, Inštitut za varovanje zdravja RS, Ministrstvo za zdravje in Ministrstvo za šolstvo in šport: 9–12
- Sušnik A., Gregorič G. 2008. Trendi ranljivosti na kmetijsko sušo. Strategija upravljanja z vodami v luči podnebnih sprememb. V: 19. Mišičev vodarski dan, Maribor, 8. december 2008. Maribor, Vodonogospodarski biro: 26–31
<http://mvd20.com/LETO2008/R4.pdf> (1. 7. 2013)
- Sušnik A., Matajč I. 2008: Kmetijska suša v Sloveniji leta 2007. *Ujma*, 22: 37–42
- Sušnik A., Žust A. 2008. Definicije agrometeoroloških indikatorjev pri določanju območij z omejenimi možnostmi pridelovanja (OMD). V: Zbornik simpozija Novi izzivi v poljedelstvu 2008. Tanjšek A. (ur.), Rogaška Slatina, 4.–5. dec. 2008. Ljubljana, Slovensko agronomsko društvo: 338–345
- Sušnik A. 2009. Majsko vroče vreme – bo suša tudi letos? Agrometeorološki pregled. *Kmečki glas*, (3. junij 2009): 8
- Sušnik A., Pogačar T., Gregorič G., Roškar J., Ceglar A. 2010. Establishment of agricultural drought monitoring at different spatial scales in southeastern Europe. *Acta agriculturae Slovenica*, 95, 3: 231–243
- Sušnik A., Pogačar, T. 2010. Motena vodna bilanca kmetijskih rastlin leta 2009: od suše do moče. *Ujma* 24: 54–64.
- Sušnik A., Pogačar T. 2011. Vremensko povzročeni stresni kmetijskih rastlin leta 2010. *Ujma* 25: 81–92
- Sušnik A., Žust A., Habič B. 2011. Strategija upravljanja voda za zmanjšanje pomanjkanja voda v Alpah, Poročilo o delu na projektu (Alp-Water-Scarce). Ljubljana, Agencija RS za okolje: 62 str.
- Sušnik A., Habič B. 2012. Diagram modela IRRFIB. Interno gradivo. Ljubljana, Agencija RS za okolje, Oddelek za agrometeorologijo (interno gradivo)
- Sušnik A., Valher A. 2012a. Spomladanska suša in drugi vremenski vplivi na kmetijske rastline leta 2011. *Ujma*, 26: 55–69
- Sušnik A., Valher A. 2012b. Orodje za sledenje kmetijske suše v sklopu Centra za upravljanje s sušo v jugovzhodni Evropi. Ljubljana, DMCSEE: 18 str. (interno gradivo)
- Sušnik A., Valher A., Gregorič G., Trošt M. 2012. Tools for agricultural drought detection in the frame of Drought Management Centre for south-east Europe – DMCSEE. Ljubljana, *Acta agriculturae Slovenica*, 99: 235–253
- Sušnik A., Valher A. 2013. Vremensko pogojene težave v kmetijstvu v letu 2012. *Ujma* 27: 62–70
- Svetovni dan voda 2007: Obvladovanje pomanjkanja vode. 2007. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 5 str.
http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/dokumenti/dan_voda_dodatno_gradivo.doc (1. 10. 2011)

- Svetovni dan voda 2012. Posebna objava. 2012. Ljubljana, Statistični urad RS.
http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=4565 (1. 7. 2013)
- Svoboda M., Lecomte D., Hayes M., Heim R., Gleason K., Angel J., Rippey B., Tinker R., Palecki M., Stooksbury D., Miskus D., Stephens S. 2002. The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83: 1181–1190
- Szalai S., Szinell C. 2000. Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary – case study. V: *Drought and drought mitigation in Europe*. Vogt J.V., Somma F. (ur.). Dordrech, Kluwer: 161–166
- Šebenik U. 2012. Analiza suše s pomočjo standardiziranega padavinskega indeksa. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 122 str.
- Šeško T. 2008. Ekonomski vidiki vode v prihodnosti. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta: 43 str.
- Šijanec M., 2009. Sposobnost izbranih tal za zadrževanje vode. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 41 str.
- Šircelj H. 2004. Ugotavljanje sušnega stresa v sadnem drevju. V: *Zbornik referatov 1. slovenskega sadjarskega kongresa z mednarodno udeležbo*, Krško, 24.–26. mar. 2004. Hudina M. (ur.). Ljubljana, Sadjarsko društvo Slovenije: 175–179
- Šovljanski A., Radovanović S., Krajinović Z. 2012. Drought monitoring in Serbia. V: *Different approaches to drought monitoring – towards EuroGEOSS interoperability model*. Kajfež Bogataj L., Medved - Cvikel B., Ceglar A. (ur.). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Center za agrometeorologijo: 1–9
- Šuštaršič S. 2012. Kako meriti stres pri rastlinah? Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 18 str.
- Taiz L., Zeiger E. 2010. *Plant physiology on line. Acompanion to 5th edition*. Sunderland, Sinauer: 782 str.
<http://5e.plantphys.net/categories.php?t=t> (27. 9. 2013)
- Tallaksen L.M. 2000. Streamflow drought frequency analysis. V: *Drought and drought mitigation in Europe*. Vogt J.V., Somma R. (ur.). Netherlands, Kluwer Academic Publisher: 103–117
- Tate E.L., Gustard A. 2000. Drought definition: A hydrological perspective. V: *Drought and drought mitigation in Europe*. Vogt J.V., Somma R. (ur.). Netherland, Kluwer Academic Publisher: 23–48
- Teixeira J.L., Pereira L.S. 1992. ISAREG, an irrigation scheduling model. *ICID Bulletin*, 41, 2: 29–48
- The 2011/2012 European report on development, confronting scarcity: managing water, energy and land for inclusive and sustainable growth. 2012. Overseas Development Institute (ODI), European Centre for Development Policy Management (ECDPM), German Development Institute/Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (GDI/DIE): 186 str.
<http://www.erd-report.eu> (10. 10. 2012)
- The Copenhagen diagnosis. 2009. Updating the world on the latest climate science. Sydney, The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC): 60 str.
<http://www.copenhagendiagnosis.org/> (14. 11. 2012)
- Todisco F., Vergni L., Mannoichi F. 2008. An evaluation of some drought indices in the monitoring and prediction of agricultural drought impact in central Italy. V: *Options*

- Méditerranéennes, Special issue – Irrigation in Mediterranean agriculture: challenges and innovation for the next decades. Napoli, 27.–28. jun. 2008. Bari, CIHEAM: 203–211
<http://om.ciheam.org/om/pdf/a84/00800967.pdf>
- Towards a compendium on national drought policy. 2011. Sivakumar M.V.K., Motha R.P., Wilhite D.A., Qu J.J. (ur.). Geneve, World Meteorological Organization: 136 str.
- Towards efficient use of water resources in Europe. EEA Report No 1/2012. 2012. European Environment Agency: 68 str.
- Triglav. 2013. Indeksno zavarovanje posevkov pred nevarnostjo pomanjkanja padavin – meteorološka suša.
http://www.triglav.si/zavarovanja/posamezniki/zavarovanje_posevkov_in_plodov/spi (18. 7. 2013)
- Trošt M. 2011a. Poročilo. Palmerjev sušni indeks – PDSI: princip izračuna, uporaba programskega paketa in kvalitativna ocena. Ljubljana, DMCSEE: 23 str.
- Trošt M. 2011b. Izračun PDSI na območju JV Evrope: analiza pomladanske suše 2011. Ljubljana, DMCSEE: 8 str.
- Tsakiris G., Vangelis H. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Management*, 18: 1–12
- Tsakiris G., Pangalou D., Vangelis H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance drought index (RDI). *Water Resources Management*, 21, 5: 821–833
- Turk S. 1996. Vodna bilanca tal v Sloveniji in bližnji okolici v zadnjem stoletju. Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Katedra za meteorologijo: 71 str.
- Uhan J., Bat. M., Beltram G., Cegnar T., Dobnikar Tehovnik M., Grbovič J., Kranjc M., Mihorko P., Rejec Brancelj I., Remec - Rekar Š. 2003. Vodno bogastvo Slovenije 1971–2000. Uhan J., Bat M. (ur.). Ljubljana, Agencija RS za okolje: 131 str.
http://www.arso.si/vode/poro%20in%20publikacije/vodna%20bilanca/vodna_bilanca.html
- Update on water scarcity and drought indicator development. 2012. Water scarcity and drought expert group: 23 str.
<https://circabc.europa.eu/sd/d/b81cb8ec-2655-4013-ac40-d6266ed33523/Update%20on%20Water%20Scarcity%20and%20Droughts%20indicator%20development%20May%202012.doc> (1. 7. 2012)
- Uredba o metodologiji za ocenjevanje škode. 2003. Ur. l. RS, št. 67/03.
- Valher A., Sušnik A., Pogačar T. Gregorič G. 2011. WinISAREG model. Report on irrigation scheduling tools – case study for Slovenia. Ljubljana, DMCSEE: 33 str. (interno gradivo)
- Van Lanen H.A.J., Peters E. 2000. Definition, effects and assessment of groundwater droughts. V: *Drought and drought mitigation in Europe*. Vogt J.V., Somma F. (ur.). Kluwer Academic, Dordrecht: 49–61
- Van der Schrier G., Briffa K.R., Jones P.D., Osborn T.J. 2006a. Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate*, 19: 2818–2834
- Van der Schrier G., Briffa K.R., Osborn T.J., Cook E.R. 2006b. Summer moisture variability across North America. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 111 D11102
doi: 10.1029/2005JD006745 (10. 8. 2012)

- Van der Schrier G., Efthymiadis D., Briffa K.R., Jones P.D. 2007. Alpine moisture variability for 1800-2003. *International Journal of Climatology*, 27: 415–427
doi: 10.1002/joc.1411 (10. 8. 2012)
- Vernik T., Vrščaj B. 2009. Vzpostavitev sistema multidisciplinarnih informacij prostora za napovedovanje in ocenjevanje škod po naravnih nesrečah v kmetijstvu. Povzetek vsebin projekta. Končno poročilo. Ciljni raziskovalni program Znanje za varnost in mir 2006 – 2010: 31 str.
http://www.kis.si/datoteke/file/kis/SLO/CL/CTO/DKT-TIS/Clanki_projekti/Koncno%20porocilo_SUSA.pdf (25. 3. 2013)
- Vicente-Serrano S.M., Cuadrat-Prats J.M. 2007. Trends in drought intensity and variability in the middle Ebro valley (NE of the Iberian peninsula) during the second half of the twentieth century: *Theoretical and Applied Climatology*, 88: 247–258
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23: 1696–1718
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. 2011. Comment on “Characteristics and trends in various forms of the Palmer drought severity index (PDSI) during 1900 – 2008” by Aiguo Dai. *Journal of Geophysical Research*, 116.
doi: 10.1029/2011JD016410 (6. 11. 2012)
- Vilhar, U. 2006. Vodna bilanca dinarskega jelovo-bukovega gozda v Kočevskem rogu. Doktorsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 250 str.
- Vivodinac S. 2011. Vpliv sušnega stresa na rast in rodnost žlahtne vinske trte (*Vitis vinifera* L.). Dipl. delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 16 str.
- Vodni potencial rastlin. 2013. Študijsko gradivo za fiziologijo rastlin. Laboratorijske vaje 2005/2006. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
web.bf.uni-lj.si/ag/botanika/gradiva/VAJA%202.pdf (22. 9. 2013)
- Vodnik D. 2013. Rastlina in voda. Študijska gradiva s predavanj za podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti. Ekofiziologija in prehrana rastlin. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
<http://web.bf.uni-lj.si/ag/botanika/gradiva/Ekofiziologija%20-%20Voda%202005-06.pdf> (22. 9. 2013)
- Water and food security. World water day 2012. 2012. UN Water, Food and Agriculture Organization: 12 str.
http://www.unwater.org/worldwaterday/downloads/WWD2012_BROCHURE_EN.pdf (1. 10. 2012)
- Water at FAO. Information note. 2009. FAO Water: 11 str.
<http://www.fao.org/nr/water/docs/wateratfao.pdf> (1. 7. 2012)
- Water resources across Europe-confronting water scarcity and drought. 2009. EEA Report N°2/2009. ISSN 1725-9177. 2009. Copenhagen, European Environment Agency: 55 str.
- Water scarcity and droughts. Second interim report. In-depth assessment. 2007. DG Environment, European Commission: 93 str.

- Water scarcity and droughts. 2008. Policy department economic and scientific policy. IP/A/ENVI/ST/2007-17. Farmer A. (ur.). London, Institute for European Environmental Policy: 53 str.
http://www.ieep.eu/assets/427/water_scarcity.pdf (1. 9. 2012)
- Water scarcity and drought events in Europe during the last decade. Data and maps. 2012. European Environment Agency.
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/main-drought-events-in-europe-200020132009> (20. 12. 2012)
- Wells N. 2003. PDSI users manual. Version 2.0. National agricultural decision support system, University of Nebraska-Lincoln: 17 str.
http://greenleaf.unl.edu/downloads/PDSI_Manual.pdf (8. 8. 2011)
- Wells N., Goddard S., Hayes M.J. 2004. A self-calibrating Palmer drought severity index. *Journal of American Meteorological Society*, 17 : 2335–2351
- Westerling A.L., Hidalgo H.G., Cayan D.R., Swetnam T.W. 2006. Increases in western US forest wildfire associated with warming and advances in the timing of spring. *Science*, 313: 940–943
- Westerling A.L., Bryant B.P. 2008. Climate change and wildfire in California. *Climatic Change*, 87: S231–S249
DOI 10.1007/s10584-007-9363-z (1. 11. 2012)
- Wilhelmi O.V., Hubbard K.G., Wilhite D.A. 2002. Agroclimatological factors influencing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *International Journal of Climatology*, 22: 1399–1414
- Wilhite D., Glantz M.. 1985. Understanding: the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10, 3: 111–120
- Wilhite D., Hayes M., Knutson C., Smith K. 2000. Planning for drought: Moving from crisis to risk management. *Journal of the American Water Resources Association*, 36: 697–710
- Wilhite D.A., Svoboda M. D. 2000. Drought early warning systems in the context of drought preparedness and mitigation. V: Early drought preparedness and drought management. Expert group meeting, Lisbon, Portugal, 5-7 sept. 2000. Wilhite D.A., Sivakumar M.V.K., Wood A. (ur.). Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization: 1–17
- Wilhite D.A. 2009. Drought monitoring as a component of drought preparedness planning. V: Coping with drought risk in agriculture and water supply systems. Garrote L., Cancelliere A., Cubillo F., Wilhite D.A. (ur.). Dordrecht, The Netherlands, Springer: 3–19
- Wu H., Wilhite D.A. 2004. An operational agricultural drought risk assessment model for Nebraska. *Natural Hazards*, 33: 1–2
- Wu H., Hayes M.J., Wilhite D.A., Svoboda M.D. 2005. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology*, 25: 505–520
- Xoplaki E., Luterbacher J., González-Rouco J.F. 2006. Mediterranean summer temperature and winter precipitation, large-scale dynamics, trends. *Il Nuovo Cimento*, 29: 45-54
- Zakaj proučevati tla? 2013. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.
web.bf.uni-lj.si/zt/mikro/homepage/Tla.pdf (22. 9. 2013)
- Zakon o odpravi posledic naravnih nesreč/ZOPNN. 2003. Ur. l. RS, št. 75/03

- Zakon o ratifikaciji Konvencije Združenih narodov o boju proti dezertifikaciji v tistih državah, ki doživljajo hudo sušo in/ali dezertifikacijo, zlasti v Afriki/MKZNBPD. 2001. Ur. l. RS, št. 14/01
- Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami/ZVNDN. 1994. Ur. l. RS, št. 64/94
- Zakon o vodah/ZV-1. 2002. Ur. l. RS, št. 67/02
- Zhang J., Jia W., Yang J., Ismail A.M. 2006. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. *Field Crops Research*, 97: 111–119
- Zingaretti S.M., Inácio M.C., Pereira L. de Matos, Paz T.A., Suzelei de Castro F. 2013. Water stress and agriculture, responses of organisms to water stress, Dr. Sener Akinci (ur.). Zagreb, InTech
<http://www.intechopen.com/books/responses-of-organisms-to-water-stress/water-stress-and-agriculture> (18. 9. 2013)
- Zrnec C. 2006. Navodila za fenološka opazovanja. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 81 str.
- Zupanc V. 2003. Določitev potreb po namakanju breskve in nektarine v Vipavski dolini ob spremenjeni vodni bilanci tal. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 123 str.
- Zupanc V., Nolz R., Cepuder P., Bračič – Železnik B., Pintar M. 2012. Determination of water balance components with high precision weighing lysimeter Kleče. *Acta agriculturae Slovenica*, 99 (2): 165-173
doi: 10.2478/v10014-012-0016-1
22. marec, svetovni dan voda: Voda za mesta: odziv na mestni izziv. Bilten Okolje & Prostor, marec 2011. 2011. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: 2 str.
http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/bilteni/bil152_11.pdf
(12. 9. 2012)

ZAHVALA

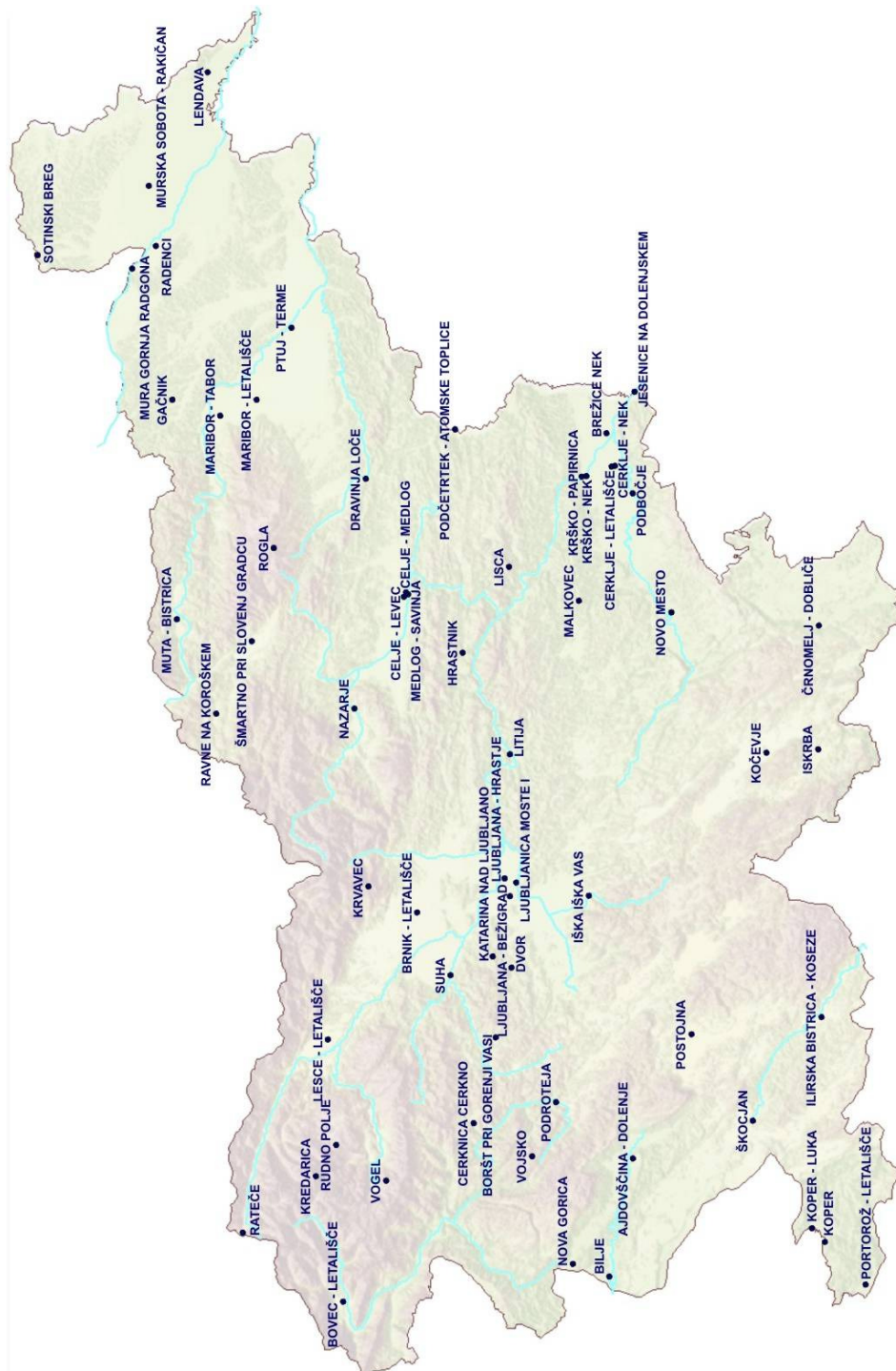
Zahvaljujem se mentorici, prof. dr. Lučki Kajfež Bogataj za usmerjanje, koristne napotke ter podporo med nastajanjem disertacije. Že od začetka moje poslovne in znanstvene poti je pomembno vplivala na pridobivanje mojih izkušenj in znanj s področja agrometeorologije in močno sooblikovala tudi moj pogled na svet. Prepričana sem, da bova uspešno sodelovali tudi v prihodnje. Članu komisije, doc. dr. Klemenu Bergantu, se zahvaljujem za koristne pripombe ter sugestije, ki jih je podal ob pregledu naloge. Prav tako se iskreno zahvaljujem članici komisije, prof. dr. Marini Pintar, za pregled mojega dela, pripombe in strokovne komentarje.

Zahvala gre tudi kolegom Urada za meteorologijo Agencije Republike Slovenije za okolje, ki so mi omogočili, da sem ob nastajanju disertacije lahko uporabljala računalniško opremo in z njimi so se v strokovnih debatah porodile številne dobre ideje. Hvala dr. Gregorju Gregoriču, ki mi je nudil nesebično strokovno pomoč pri nalogi. Najini pogovori in skupno delo vezano na tematiko suše je pripomoglo razrešiti marsikatero dilemo in upam, da bova tako dobro sodelovala še na mnogih projektih. Zahvaljujem se tudi kolegom na Oddelku za agrometeorologijo. Bogotu, ki mi je bil v veliko pomoč pri upravljanju s podatki in mi s tem olajšal delo. Ana, Ajda, Tjaša, Tanja, še enkrat hvala za prebiranje tekstov in razumevanje, da mi je ob obilici operativnega dela in študiju včasih zmanjkovalo energije. Veliko hvaležnost izražam tudi mag. Iztoku Matajcu, ki ga žal ni več med nami. Njegovo znanje še vedno živi tudi v mojem delu.

Star latinski rek pravi *Nomen est omen*. To pomeni, da ima vsako ime znamenje. Marsikdo se nasmehne, ko se predstavim s priimkom Sušnik in izpostavim sušo kot svoje delovno področje. Ne verjamem v naključja. Zato naj na koncu omenim še družino, ki mi je dala priimek. In ne samo to. Hvala celotni družini Sušnik za ljubezen, vzpodbudo in pomoč v včasih napornih trenutkih. Predvsem mami Colette in atiju Janezu. Hvala, ker sta mi na moji poti dajala moč, voljo in mi zgradila ljubezen do ljudi, okolja in dela. Brez vaju bi bilo težko.

PRILOGA A

Mreža padavinskih postaj

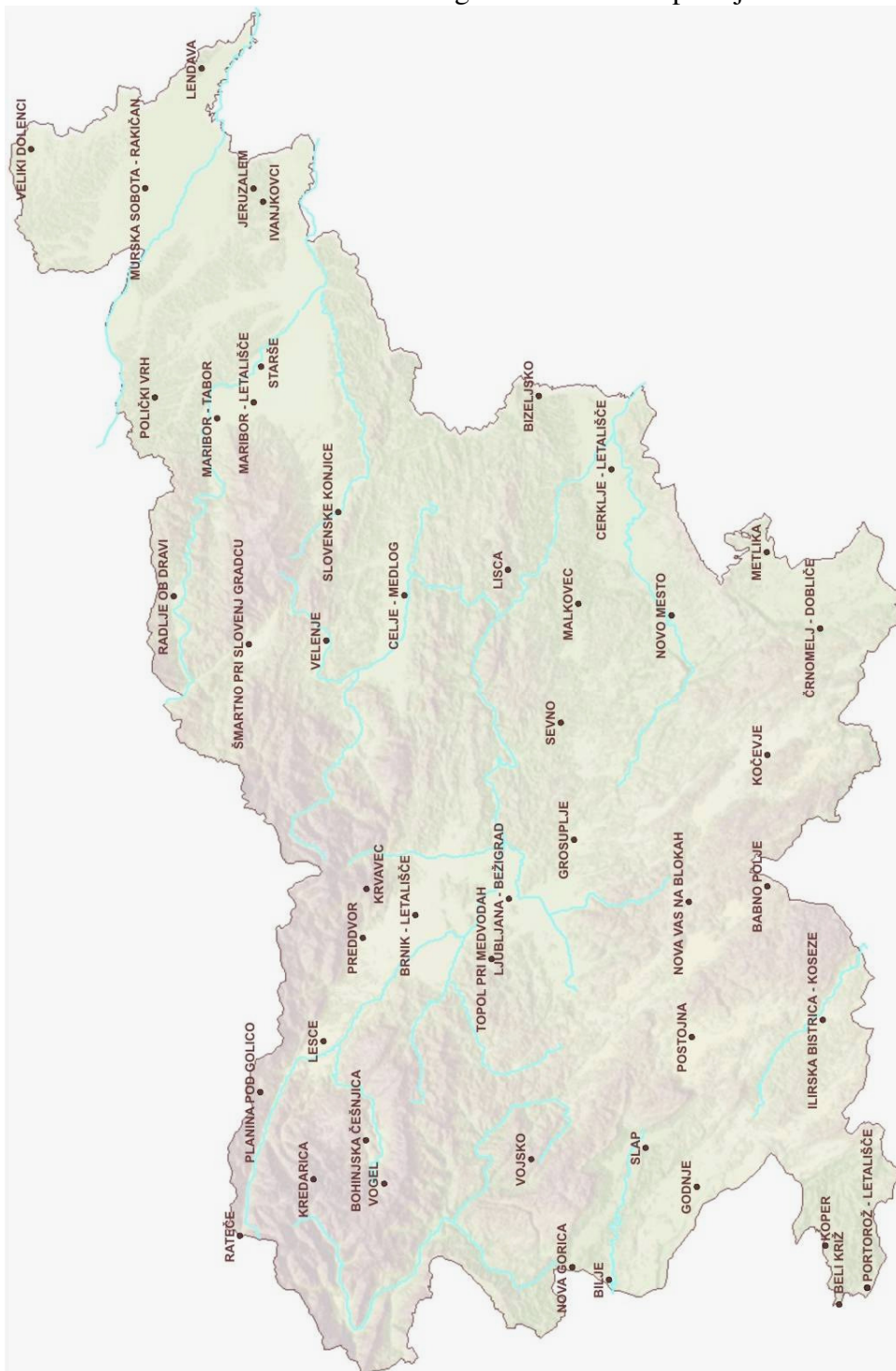


Pril. A1: Mreža padavinskih postaj ARSO z dostopnimi podatki za preteklih 24 ur (Meteorološki podatki ..., 2013).

Ann. 1: Precipitation stations network ARSO with available data for last 24 hours (Meteorološki podatki ..., 2013).

PRILOGA B

Mreža agrometeoroloških postaj



Pril. A2: Mreža agrometeoroloških postaj ARSO z možnostjo izračuna potencialne evapotranspiracije (Meteorološki podatki ..., 2013).

Ann. 2: Agrometeorological stations network ARSO with possibility of potential evapotranspiration calculation (Meteorološki podatki ..., 2013).

