

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Miha HABJAN

ANALIZA VODNE BILANCE V VIPAVSKI DOLINI

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2008

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Miha HABJAN

ANALIZA VODNE BILANCE V VIPAVSKI DOLINI

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

THE ANALYSIS OF WATER BALANCE IN THE VIPAVA VALLEY
GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2008

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za agrometeorologijo Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Meteorološke podatke, ki smo jih uporabili za analize v nalogi, smo dobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Lučko Kajfež-Bogataj.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Katja VADNAL
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

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

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

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Miha Habjan

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 551.583:551.577:556.15:631.432(043.2)
KG	klimatske spremembe/vodna bilanca/ tla/kmetijstvo/temperatura/padavine/ primanjkljaj/voda v tleh/trendi
KK	AGRIS P40
AV	HABJAN, Miha
SA	KAJFEŽ -BOGATAJ, Lučka (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2008
IN	ANALIZA VODNE BILANCE V VIPAVSKI DOLINI
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	XI, 45, [2] str., 10 pregl., 15 sl., 55 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Energijska bilanca Zemlje se spreminja tudi zaradi človeške dejavnosti. Posledice se kažejo v pospešenih spremembah klime, zlasti v povišanju povprečne temperature zraka (T), prerazporeditvi ali v zmanjšanju količine padavin (KP) in povečanju števila ekstremnih vremenskih pojavov. V zadnjih letih kažeta trenda T in KP v Sloveniji na povečanje T in znižanje KP v vegetacijski dobi (VD), kar lahko pomembno vpliva na kmetijsko pridelavo. V tej raziskavi smo analizirali meteorološke podatke (T in KP) ter primanjkljaje (P) vode v tleh, izračunane z agrometeorološkim računalniškim programom IRRFIB, v tleh, ki dobro in v tleh, ki slabo zadržujejo vodo, v VD med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini. Vse podatke smo dobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje. Pri spremenljivkah smo pregledovali trende v izbranem času (dekade, meseci, leta), variabilnost med leti in meseci, variabilnost po dekadah VD. Z verjetnostno porazdelitvijo smo spremenljivke med 1963 in 2006 porazdelili glede na velikost. Rezultati so pokazali, da se dnevna povprečna T v VD v izbranem obdobju povečuje s trendom $+ 0,3^{\circ}\text{C} / 10 \text{ let}$, KP se zmanjšuje s trendom $- 32 \text{ mm} / 10 \text{ let}$ (število dni s padavinami se sicer zvišuje, vendar je na padavinski dan KP manjša), vodni P v obravnavanih tipih tal se povečuje za $+ 14 \text{ mm} / 10 \text{ let}$. T se zvišuje in KP se zmanjšuje tudi v mesecih izven VD. Porast T in P vode v tleh ter znižanje KP je najbolj izrazit v dekadah poletnih mesecev. Odkloni trendov T, KP in P vode v tleh so izrazitejši po letu 1992. Iz rezultatov analiz preučevanih podatkov v VD izbranega obdobja lahko sklepamo, da se bo v Biljah in drugje po Vipavski dolini v prihodnje T še naprej zviševala, prav tako se bo povečeval vodni P v tleh ter da bo KP manjša, zlasti v poletnih mesecih.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 551.583:551.577:556.15:631.432(043.2)
CX climate changes/water balance/soil/agriculture/temperature/precipitation/soil water shortage/water in the soil/trends
CC AGRIS P40
AU HABJAN, Miha
AA KAJFEŽ-BOGATAJ, Lučka (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
PY 2008
TI THE ANALYSIS OF WATER BALANCE IN THE VIPAVA VALLEY
DT Graduation Thesis (University studies)
NO XI, 45, [2] p., 10 tab., 15 fig., 55 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The Earth's energy balance has changed also due to human activities. Consequences are seen in accelerated climate changes, particularly in the increase of average air temperature (T), in redistribution or decrease of the precipitation amount (PA) and in the rise of extreme weather phenomena. In recent years, the trend of T and PA in Slovenia has shown the rise of T and the decrease of PA in the vegetation period (VP). This can have an important effect on agriculture. In this study, meteorological data (T, PA) and the soil water shortage (S) have been analysed, which were calculated with the agrometeorological computer model IRRFIB in the soil with high and low water holding capacity in the VP between 1963 and 2006 for the meteorological station Bilje in Vipava Valley. All data was gained at the Environmental Agency of the Republic of Slovenia. With variables, their characteristics in the chosen time (decades, months and years), variability between years and months, variability in decades of the VP and trends were checked. Using the probability distribution, the variables between 1963 and 2006 were distributed according to their size. The results have shown, the daytime average T in the VP in the time period studied has increased with the trend + 0,3 °C / 10 years, the PA has decreased with the trend – 32 mm / 10 years (the number of days with precipitation rises, but the amount of precipitation on a wet day is smaller), water S in the both soil types has increased with + 14 mm / 10 years. The T has risen and PA has decreased also in the months outside the VP. The T increase, the soil water S and the decrease of PA is the most pronounced in the decades of summer months. Deviation of trends in T, PA and S of water in the soil has been more pronounced after 1992. The results of the analysis of the examined data in the chosen VP concluded that in Bilje and other parts of Vipava Valley the T and the soil water S will rise and the PA will fall, especially in the summer months.

KAZALO VSEBINE

	Ključna dokumentacijska informacija	III
	Key words documentation (KWD)	IV
	Kazalo vsebine	V
	Kazalo preglednic	VII
	Kazalo slik	VIII
	Kazalo prilog	IX
	Okrajšave in simboli	X
1	UVOD	1
1.1	POVOD ZA IZDELAVO NALOGE	1
1.2	NAMEN NALOGE	1
1.3	DELOVNA HIPOTEZA	1
2	PREGLED OBJAV	2
2.1	ATMOSFERA	2
2.2	RASTLINA	2
2.3	LASTNOSTI TAL	4
2.3.1	Tekstura	4
2.3.2	Struktura	4
2.3.3	Organska snov	5
2.3.4	Poroznost	5
2.3.5	Zračnost tal	5
2.3.6	Toplotne lastnosti tal	5
2.4	VODA V TLEH	6
2.5	VODNA BILANCA TAL	9
2.5.1	Členi vodne bilance	10
2.5.1.1	Pritoki	10
2.5.1.2	Izgube	11
2.5.2	Spremembe vodne bilance tal	13
2.5.2.1	Namakanje	13
2.5.2.2	Klimatske spremembe	13

2.5.2.3	Suša	14
2.6	RAČUNALNIŠKO SIMULACIJSKI MODELI	15
3	MATERIAL IN METODE	16
3.1	METEOROLOŠKI PODATKI	16
3.2	PODATKI O TLEH	17
3.2.1	Matična podlaga v Vipavski dolini	17
3.2.2	Tla v Vipavski dolini	18
3.2.3	Tipa tal	19
3.3	PRIMANJKLJAJI	20
3.4	OPIS MODELA IRRFIB	20
3.4.1	Vhodni podatki modela	21
3.4.2	Izhodni podatki modela	21
3.5	STATISTIČNA ANALIZA PODATKOV	22
4	REZULTATI	24
4.1	TEMPERATURA ZRAKA	24
4.2	PADAVINE	28
4.3	PRIMANJKLJAJI	32
4.3.1	Tla, ki dobro zadržujejo vodo	32
4.3.2	Tla, ki slabo zadržujejo vodo	34
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	37
5.1	RAZPRAVA	37
5.1.1	Temperatura zraka	37
5.1.2	Padavine	38
5.1.3	Primanjkljaji	38
5.1.3.1	Tla, ki dobro zadržujejo vodo	38
5.1.3.2	Tla, ki slabo zadržujejo vodo	39
5.2	SKLEPI	40
6	POVZETEK	41
7	VIRI	42
	ZAHVALA	
	PRILOGA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Vrednosti toplotne prevodnosti za peščena tla, glinasta tla in šotna tla pri suhem stanju (a) in stanju, ko so pore nasičene z vodo (b) (Hočevnar in Petkovšek, 1984)	6
Preglednica 2:	Tipa tal po zadrževalni sposobnosti, uporabljena pri izračunu vodnega primanjkljaja (Meteorološki podatki..., 2003).	19
Preglednica 3:	Vhodni in izhodni podatki modela IRRFIB (Kajfež-Bogataj in Sušnik, 2003).	20
Preglednica 4:	Trendi povprečne mesečne temperature (°C) po mesecih vegetacijske dobe med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	26
Preglednica 5:	Statistična opredelitev toplejših in vročih, hladnejših in hladnih ter normalnih let glede na povprečno temperaturo (°C) zraka v vegetacijski dobi med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	27
Preglednica 6:	Trendi vsote mesečnih padavin (mm) po mesecih vegetacijske dobe med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	30
Preglednica 7:	Statistična opredelitev sušnih in zelo sušnih, vlažnih in mokrih ter normalnih let glede na vsoto padavin (mm) v vegetacijski dobi med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	31
Preglednica 8:	Trendi mesečnih primanjkljajev (mm) v mesecih vegetacijske dobe za tla, ki dobro zadržujejo vodo, med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	33
Preglednica 9:	Trendi mesečnih primanjkljajev (mm) v mesecih vegetacijske dobe za tla, ki slabo zadržujejo vodo, med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	35
Preglednica 10:	Statistična opredelitev let z velikimi in večjimi, majhnimi in manjšimi ter zmernimi primanjkljaji (mm) v vegetacijski dobi za oba tipa tal med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	36

KAZALO SLIK

Slika 1:	Sistem rastlina-tla-voda-atmosfera, ki določa vodno bilanco kmetijskih tal (Bellisario in sod., 1992).	3
Slika 2:	Desorpcijska krivulja za tri teksturne tipe tal (pesek-melj-glina) (Schachtschabel in sod., 1976).	8
Slika 3:	Povprečne mesečne padavine (mm) in povprečna mesečna temperatura (°C) med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	16
Slika 4:	Kraj Bilje pri Novi Gorici v Vipavski dolini (Bilje.si, 2007).	17
Slika 5:	Kraj Bilje pri Novi Gorici v Vipavski dolini (Bilje.si, 2007).	17
Slika 6:	Meteorološka postaja Bilje v Vipavski dolini v JZ delu Slovenije (ARSO, 2007).	17
Slika 7:	Porazdelitev v razrede glede na sposobnost tal za zadrževanje rastlinam dostopne vode v Vipavski dolini (Zupan, 2007).	19
Slika 8:	Grafični prikaz modela IRRFIB (poraba vode pri koruzi (1.5.-29.9.2006) v Biljah) (ARSO, 2006).	21
Slika 9:	Povprečna temperatura zraka (°C) v vegetacijski dobi med leti 1963 in 2006 z vrisanim linearnim trendom za meteorološkopostajo Bilje v Vipavski dolini.	24
Slika 10:	Dolgoletne minimalne, povprečne in maksimalne temperature (°C) po dekadah vegetacijske dobe med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	25
Slika 11:	Vsota padavin (mm) v vegetacijski dobi med 1963 in 2006 z vrisanim linearnim trendom za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	28
Slika 12:	Povprečna, minimalna in maksimalna količina padavin (mm) po dekadah vegetacijske dobe med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	29
Slika 13:	Vsota primanjkljajev (mm) za tla, ki dobro in tla, ki slabo, zadržujejo vodo, v vegetacijski dobi med 1963 in 2006 z vrisanima linearnima trendoma za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	32
Slika 14:	Dolgoletni minimalni, povprečni in maksimalni primanjkljaji (mm) po dekadah vegetacijske dobe za tla, ki dobro zadržujejo vodo, med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	33
Slika 15:	Dolgoletni minimalni, povprečni in maksimalni primanjkljaji (mm) po dekadah vegetacijske dobe za tla, ki slabo zadržujejo vodo, med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.	34

KAZALO PRILOG

PRILOGA: Kategorije desorpcijskih značilnosti tal za vodo na območju Vipavske doline.

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

KRATICE

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
FAO	Food and Agriculture Organization - svetovna organizacija za prehrano in kmetijstvo
IRRFIB	simulacijski namakalno-prognostični model
LAI	Leaf Area Index - indeks listne površine

SIMBOLI

c_p	specifična toplota zraka
E	evaporacija
EPK	količina rastlinam dostopne vode v tleh
ET	dejanska evapotranspiracija
ET _o	referenčna evapotranspiracija
ET _p	potencialna evapotranspiracija
$e_s - e_a$	deficit parnega pritiska v zraku
G	toplotni tok tal
I	izhlapela voda
k_c	koeficient rastlin
K_o	kondenzirana voda
KP	količina padavin
K_a	kapilarni dvig vode
m_v	masa vode v vzorcu tal
m_s	masa suhega vzorca tal
N	sprememba količine vodne zaloge
N_k	namakanje
O	površinski in talni odtoki ali pritoki
OK	odtok vode iz območja korenin
P	primanjkljaj vode
PK	poljska kapaciteta tal
R	biološka ter industrijska poraba
R^2	determinacijski koeficient

R_n	neto sevanje
r_s in r_a	površinska in aerodinamična upornost
Q	vsota količine odtoka
T	temperatura
T_d	dnevna povprečna temperatura
TR	transpiracija
TV	točka venenja
$\pm \Delta VB$	sprememba vodne bilance
VD	vegetacijska doba
ΔVK	vsebnost vode v območju korenin
V_z	masni odstotek
V'_z	volumski odstotek
W_g	gravitacijsko odcedna voda
ΔZ	sprememba zaloge vode v tleh
ρ_z	volumska teža tal
ρ_a	volumska teža vode
ρ_a	povprečna gostota vodne pare pri konstantnem pritisku
Δ	naklon saturacijske točke parnega pritiska in temperature
γ	psihrometrična konstanta

1 UVOD

Količina vode ima poleg lastnosti tal odločilno vlogo v rasti ter razvoju rastlin in je eden ključnih dejavnikov v kmetijski pridelavi. V zadnjih letih kažeta trenda temperature zraka in količine padavin v Sloveniji na povečanje temperature zraka in znižanje količine padavin v vegetacijskem obdobju. Z vidika kmetijstva bodo posledice klimatskih sprememb najprej opazne na vodni bilanci tal, na katero vplivajo temperatura zraka in padavinske razmere ter spremembe le-teh. Ob neugodnih razmerah se pojavlja kmetijska suša, ki zaradi nezadostne količine vode v vegetacijskem obdobju povzroči moten razvoj rastlin, kar glede kmetijstva pomeni zmanjšan ali celo popolnoma izgubljen pridelek. V prihodnje bo gospodarjenje z vodo imelo odločujoč pomen pri kmetijski pridelavi. Pričakovati je, da bo voda ena izmed glavnih omejenih naravnih virov in bo pomanjkanje le-te pomenilo večja tveganja v kmetijstvu, posledice pa bodo tako biofizikalne kot tudi ekonomske (Kajfež-Bogataj, 2003a). Kmetijstvo je v Vipavski dolini pomembna gospodarska dejavnost in ob predvidenih spremembah vodne bilance tal zaradi klimatskih sprememb bo v prihodnosti imelo sprejemanje pravih odločitev v kmetijski pridelavi še pomembnejšo vlogo.

1.1 POVOD ZA IZDELAVO NALOGE

Povod za raziskovalno delo so bile predhodne analize na podlagi meteoroloških podatkov, ki kažejo, da se podnebje spreminja in se bo tudi v prihodnosti. Zaradi podnebnih sprememb se naravni sistemi odmikajo od obstoječega ravnovesja, vplivi pa se kopičijo. Eden takih so tudi vse pogostejše suše v kmetijstvu (Ruprecht, 2003). Spremembe klime na regionalni ravni, ki bodo občutne tudi v Sloveniji, bodo vplivale na neživi in živi svet ter človeka v celoti, še posebej pa na kmetijstvo in rastlinsko pridelavo (Kajfež-Bogataj in Bergant, 2003). Obstaja veliko raziskav, ki preučujejo vpliv podnebne spremenljivosti na kmetijsko pridelavo zaradi spremembe vodne bilance kmetijskih tal. Sprememba podnebja lahko pospeši hidrološki cikel, ki posredno vpliva na padavine, evapotranspiracijo, velikost in čas odtoka ter tako vpliva na intenzivnost poplav in suše (Gregorič in sod., 2004). Predvideni premik k višjim temperaturam in manjšim količinam padavin bo pomenil pogostejše sušne razmere (Kajfež-Bogataj, 2004). Zimske otoplitve so obdobja s pozitivnimi temperaturami zraka in so ena izmed vremenskih razmer, ki neugodno vpliva na prezimovanje kmetijskih rastlin (Sušnik, 2003b). V zadnjem času vse več podatkov kaže, da se vreme globalno spreminja. Ozračje se segreva, zato se zaradi nestabilne atmosfere vse pogostejše pojavljajo tako ujme kot sušna obdobja (Mihelič, 2007).

1.2 NAMEN NALOGE

Namen naloge je z analizami meteoroloških podatkov in vodnih primanjkljajev v Biljah v Vipavski dolini med leti 1963 in 2006 analizirati izbrano obdobje in preučiti trende temperature zraka, količine padavin ter vodnih primanjkljajev v tleh, ki dobro in v tleh, ki slabo zadržujejo vodo, ter tako predvideti, kako bodo v prihodnje omenjeni dejavniki vplivali na vodno bilanco tal v Biljah v Vipavski dolini.

1.3 DELOVNA HIPOTEZA

V nalogi smo postavili naslednje hipoteze. Povprečna temperatura zraka se v vegetacijski dobi povečuje. Vodni primanjkljaji se v tleh, ki dobro in v tleh, ki slabo zadržujejo vodo, v vegetacijski dobi povečujejo. Količina padavin se v vegetacijski dobi zmanjšuje.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ATMOSFERA

Atmosfera je plinski ovoj, ki obdaja naš planet. Plin, ki ga sestavlja, je zrak in je mešanica plinov, ki kemično ne reagirajo drug z drugim ter je precej stalne sestave do višine 25 km. V atmosferi imajo voda, ogljikov dioksid, ozon ter razne primesi zelo pomembno vlogo pri prenosih energije v zraku ter pri toplotni bilanci atmosfere in zemeljske površine. Njihove količine se v prostoru in času močno spreminjajo (Hočevar in Petkovšek, 1984). S sevanjem se v atmosferi prenašajo velike količine energije (Rakovec in Vrhovec, 2000). Zaradi energijskih tokov, razlik v ogrevanju površine zemlje med poloma in ekvatorjem ter zaradi rotacije zemlje je ozračje nenehno v gibanju.

Stanje atmosfere-temperaturo, vsebnost vlage, pritisk in tokove zraka navadno opišemo z vremenom in podnebjem (Parry in Carter, 1998). Vreme določa trenutno stanje atmosfere. Opredelimo ga lahko z vrednostmi številnih meteoroloških elementov (temperatura zraka, zračna vlaga, zračni tlak, izhlapevanje, količina padavin, smer in hitrost vetra, sončno obsevanje in drugo). Podnebje predstavljajo značilnosti vremena nad nekim geografskim območjem v daljšem časovnem obdobju (vsaj 30 let) skupaj s pogostnostjo ponavljanja tipičnih vremenskih stanj in s sezonskimi spremembami.

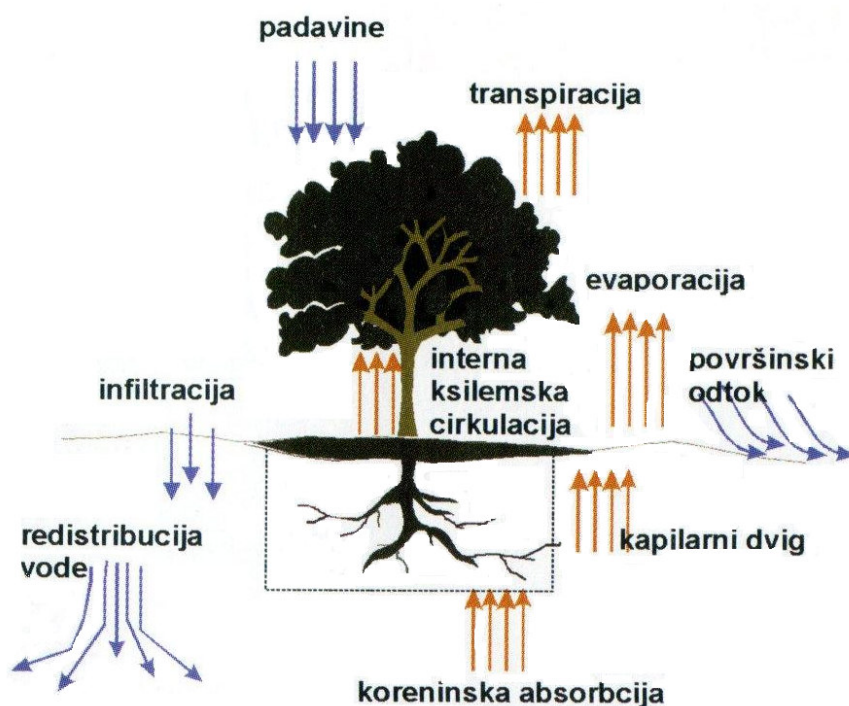
V naravi je v atmosferi do štiri volumnske odstotke vodne pare, vodnih kapljic in ledenih kristalov, ki sestavljajo oblake, v katerih lahko nastanejo padavine (Hočevar in Petkovšek, 1984). Zaradi energijskih sprememb voda v naravi nenehno kroži. S pojmom padavine združujemo vse vrste vode, ki padejo iz ozračja na zemeljsko površje. Poleg dežja sem spadajo še pršenje, sneg, toča, sodra, babje pšeno (Reynolds, 2004). Kljub temu, da je vode v atmosferi tako malo, je vsestransko pomembna, saj je večina pojavov, ki določajo vreme, povezana z njo. Pomembna je tudi za živi svet na kopnem, ki je odvisen od sladke vode - torej od padavin (Hočevar in Petkovšek, 1984).

2.2 RASTLINA

Voda je eden izmed najpomembnejših elementov v rastlinski celici: sestavlja 85 %-95 % rastlinskega telesa. Uporablja se za sintezo organskih spojin, je topilo in medij za mnoge pomembne kemijske reakcije ter sredstvo za črpanje in transport hranil. Voda sodeluje pri mnogih fizikalnih, kemičnih in bioloških spremembah v rastlini, uravnava toploto ter omogoča stalen turgor in s tem normalen potek fizioloških procesov ter mehansko stabilnost rastlini (Moore in sod., 1995; Klobučar in sod., 1982).

Voda v naravi nenehno kroži (Slika 1). Obdržati zadostno količino vode je eden glavnih izzivov kopenskih rastlin. Rastline se nenehno soočajo z nevarnostjo pomanjkanja vode zaradi izgube vode v atmosfero (Moore in sod., 1995). Porabo vode neke kulture določa evapotranspiracija. To je vsota dveh procesov, evaporacije ali izhlapevanje vode z golih tal, ki je fizikalni proces in transpiracije ali izgube vode preko listnih rež, ki je kombiniran biofizikalni proces, saj lahko rastlina delno kontrolira izgube vode preko rež (Taiz in Zeiger, 2002).

Gibanje vode po rastlini je fizikalen proces in ne potrebuje metabolične energije. Voda se giblje po rastlini pasivno zaradi razlike v potencialni energiji, ki se lahko opiše z vodnim potencialom. Z zmanjšanjem potencialne energije vode se zmanjša vodni potencial in obratno. Voda teži h gibanju v smeri proti nižjemu vodnemu potencialnemu gradientu, z višjega vodnega potenciala proti nižjemu (Moore in sod., 1995).



Slika 1: Sistem rastlina - tla - voda - atmosfera, ki določa vodno bilanco kmetijskih tal (Bellisario in sod., 1992).

Kot posledica transpiracije rastlina potrebuje nove zaloge vode. Absorpcija vode v rastlino preko korenin poteka na osnovi razlike v vodnem potencialu tal in korenine. Po ksilemu voda potuje do zgornjih delov rastline. Gonilna sila za tok vode po ksilemu je podtlak, ki nastaja zaradi izhlapevanja vode (Curtis in Barnes, 1994). Voda prehaja iz lista v atmosfero predvsem skozi listne reže. Mehanizem tega transporta je difuzija, osnova pa koncentracijski gradient vodne pare. Regulatorni dejavniki, ki uravnavajo zapiranje in odpiranje rež, so koncentracija CO_2 , svetloba, vodni potencial lista, zračna vlažnost, temperatura zraka, veter (Sinkovič, 2000).

Učinkovitost izrabe vode je definirana kot razmerje med količino vode, ki jo rastlina transpirira in količino fotosintetsko asimiliranega CO_2 . Fotosinteza in stomatalna transpiracija sta neizogibno povezani preko difuzijske poti CO_2 in vode skozi listne reže. Najboljši kompromis med porabo vode in sprejemom CO_2 je dosežen, ko so reže delno zaprte. Stomatalna prevodnost je pomemben dejavnik, ki nadzoruje izgubo vode iz listov. Zmanjšanje stomatalne prevodnosti z zapiranjem rež se uporablja kot kazalec odziva rastline na sušo.

Indeks listne površine (LAI, ang. Leaf Area Index) je definiran kot skupna enostranska površina zelenih listov na enoto površine tal ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$). Pri procesih, kot so prestrezanje

padavin, izhlapevanje, transpiracija, evapotranspiracija in kroženje energije, je indeks listne površine eden pomembnejših parametrov vegetacije (Raghavendra, 1991). LAI je uniformna in splošno uporabljena mera za oceno listne površine. Uporablja se v študijah prestrezanja svetlobe ter meritve transpiracije.

2.3 LASTNOSTI TAL

Tla so kompleksen sistem sestavljen iz heterogene mešanice trdnih, tekočih in plinastih snovi. Sestavine v trdnem stanju so mineralni in organski delci raznih velikosti, oblik in kemijske sestave, v tekočem stanju je talna raztopina – voda v tleh ter v njej raztopljene mineralne snovi in plini, v plinastem stanju pa je zrak v tleh. Tla imajo fizikalne, kemijske in biološke lastnosti. Na fizikalne in kemijske lastnosti tal vplivajo interakcije med osnovnimi lastnostmi tal, ki so tekstura, mineralna sestava, fizikalno – kemijske lastnosti glinenih mineralov in organsko snovjo (Ritzema, 1994). Osnovne lastnosti tal določajo klima, matična podlaga, topografija, delovanje živih organizmov, človeška aktivnost in fizikalni, kemijski ter biološki procesi v tleh (Čirić, 1984).

2.3.1 Tekstura

Mineralni del tal je sestavljen iz delcev različnih velikosti, ki vplivajo na kemične in fizikalne lastnosti tal. Tekstura tal je razmerje med frakcijo gline, melja in peska. Po velikosti delce razdelimo v dve glavni skupini mineralnih delcev – peščeno in meljasto ter glineno frakcijo. Mineralna sestava peščene in meljaste frakcije je določena glede na matično podlago ter stopnjo preperevanja tal. Ti delci so zelo prepustni, nepovezani, ne nabrekajo in se v suhem stanju razsipajo. Glinena frakcija vpliva na številne kemične in fizikalne lastnosti tal, kot so gibanje vode v tleh, zračnost, kationska izmenjalna kapaciteta tal. Glinasti delci so zelo plastični, v vodi močno nabrekajo, v suši pa se krčijo. Če so vlažni, se močno lepijo, suhi pa postanejo kompaktni in trdi. Zelo pomembna lastnost glinenih delcev je velika aktivna površina. Koloidni delci imajo površinsko napetost in imajo električni naboj, zato privlačijo iz svoje okolice ione (Klobučar in sod., 1982).

Tla opredelimo tudi glede na primernost za obdelavo. Tla, kjer prevladuje peščena frakcija, so označena kot lahka in peščena tla. Tla, kjer prevladujeta melj in glina pa so označena kot težka ali glinena tla. Pomen teksture tal je tudi v povezavi z ostalimi fizikalnimi lastnosti (konsistenca, obdelovalnost, vodno retenzijske lastnosti, prepustnost in rodovitnost). Znana tekstura talnih horizontov omogoča dobro oceno fizikalnih lastnosti in ostalih kmetijsko pomembnih lastnosti (Klobučar in sod., 1982).

2.3.2 Struktura

Talni delci so največkrat povezani med seboj v večje ali manjše skupke, sprimke, ki jih imenujemo strukturni agregati. So različnih oblik, velikosti in stopnje obstojnosti. Najpomembnejša značilnost strukturnih tal je, da lahko vpijajo vodo in jo zadržujejo (Klobučar in sod., 1982) ter tako pomembno vplivajo na vodno retenzijske lastnosti tal. Struktura tal in obstojnost strukturnih agregatov igrata pomembno vlogo pri procesih, kot so erozija, infiltracija, globina prodiranja korenin in zračnost tal.

2.3.3 Organska snov

Organsko snov v tleh sestavljajo živi organizmi ter odmrli rastlinski in živalski ostanki. Večino tal sestavlja anorganska snov, organske snovi je le redko več kot 10 %, ima pa velik vpliv na fizikalne in kemijske lastnosti tal. Povečuje stabilnost talnih agregatov ter s tem izboljšuje strukturo tal. Ima pomembno vlogo pri črpanju rastlinskih hranil iz mineralov. Humus, temna organska snov, ki je nastala s humifikacijo rastlin in živali, ima veliko sposobnost adsorpcije, saj je njegova kapaciteta za adsorpcijo kationov dvakrat do trikrat večja kot pri rudninskih koloidih (Klobučar in sod., 1982), to pa povečuje vodno retenzijske sposobnosti tal. Ustrezna količina organske snovi lahko pozitivno vpliva na rodovitnost tal.

2.3.4 Poroznost

Tla sestavljajo trdna, tekoča in plinasta komponenta. Med talnimi delci v agregatih in tudi med agregati samimi so pore, ki predstavljajo prazen prostor, katerega lahko zapolni tekoča ali plinasta komponenta. Razlikujemo lahko mikro in makro pore. Makropore so največkrat medagregatne praznine, ki primarno služijo kot infiltracijski in odcedni kanali za vodo in zrak. Mikropore so kapilare, odgovorne za zadrževanje vode v tleh (Klobučar in sod., 1982).

2.3.5 Zračnost tal

Talne pore, ki niso napolnjene z vodo, so napolnjene z zrakom. Zato se s spreminjanjem količine vode v tleh spreminja tudi količina zraka. Več je por v tleh, večja je njihova kapaciteta za zrak in obratno. Večjo kapaciteto za zrak imajo peščena tla, manjšo ilovnata, najmanjšo pa glinasta tla. Tla, katerih absolutna kapaciteta za zrak je manjša od 10 %, za večji del kmetijskih rastlin niso primerna (Klobučar in sod., 1982) in moramo na njih izvajati ukrepe, s katerimi tla obogatimo z zrakom. Vsebnost različnih plinov v tleh se razlikuje od atmosferskih vrednosti. Na to vplivajo specifične razmere tal ter stopnja biološke aktivnosti.

2.3.6 Toplotne lastnosti tal

Za rast in razvoj kmetijskih rastlin so zelo pomembne toplotne lastnosti tal. Toplotne lastnosti tal lahko opišemo z različnimi parametri: specifična toplota, kapaciteta tal za vodo in toplotna prevodnost tal (Preglednica 1). Toplotne lastnosti tal so odvisne od količinskega razmerja med fazami, od razmerja med trdno, tekočo in plinasto fazo. Najboljši toplotni prevodniki so trdni delci, potem voda, najslabši pa je zrak. Zato z vodo zasičena tla dosti hitreje prevajajo toploto kot suha tla (Klobučar in sod., 1982).

Če imajo tla veliko toplotno prevodnost, se temperatura na zemeljskem površju ponoči zniža znatno manj, kot če je toplotna prevodnost tal manjša. Mokra in vlažna tla se čez dan manj segrejejo, ponoči pa manj ohladijo kot lahka in suha tla, kjer je ravno obratno (Hočevar in Petkovšek, 1984).

S fiziološkega stališča imajo temperaturne razmere v tleh, ki so odraz toplotne prevodnosti in volumnske kapacitete tal, velik pomen, saj vplivajo na nekatere fiziološke procese v

rastlinah. Temperaturna nihanja so na zemeljskem površju večja, v globini pa manjša, poleg tega pa so tudi časovno premaknjena (pri koreninah je topleje ponoči, nad tlemi pa podnevi) (Hočevnar in Petkovšek, 1984).

Preglednica 1: Vrednosti toplotne prevodnosti za peščena tla, glinasta tla in šotna tla pri suhem stanju (a) in stanju, ko so pore nasičene z vodo (b) (Hočevnar in Petkovšek, 1984).

Toplotna prevodnost tal (W/mK)		
	a	b
Peščena tla	0,3	2,2
Glinasta tla	0,25	1,58
Šotna tla	0,06	0,5

2.4 VODA V TLEH

Prostor v tleh med agregati in med posameznimi delci v agregatih imenujemo volumen por ali pore, te pa zapolnjuje zrak ali voda. Razlikujemo dosegljivi volumen por, ki ga zrak ali voda lahko napolnita, medtem ko ostanejo tla v celoti nespremenjena in blokirani volumen por, ki ga lahko napolnimo z vodo ali ga izsušimo le tako, da pri tem uničimo agregate, kateri sestavljajo tla (Hočevnar in Petkovšek, 1984).

Za snovi v tekočem stanju v tleh uporabljamo posplošen izraz voda v tleh. Večina teh snovi je dejansko voda, ki pa vsebuje tudi razne raztopljene mineralne snovi in pline.

Količino vode v tleh opišemo s pojmom vsebnost vode v tleh. Vsebnost vode v tleh (1), izražena v masnih odstotkih (V_z), je definirana z razmerjem med maso vode v vzorcu tal (m_v) in maso suhega vzorca tal (m_s) (Hočevnar in Petkovšek, 1984; Kajfež-Bogataj in Črepinšek, 2006).

$$V_z = m_v / m_s \cdot 100 \quad \dots (1)$$

Vsebnost vode v tleh (2) lahko tudi prikažemo v volumskih odstotkih (V'_z), tako da V_z pomnožimo z razmerjem med volumsko težo tal (ρ_z) in volumsko težo vode (ρ_a)

$$V'_z = V_z \cdot \rho_z / \rho_a \quad \dots (2)$$

Poleg vsebnosti vode v tleh je vodni potencial tal najpomembnejša karakteristika tal. Vodni potencial je definiran kot razlika v potencialni energiji na enoto količine vode med vodo v tleh in referenčno vodo. Predstavlja mehansko delo, ki ga voda v tleh porabi za reverzibilni in izotermalni premik enote količine vode iz točke v tleh na referenčno točko. Gradient celotnega potenciala talne vode določi velikost gonilne sile, ki vpliva na vodo. Od vodnega potenciala je odvisna gibljivost vode v tleh in njena dostopnost za rastline (Stephens, 1995).

Na vodo v tleh delujejo številne sile. Težnostno polje Zemlje deluje vertikalno navzdol. Navzdol se voda pretaka skozi široke (nekapilarne) pore iz vrhnjih v nižje plasti tal in je odvisna predvsem od prepustnosti tal. Prepustnost tal za vodo nam pove, kako hitro se premika voda navzdol. Odvisna je predvsem od teksture tal. Najbolj prepusten je pesek, manj melj, najmanj pa glina (Klobučar in sod., 1982).

Polje sil, ki so posledica privlačnosti talnih delcev, vleče vodo v določeno smer. Teža vode in včasih dodatna teža talnih delcev, ki niso vezani v strukturo tal, pritiska na vodo pod seboj. Ioni, ki so raztopljeni v vodi, privlačijo vodne molekule in jih zadržujejo.

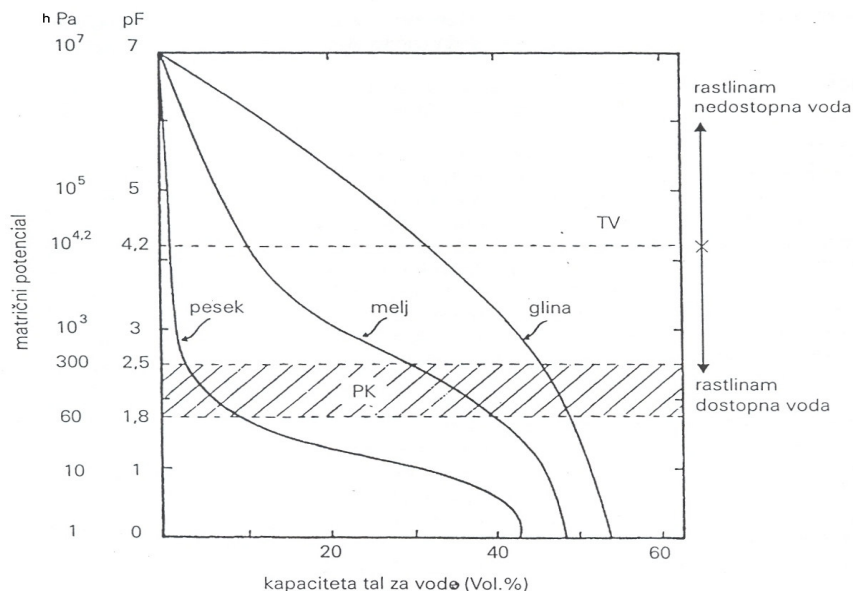
Vodo v tleh razlikujemo glede na to, kako močno je vezana na talne delce (Hočevnar in Petkovšek, 1984; Klobučar in sod., 1982).

- Vodni hlapi so v porah, v katerih ni tekoče vode, ampak zrak. Prosto se gibljejo od kraja z večjo proti kraju z manjšo napetostjo oz. iz toplejših plasti v hladnejše.
- Konstitucijska voda je kemično vezana v spojinah, npr. V $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in je negibna.
- Higroskopna voda je tanek ovoj vode na površini talnih delcev. Nanje je trdno vezana z molekularnimi silami, zato je prav tako negibna.
- Filmska voda je tanka plast vode nad higroskopsko vodo. Od nje se razlikuje po tem, da se giblje v obliki kapljične vode, a zelo počasi.
- Kapilarna voda se zaradi površinske napetosti nabira kot prevleka okoli talnih delcev, se zadržuje med njimi in se nabira v kapilarah.
- Gravitacijska voda je v nekapilarnih porah in se zaradi težnosti stalno premika iz višjih v nižje plasti. Zato je v teh porah le začasno, med dežjem, pozneje pa se nabira v globljih plasteh.
- Podtalnica se zbira v nižjih slojih tal tik nad neprepustno podlago. Gladina podtalnice predstavlja mejo med zasičeno in nenasičeno cono v poroznem prostoru.

Pomembna je sila površinske napetosti, ki se pojavlja na površini vode in je posledica kohezijskih sil med molekulami vode. Voda v kapilarah je zelo pomembna, saj predstavlja praktično edino kategorijo vode v tleh, ki je za rastlino dostopna (Hočevnar in Petkovšek, 1984). Ostale oblike vode v tleh so ali premočno vezane na talne delce ali pa prehitro odtečejo. Pojav kapilarnosti je posledica površinske napetosti, ki se pojavlja v tekočinah in dejstva, da voda omoči talne delce.

Pomembne lastnosti tal za vodo so desorpcijske karakteristike tal za vodo. Desorpcijske karakteristike tal za vodo uporabljamo za določitev koreninam rastlin dostopne vode v tleh za npr. namene namakanja, za določitev odcednih por (efektivna poroznost) ter za določitev odnosa med silo vezane talne vode in drugimi fizikalnimi lastnostmi tal npr. kapilarne prevodnosti, termične prevodnosti, vsebnosti gline in organske snovi. Desorpcijske lastnosti tal za vodo so lahko indikator spremenjenih lastnosti tal, nastalih zaradi npr. spremenjenega načina obdelave tal. Podatki o desorpcijskih lastnostih tal za vodo so poleg meteoroloških podatkov edina informacija za evidentiranje in zasledovanje ranljivosti posamezne parcele ali celotne regije za kmetijsko sušo. Na desorpcijske lastnosti tal odločilno vplivata tekstura in struktura tal (Kajfež-Bogataj in sod, 2005; Stephens, 1995).

Za vsak tip tal lahko določimo desorpcijsko oz. retenzijsko krivuljo (Slika 2), ki pove, kakšna je zveza med matričnim potencialom in vsebnostjo vode, kadar je voda v tleh v ravnovesju. Potek ali oblika krivulje je odvisna od teksture, strukture tal in od tega ali se tla vlažijo ali sušijo. Krivulja nam pove s kolikšno silo je voda vezana na talne delce (Suhadolc in sod., 2005).



Slika 2: Desorpcijska krivulja za tri teksturne tipe tal (pesek-melj-glina) (Schachtschabel in sod., 1976).

Tla lahko zadržijo različno količino vode. To lastnost opišemo s kapaciteto tal za vodo. Razlikujemo maksimalno, absolutno ali retenzijsko in poljsko kapaciteto (Klobučar in sod., 1982). Maksimalna kapaciteta tal za vodo je največja količina vode, ki jo tla lahko sprejmejo, če se z njo napolnijo vse pore. Absolutna kapaciteta tal za vodo je količina vode, ki jo do maksimalne kapacitete zasičena tla obdržijo po 24 urah. Ko so tla zasičena do absolutne kapacitete, so vse kapilarne pore polne vode, nekapilarne pa zraka. Poljska kapaciteta tal (PK) za vodo je količina vode, ki jo tla s svojimi notranjimi silami v naravnih razmerah obdržijo daljši čas po obilnem namakanju. To je tista vsebnost vode, ki se v tleh zadrži potem, ko so bila tla nasičena in je gravitacijska voda odtekla. Poljska kapaciteta je vsebnost vode v tleh, ko so le ta dobro preskrbljena z vodo in rastlina neovirano črpa vodo iz tal (Taiz in Zeiger, 2002).

Trenutna voda v tleh je količina vode med količino higroskopne vode in poljsko vodno kapaciteto za tla, na katerih izvajamo meritve. Poleg trenutne vode v tleh sta pomembni še dve hidro-pedološki komponenti: točka venenja in fiziološko aktivna voda. Točka venenja (TV) je najnižji vodni potencial pri katerem rastlina še lahko črpa vodo iz tal. Tej količini vode ustreza meja, do katere lahko talni delci zadržujejo enako količino vode, kolikor je korenine lahko vsesajo. Vsa voda, ki je pod to mejo, je fiziološko inertna (mrtva) voda, vsa voda, ki je nad točko venenja, pa je za rastline koristna, torej fiziološko aktivna voda. Rastlinam razpoložljiva voda je torej med poljsko kapaciteto in točko venenja. Točka venenja se spreminja glede na rastlino in tip tal (Klobučar in sod., 1982; Taiz in Zeiger, 2002).

2.5 VODNA BILANCA TAL

Vodna bilanca tal je ocena vseh dotokov, odtokov ter komponent skladiščenja vode v mejah območja tal, katerega definiramo (Ritzema, 1994). Globino tal, za katero izračunavamo vodno bilanco, si izberemo in določimo poljubno glede na namen raziskave. Z vodno bilanco izrazimo katerokoli spremembo, ki se zgodi v vsebnosti vode v danem volumnu tal v določenem času kot razliko med količino vode, ki je bila v tla dodana ter količino vode, ki je bila iz istih tal odvzeta.

Za kmetijsko pridelavo je pomembna vodna bilanca nenasičene cone v prerezu od površine tal do globine korenin, v prerezu do globine koreninskega spleta. Nenasičena cona ali vadozna cona je definirana kot območje med površino tal in gladine pripadle podtalnice. Vodno bilanco lahko izračunamo za katerikoli podsistem hidrološkega kroga, za katerokoli velikost območja ter za katerikoli izbran časovni interval. Izračun služi lahko za oceno enega izmed neznanih členov enačbe vodne bilance, pod pogojem, da so druge komponente znane z zadostno natančnostjo.

Vodna bilanca je vezana na krogotok vode v naravi in nam pove, da je količina padavin (KP) enaka vsoti količine odtoka (Q) in izhlapele vode (I), kakor tudi spremembe količine vodne zaloge (N) in biološke ter industrijske porabe (R). To lahko zapišemo v obliki enačbe (3) vodne bilance (Pristov in Kolbezn, 1998):

$$KP = Q + I + N + R \quad \dots (3)$$

Za potrebe namakanja kmetijskih zemljišč Matičič in sod. (1995) v študijah evapotranspiracije obravnava vodno bilanco tal z upoštevanjem vseh dejavnikov, ki nanjo vplivajo. To so klimatski dejavniki, lastnosti tal in fenološki dejavniki. Vodno bilanco zapišejo v obliki (4):

$$\pm \Delta VB = (KP + K_{\alpha} + K_o) - (ET_p + R + W_g) \quad \dots (4)$$

kjer so ΔVB sprememba vodne bilance, KP količina padavin, K_{α} kapilarni dvig vode, K_o kondenzirana voda, R višina površinskega odtoka, ET_p evapotranspiracija ter W_g gravitacijsko odcedna voda.

Vodno bilanco tal lahko tudi opišemo s formulo (5) (Črepinšek, 2008):

$$KP + ET + O + \Delta Z = 0 \quad \dots (5)$$

kjer so KP količina padavin, ET evapotranspiracija, O površinski in talni odtoki ali pritoki in ΔZ sprememba zaloge vode v tleh.

Vodni cikel z vidika rastlin v območju korenin lahko opišemo tudi s formulo (6):

$$\Delta VK = KP + Nk + K_{\alpha} \pm O - T - E - OK \quad \dots (6)$$

kjer je ΔVK vsebnost vode v območju korenin, KP količina padavin, Nk namakanje, K_{α} kapilarni dvig vode, O površinski odtok vode (lahko tudi dotok v primeru poplav), T transpiracija, E evaporacija, OK odtok vode iz območja korenin.

2.5.1 Členi vodne bilance

Z vidika vodne bilance tal lahko razdelimo vodo v tleh na dva dela. Prvi del so pritoki, to je voda, ki priteče v tla in tu ostane krajši ali daljši čas, drugi del so odtoki ali izgube, to je voda, ki odteče ali izhlapi iz tal. Z vidika kmetijske pridelave je predvsem pomemben prvi del, torej voda, ki se zadrži v tleh.

2.5.1.1 Pritoki

Med pritoke vode v tla štejemo padavine, namakanje kot agrotehnični ukrep, v manjši meri pa je lahko to tudi površinski dotok.

Padavine definiramo kot vodo v tekočem ali trdnem stanju, ki pade na zemeljsko površje ali se na njem kondenzira. Tiste padavine, ki padejo na zemeljsko površje iz oblakov, imenujemo padavine slabega vremena, tiste, ki nastanejo na zemeljskem površju takrat, kadar je to znatno hladnejše od zraka, pa padavine lepega vremena (Hočevnar in Petkovšek, 1984). Namakanje je umetno dodajanje vode, kadar jo v času vegetacije v tleh primanjkuje, z namenom, da zagotovimo optimalno rast in razvoj gojenih rastlin (Pintar, 2003a). Površinski dotok je lahko tisti del vode, ki prispe na površje zemlje (npr. poplava) in ne odteče površinsko ali podpovršinsko v mrežo vodotokov temveč se infiltrira v tla.

Za rastline je pomembno, da se voda, ki prispe na površje tal, infiltrira v tla, saj je le tako možno, da se tam zadrži in je nato v določeni meri razpoložljiva koreninam rastlin, ki to vodo črpajo. Infiltracija je vstop vode v tla preko površja tal in je ključni člen v hidrološkem krogu. Infiltracije je odvisna od časa nastopa, količine in intenzivnosti dežja ali namakanja, predhodne založenosti tal z vodo, lastnosti tal (stanja površja tal ter profila tal in plasti v talnem profilu) ter hidravlične prevodnosti.

Hidrološko gledano proces infiltracije loči padavine ali namakanje na dva dela. Del padavin ostane shranjen kot zaloga vode v tleh, kjer je na razpolago koreninam rastlin, preostali del pa tvori površinski ali globinski odtok in je z vidika rastlin nepomemben.

Infiltracija pri namakanju je enaka kot pri dežju, vendar jo lahko z ustreznimi ukrepi nadzorujemo.

Za zadrževanje vode v tleh je pomemben kapilarni dvig, ki opisuje dvig vode v tleh iz proste vodne površine (podtalnice). Kapilare se zaradi adhezije, to je zaradi privlačenja molekul vode iz talnih delcev, polnijo z vodo in v njih nastane meniskus, ki s silo površinske napetosti vleče vodo po kapilarah navzgor. Višina kapilarnega vzpona je obratno sorazmerna s premerom kapilarne cevi (Klobučar in sod., 1982). V predelu s plitvim nivojem podtalnice se kapilarni dvig raztegne do območja korenin. Razvije se vertikalni tok vode v nenasičeno cono. Stopnja kapilarnega dviga se zmanjša z oddaljenostjo oz. globino gladine podtalnice.

2.5.1.2 Izgube

Med izgube vode v tleh prištevamo vodo, ki zapusti tla, in sicer kot površinski odtok, globinski odtok ali evapotranspiracija. Med izgube vode lahko štejemo tudi vodo, ki se veže v tleh na talne delce in je zaradi tega rastlinam nedostopna.

Površinski odtok imenujemo tisti del vode, ki prispe na površje tal in se ne zadrži na rastlinah ali v tleh in ne izhlapi temveč odteče površinsko.

Globinski odtok imenujemo tisti del vode, ki prispe na površje tal, nato pa odteče podpovršinsko v mrežo vodotokov. Predstavlja izgubo vode iz območja korenin, hkrati pa pomeni tudi migracijo vode navzdol in s tem bogatenje podtalnice. Globinski odtok predstavlja gravitacijska voda.

Od padavin, ki pridejo na zemeljsko površje, jih okoli 60 % izhlapi nazaj v atmosfero. Del te vode se transpirira preko rastlin.

Pomemben člen vodne bilance je evapotranspiracija (ET). To je pojav prehoda tekoče vode s površja Zemlje v atmosfero. Pojav je sestavljen iz dveh procesov: evaporacije (E) ali izhlapevanja in transpiracije (TR). Evaporacija je prehajanje vode v obliki vodne pare z vodne površine ali zemeljskega površja v atmosfero, transpiracija pa je prehajanje vode v obliki vodne pare skozi listne reže rastlin v ozračje (Brilly in Šraj, 2000). Transpiracija je fiziološki proces, pri katerem rastlina s koreninskim sistemom črpa vodo iz zemlje, jo uporabi v metaboličnem procesu in jo potem skozi listne reže izpusti v atmosfero.

Evaporacija je odvisna od temperature zraka, relativne vlage, temperature površine od koder voda izhlapeva, vetrovnih razmer, sončnega obsevanja ter razpoložljive vode. Transpiracija pa je odvisna tudi od lastnosti rastlin.

Evaporacija in transpiracija potekata simultano. Poleg dostopnosti vode v zgornjem površinskem delu tal, je evaporacija poraščenih tal v veliki meri določena s frakcijo radiacije, ki doseže talno površino. Ta delež se spreminja med rastno sezono, ko se razvija rastlina in pokriva vse večji delež tal. Ko je rastlina majhna, je vse večji delež vode izgubljen z evaporacijo tal, ko pa se rastlina razvije in popolnoma prekrije tla, postane transpiracija glavni proces (Sušnik, 2003a).

Evapotranspiracijo lahko določimo s pomočjo vodne bilance tal, s pomočjo energijske bilance tal ter s kombinirano metodo, ki vključuje energijsko bilanco ter toplotni in masni pretok (Riztema, 1994).

Poznamo potencialno evapotranspiracijo (ET_p), ki je evapotranspiracija v primeru zadostne zaloge vode v tleh za izbrano rastlino. Dejanska evapotranspiracija (ET) je evapotranspiracija v primeru omejene zaloge vode v tleh. Meritve dejanske ET so zapletene, saj tako merjenje evaporacije tal kot transpiracije poljščin zahteva posebne merilne tehnike. Referenčna evapotranspiracija (ET_o) je evapotranspiracija v primeru zadostne zaloge vode v tleh za nizko pokošeno travo. V izogib težavam pri določanju enotnih parametrov evaporacije za vsako rastlino in razvojno fazo je bil definiran koncept referenčne evaporacije. Evapotranspiracijska stopnja različnih rastlin je z rastlinskimi

koeficienti povezana (8) z evaporacijsko stopnjo referenčne površin (ET_o) (Sušnik, 2003a). Privzeta referenčna površina (določena pri FAO) je aktivno rastoča trava, ki popolnoma prekriva tla in je zadostno preskrbljena z vodo, ima višino 0,12 m, površinsko upornost 70 s/m in albedo 0,23 (ARSO, 2006).

Za izračun referenčne evapotranspiracije ET_o se uporablja Penman-Monteithovo enačbo. Ekspertna skupina FAO (Food and Agriculture Organization; Svetovna organizacija za prehrano in kmetijstvo) je izdala priporočilo uporabe Penman-Monteithove kombinirane metode kot novega standarda za referenčno evapotranspiracijo in izdala priporočila za izračun različnih parametrov. Z uporabo referenčne rastline kot hipotetične rastline z ocenjenimi lastnostmi, je bila razvita FAO Penman-Monteithova metoda. Ta metoda je izbrana kot metoda, s katero je evapotranspiracija referenčne površine (ET_o) nedvoumno definirana in daje konsistentne rezultate ET_o ter je priporočena kot edina standardna metoda za izračunavanje ET_o, saj je metoda uporabna z veliko verjetnostjo natančne napovedi ET_o za širši rang lokacij in klimatov ter ima uporabno vrednost tudi pri aplikacijah v situacijah s pomanjkanjem podatkov (Sušnik, 2003a; Allen in sod., 1998).

Za izračun ET_o potrebujemo minimalno in maksimalno dnevno temperaturo zraka, povprečno dnevno hitrost vetra in relativno zračno vlago ter dejansko trajanje sončnega sevanja (Sušnik in sod., 2003b).

Penman-Monteithova enačba (7) (Allen in sod., 1998):

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad \dots (7)$$

kjer je R_n neto sevanje, G je toplotni tok tal-kondukcija, (e_s - e_a) predstavlja deficit parnega pritiska v zraku, ρ_a je povprečna gostota vodne pare pri konstantnem pritisku, c_p je specifična toplota zraka, Δ predstavlja naklon saturacijske točke parnega pritiska in temperature, γ je psihrometrična konstanta, r_s in r_a sta površinska in aerodinamična upornost.

Dnevna referenčna evapotranspiracija (ET_o), izračunana po Penman-Monteithovi metodi, služi kot vhodni podatek za računalniški simulacijski model IRRFIB (Sušnik in sod., 2003b).

Za izračun potreb po vodi določene rastline se lahko uporabi vrednost referenčne evapotranspiracije (ET_o) ter koeficient rastline (k_c).

$$ET_p = k_c \cdot ET_o \quad \dots (8)$$

Koeficient rastline nam pove, kolikšen je popravek za izbrano rastlino napram referenčni rastlini (12 cm visoka z vodo optimalno oskrbljena trava) (Pintar, 2003a; Allen in sod., 1998). K_c je faktor rastline, ki je za posamezne rastline v posamezni razvojni faz različen (Pintar, 2003a). Koeficient rastline predstavlja razmerje med potencialno

evapotranspiracijo (ET_p) in referenčno evapotranspiracijo ET_o (Sušnik, 2006). Predstavlja vpliv štirih glavnih lastnosti, po katerih se preučevana rastlina razlikuje od referenčne evapotranspiracije, kot so višina rastline, albedo, površinska upornost in evaporacija iz tal. Vplivi vremenskih razmer so v večji meri vključeni v oceno ET_o . Tako kot se ET_o spreminja z meteorološkimi spremenljivkami, se K_c spreminja glede na lastnosti rastline. K_c je odvisen od tipa rastline, razvojne faze rastline in podnebja v določeni geografski regiji. FAO metoda predstavlja K_c z linijami, ki povezujejo štiri glavna obdobja razvoja rastline: začetek rasti, hitra rast, sredina sezone, pozna sezona. Za obdobje hitre rasti in sredine sezone metoda predpostavlja, da se koeficienti spreminjajo linearno s časom (Sušnik, 2006).

2.5.2 Spremembe vodne bilance tal

Količina vode v tleh se s časom nenehno spreminja. Na to vplivajo tako naravni procesi kot tudi ukrepi človeka. Z namakanjem kot agrotehničnem ukrepom si zagotavljamo, da so kmetijske rastline kar se da optimalno založene z vodo. Na vsebnost vode v tleh pa vse bolj vplivajo spremenljive vremenske razmere, ki so tudi posledica klimatskih sprememb.

2.5.2.1 Namakanje

Vodna bilanca tal, ki velja v trenutnih naravnih razmerah se lahko spremeni zaradi namakanja. Namakanje kmetijskih rastlin je ukrep, s katerim z dodajanjem vode v času suše zagotavljamo količinsko in kakovostno primeren pridelek. Z namakanjem dosežemo intenzifikacijo kmetijske pridelave, pestrejši izbor sort ter kvalitetnejši in obilnejši pridelek (Čuden Osredkar in Pintar, 2003). Količina dodane vode je odvisna od rastline ter od podnebnih in talnih razmer. Sušne razmere določene lokacije so posledica vpliva številnih procesov, med glavne štejemo padavine, evapotranspiracijo in lastnosti tal.

Namakanje je ukrep, ki omogoča visoko intenzivno kmetijsko pridelavo. V bolj sušnih podnebnih razmerah je namakanje nujno potreben ukrep za kakršnokoli rastlinsko proizvodnjo. V naših podnebnih razmerah, kjer pade relativno veliko dežja, ki je preko rastne sezone neenakomerno razporejen, je namakanje dopolnilni ukrep, ki omogoča količinsko in kakovostno stabilno rastlinsko pridelavo (Pintar, 2003b).

2.5.2.2 Klimatske spremembe

Poleg naravnih dejavnikov dobiva antropogen vpliv na klimo daljnoročne globalne razsežnosti. Energijska bilanca Zemlje se spreminja tudi zaradi človeških aktivnosti, ki spreminjajo transmisijske lastnosti atmosfere. Spremenjeno sestavo atmosfere povzročajo kurjenje fosilnih goriv, promet, emisije tovarn, kmetijstvo in drugo. Človek ob tem tudi spreminja rabo tal in s tem fizikalne lastnosti površja. Meritve meteoroloških spremenljivk v zadnjih 50 do 100 letih že kažejo na spremembe nekaterih klimatskih značilnosti. Povprečna globalna temperatura na zemeljskem površju se je v 20. stoletju zvišala za 0.6 ± 0.2 °C (Kajfež-Bogataj, 2001).

Klimatski modeli napovedujejo, da se bo povprečna temperatura na zemeljskem površju v prihodnjih 100 letih dvignila za 1,5 do 6 °C, pri čemer bo ogrevanje izrazitejše pozimi in v

severnih geografskih širinah. Količina globalnih padavin naj bi se povečala, a ne v vseh regijah. Dolgoročne klimatske napovedi so še nezanesljive, še zlasti bodoči scenariji podnebja v regionalni prostorski skali (Kajfež-Bogataj, 2001).

V Sloveniji se je povprečna temperatura zraka v zadnjih 50 letih dvignila za $1 \pm 0,6$ °C, bistvenih sprememb v skupni letni količini padavin pa ni. Ogrevanje je največje pozimi in pomladi, kar se odraža tudi v zmanjšanem številu dni s snežno odejo, zgodnejšem razvoju rastlin ipd (Kajfež-Bogataj, 2003a).

Zaenkrat dajejo klimatski modeli različne ocene za velikost pričakovanih klimatskih sprememb v Sloveniji. Vsem ocenam je skupen porast temperature zraka, poleti in pozimi, ter nekoliko povečana količina padavin pozimi. Glede ocene količine padavin poleti se ocene razlikujejo. Možno je, da se bo ta zmanjšala tudi do 15 % (Kajfež-Bogataj, 2003b). Poleg omenjenih sprememb svetovna meteorološka organizacija opozarja, da v povezavi s podnebnimi spremembami pričakujemo pogostejše in intenzivnejše ekstremne dogodke (Cegnar, 2003).

Posledice klimatskih sprememb se bodo odrazile na vsebnosti vode v tleh. Vsebnost vode se hitro odzove na variabilnost količine in porazdelitve padavin ali dodatno namakanje (Sušnik in sod., 2003b). Zelo verjetno je, da bodo klimatske spremembe vplivale na vodne vire ter na potrebe po namakanju. Vplivi na potrebe po namakanju so še dokaj neraziskani zaradi negotovosti, ki so posledica nejasnih predvidevanj o porazdelitvi padavin (Bouwer, 2002).

2.5.2.3 Suša

Suša je kombinacija meteoroloških, fizičnih in človeških dejavnikov. Osnoven vzrok suše je pomanjkanje padavin, še posebno dolžina obdobja brez padavin, porazdelitev in intenzivnost primanjkljaja padavin v povezavi z obstoječo zalogo ter porabo vode. Temperatura in evapotranspiracija v kombinaciji s padavinami vplivata na jakost in trajanje pojava. Dodatni fizični dejavniki, ki vplivajo na pojav suše, so stopnja naravne zaloge vode (zaloge v tleh, rekah, jezerih, zadrževalnikih, mokriščih) ter socialnoekonomski dejavniki, ki spremljajo porabo vode (sprememba v populaciji, življenjski standard) (Sušnik in sod., 2003b).

Suša je normalen, ponavljajoč pojav. Večkrat jo zmotno pojmuje kot redek in naključen pojav. Pojavlja se v vseh podnebnih pasovih, njene lastnosti se razlikujejo iz regije v regijo. Suša je začasen odklon od povprečnih razmer (Wilhite, 2003). Obstaja veliko število definicij suše, ki izhajajo iz analiz pomanjkanja padavin v daljšem časovnem obdobju. Na splošno je suša opisana kot zmanjšanje dostopne vode v določenem obdobju na določenem območju. Suša se ocenjuje na osnovi relativnega odnosa dejanskih razmer v povezavi z dolgoletnimi povprečnimi razmerami vodne bilance (padavine in evapotranspiracije) na določenem območju, ki jih opisujemo kot »normalne«. Sušne razmere nam opisuje kombinacija meteoroloških dejavnikov, večinoma padavin in temperature. Stopnja suše je odvisna od časa trajanja in od intenzitete. Ostali dejavniki, kot so visoka temperatura, močni vetrovi, nizka relativna vlaga, večinoma stanje še poslabšajo (Sušnik in sod., 2003b).

Wilhite in Glantz (1985) sta kategorizirala definicije suše po štirih bazičnih vidikih merjenja suše: meteorološki, hidrološki, kmetijski in socialnoekonomski. Meteorološki vpliv opisuje podaljšano obdobje s pomanjkanjem padavin in je pogosto definiran kot zmanjšanje števila dni s padavinami v primerjavi z izbranim (»normalnim«) referenčnim obdobjem. Hidrološki vpliv je, ko pomanjkanje padavin zmanjša količino vode v rekah, jezerih in zniža nivo podtalne vode. Hidrološka suša se pojavlja še kasneje kot meteorološka in kmetijska, saj traja dalj časa, da se pomanjkanje padavin pokaže tudi v komponentah hidrološkega sistema, ko je voda v tleh, vodotokih, podtalnih virih. Voda v hidroloških zalogah npr. rekah, jezerih je pogosto uporabljena za številne druge konkurenčne namene npr. namakanje. Kmetijski vpliv predstavlja nezadostno količino vode v tleh, ki jo kmetijske rastline potrebujejo za normalen razvoj. Predstavlja kombinacijo meteorološke in hidrološke suše. Kadar nastopi v času intenzivne rasti in razvoja kmetijskih rastlin, t.j. v kritičnih fenoloških obdobjih, je pridelek zmanjšan ali pa celo popolnoma uničen (Sušnik in sod., 2003b).

2.6 RAČUNALNIŠKO SIMULACIJSKI MODELI

Na področju agrometeorologije so tehnike modeliranja omogočile doseči pomembne rezultate pri integraciji znanj o poznavanju sistema rastlina-okolje. Številni modeli in metode nam omogočajo analizo razmerij med vremenskimi spremenljivkami, biotskimi in abiotskimi dejavniki. Izboljšujejo nam razumevanje zapletenih sistemov ter predstavljajo primerno orodje ciljnemu uporabniku pri vodenju pridelave. V skupini modelov rastlina-pridelek-vreme je podskupina modelov, ki simulirajo medsebojne povezave med rastlinami in okoljem, ki temeljijo na kemičnih, fizikalnih, bioloških zakonih in so uporabno raziskovalno orodje pri proučevanju odziva rastline na parametre okolja (Sušnik in sod., 2003a).

Velik pomen imajo simulacijski modeli tudi pri namakanju. Namakalni modeli na različne načine simulirajo medsebojno povezavo procesov v sistemu atmosfera-tla-voda-rastlina. Funkcija modelov je z vodnobilančnimi izračuni oceniti rastlinam potrebno in dostopno vodo v tleh. Modeli za namakanje omogočajo vodenje optimalne preskrbe z vodo, saj je kmetijska pridelava v veliki meri pogojena z vodno oskrbo. Različni modeli zahtevajo različne vhodne podatke in postopke obdelave od zelo enostavnih do zelo kompleksnih. Razvoj modelov je zapleten interdisciplinarni proces. V Evropi je trenutno na voljo skupina namakalnih modelov, ki uporabljajo različne metode za izračun evapotranspiracije (Sušnik in sod., 2003a).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 METEOROLOŠKI PODATKI

Meteorološke meritve in opazovanja so osnova za spremljanje, razumevanje in predvidevanje razvoja vremena ter za vse klimatske analize (Sušnik in sod., 2003b). Za analizo podatkov in trendov smo uporabili meteorološke podatke v vegetacijskem obdobju za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini (Slika 4, 5 in 6). Svetovna meteorološka organizacija je potrdila obdobje 1961 - 1990 kot referenčno dobo za klimatološke študije, mi pa smo obdobje razširili in sicer od leta 1963 do 2006. Podatke za analize smo dobili na ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje). Uporabili smo podatke o dnevni povprečni temperaturi zraka in dnevni količini padavin.

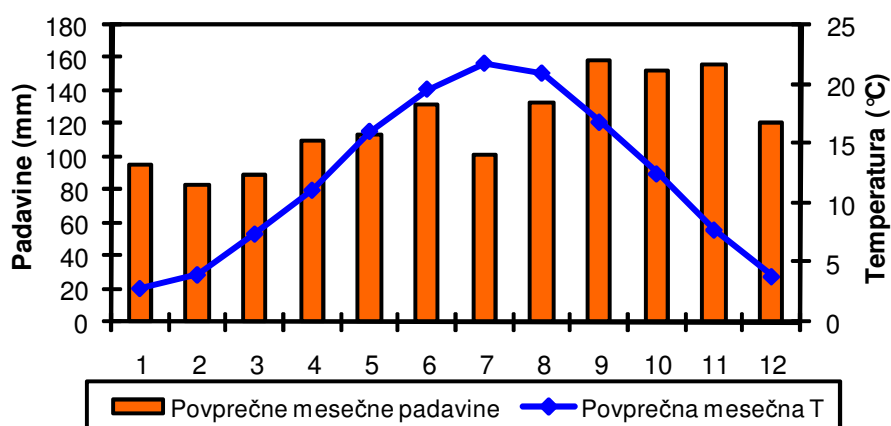
Dnevna povprečna temperatura zraka (T_d) je bila dobljena z meritvami temperature trikrat dnevno (ob 7h, 14h in 21h) in z izračunom po formuli (9):

$$T_d = 1/4(T_7 + T_{14} + 2T_{21}) \quad \dots (9)$$

Količino padavin so izmerili s ombrometrom (v mm).

Meteorološka postaja Bilje, z nadmorsko višino 55 m, zemljepisno širino $45^\circ 54'$ ter zemljepisno dolžino $13^\circ 38'$, se nahaja v kraju Bilje južno od Nove Gorice v Vipavski dolini v JZ delu Slovenije.

Vas Bilje (Slika 4, 5 in 6) leži med Biljenskimi griči na severu in reko Vipavo na jugu blizu Nove Gorice v Vipavski dolini. Glede na podnebne pasove, ki se prepletajo na območju Slovenije (Ogrin in sod, 1998), sodijo Bilje (Slika 3), pravzaprav celotna Vipavska dolina, v zaledni podtip submediteranskega podnebja, katerega značilnosti so povprečne temperature zraka v najhladnejšem mesecu med 0 in 4°C ter v najtoplejšem mesecu med 20 in 22°C in povprečna letna količina padavin med 1200 mm in 1700 mm.



Slika 3: Povprečne mesečne padavine (mm) in povprečna mesečna temperatura ($^\circ\text{C}$) med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Bilje v Vipavski dolini ima vlažno zmerno toplo klimo z enakomerno porazdeljenimi padavinami preko celega leta. Pojavljata se dva maksimuma, prvi je poleti v mesecu juniju, drugi je v jesenskih mesecih.

Primarni maksimum padavin v Biljah je v jesenskem času, ko so naši kraji pogosto pod vplivom sredozemskih ciklonov, ki z jugozahodnimi vetrovi prinašajo topel in vlažen zrak. Sekundarni maksimum, ki ustreza poletnim nevihtam in odraža kontinentalni vpliv na submediteransko podnebje, lahko zasledimo v mesecu juniju. Najmanj padavin v Biljah zabeležimo v mesecu februarju.



Slika 4 in 5: Kraj Bilje pri Novi Gorici v Vipavski dolini (Bilje.si, 2007).



Slika 6: Meteorološka postaja Bilje v Vipavski dolini v JZ delu Slovenije (ARSO, 2007)

3.2 PODATKI O TLEH

3.2.1 Matična podlaga v Vipavski dolini

Po geološki karti merila 1:100 000 list Gorica leži Vipavska dolina na avtohtonem ozemlju Goriško - Vipavskega sinklinorija. Na južnem delu jo obdaja Tržaško - Komenska planota, na vzhodnem Nanos, na severnem robu Idrijsko ozemlje in Trnovski gozd (Dimitrijevič in sod., 1973). V ravninskem delu se izmenjujeta fliš in aluvijalni nanosi rek in potokov. Na flišni podlagi so razviti laporji in peščenjaki, pojavljajo se apnene breče, konglomerati in

apnenci. Vložki breč, konglomerata in apnenčevega peščenjaka na flišu se pojavljajo predvsem v osrednji Vipavski dolini. Na flišu razviti laporji in peščenjaki so razviti v zgornji in spodnji Vipavski dolini. Aluvij se pojavlja ob reki Vipavi na njenih pritokih Močilnik, Hubelj, Branica in Lijak. Na severnem robu se nad narivom pojavlja apnenčasti grušč ponekod sprijet s brečo.

3.2.2 Tla v Vipavski dolini

Tla v Vipavski dolini so razvrščena v dva oddelka: avtomorfna tla in hidromorfna tla. V oddelku avtomorfnih tal uvrščamo tla, ki so nastala pod vplivom padavinske vode, ki skozi profil tal prosto in brez daljšega zadrževanja gravitacijsko odteče. V oddelku hidromorfnih tal pa so uvrščena tla, v katerih padavinska voda zastaja ali je prisotna podtalnica (talna voda), včasih tudi do površine tal (Buser, 1973; Dimitrijevič in sod., 1973).

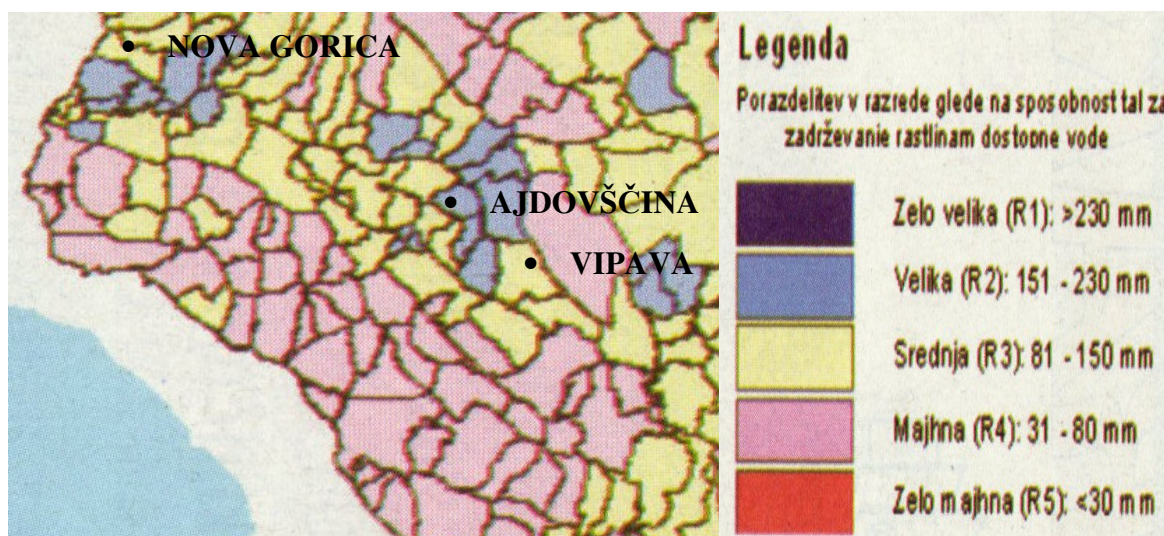
Neposredno ob reki Vipavi so evtrična rjava tla na aluvijalno-deluvijalnem nanosu, srednje globoka in globoka, ki pokrivajo 30 % površja ozemlja. Po teksturi podobna, vendar nastala z drugačnimi pedogenetskimi procesi so evtrična rjava tla na aluvijalno - deluvijalnem nanosu, srednje globoko psevdoglejna in obsegajo 15 % območja. Zelo intenzivno obdelana so rjava obrečna tla, meljasto ilovnata, globoka tla.

Poleg prodnatih nanosov Soče v spodnji Vipavski dolini zelo pogosto srečujemo tudi talne oblike z ostrorobim gruščem, ki so ga nanosili hudourniki (Hubelj, ipd.) ali pa reliktni plazovi s Trnovske planote (Črniče). Tu so se razvile zelo plitve in skeletne talne oblike, kot so evtrična rjava tla na pobočnem grušču, plitva ter rjava rendzina na pobočnem grušču. Obe enoti se prostorsko prepletata in tvorita eno pedokartografsko enoto in obsegata 10 % površja.

Zasledimo tudi različne oblike hidromorfnih tal, od hipo do amfiglejev do ostalih oglejnih oblik, ki obsegajo 15 % površja tal. V letih 1980-1990 so se na teh zemljiščih izvajali intenzivni hidromelioracijski ukrepi, ki so avtohtone hidromorfne talne oblike spremenili v meliorirane talne oblike. Spremenila se je predvsem hidrologija tal in z njo povezani pedogenetski procesi (Dimitrijevič in sod., 1973).

Glede na desorpcijske značilnosti tal za vodo delimo tla na območju Vipavske doline v pet kategorij (Kajfež - Bogataj in sod, 2005) (PRILOGA). Tla z zelo veliko kapaciteto (EPK > 300mm; 0 ha), tla z veliko kapaciteto (EPK 200 - 300 mm; 2841 ha), tla z srednjo kapaciteto (EPK 120 - 200 mm; 7230 ha), tla z majhno kapaciteto (EPK 60 -120 mm; 6961 ha) ter tla z zelo majhno kapaciteto (EPK < 60 mm; 2837 ha).

Na Centru za pedologijo in varstvo okolja na Univerzi v Ljubljani so izdelali karto občutljivosti tal za sušo (Slika 7).



Slika 7: Porazdelitev v razrede glede na sposobnost tal za zadrževanje rastlinam dostopne vode v Vipavski dolini (Zupan, 2007).

Za izračun hidroloških lastnosti tal in kapacitete tal za rastlinam dostopno vodo so uporabili podatke digitalne pedološke karte Slovenije v merilu 1 : 25 000; talni tip, globino tal, teksturo tal, delež organske snovi v tleh. Na osnovi izbranih pedoloških parametrov so izračunali celotno kapaciteto za vodo in količino rastlinam dostopne vode v tleh (EPK). EPK so razdelili v pet razredov in so podani v milimetrih za 100 cm globine tal (Zupan, 2007).

3.2.3 Tipa tal

ARSO ima v bazo vodnobilančnih izračunov vključene hipotetične tipe tal. Glede na kapaciteto tal za zadrževanje rastlinam dostopne vode so hipotetične tipe tal razvrstili v tri razrede: dobra (tip 901), srednja (tip 902) in slaba tla (tip 903) (Meteorološki podatki..., 2003). V naši nalogi smo uporabili za pregled primanjkljajev v tleh dva tipa tal (Preglednica 2): tla, ki dobro zadržujejo vodo (tip 901) in tla, ki slabo zadržujejo vodo (tip 903).

Preglednica 2: Tipa tal po zadrževalni sposobnosti, uporabljena pri izračunu vodnega primanjkljaja (Meteorološki podatki..., 2003).

	Globina tal (cm)	PK v 10 cm sloju (mm)	TV v 10cm sloju (mm)	Razpoložljiva voda v 10 cm sloju (mm)	Razpoložljiva voda v 100 cm sloju (mm)
Tla, ki dobro zadržujejo vodo	več kot 60	49,0	24,0	25,0	180
Tla, ki slabo Zadržujejo vodo	do 30	22,9	13,3	9,6	96

3.3 PRIMANJKLJAJI

Primanjkljaji so bili izračunani na ARSO z računalniškim programom IRRFIB. V nalogi smo uporabili podatke o dnevnih primanjkljajih vode za dva tipa tal (tla, ki dobro zadržujejo vodo in tla, ki slabo zadržujejo vodo) pokritih s travo v vegetacijskem obdobju med leti 1963 in 2006. Vrednosti dnevnih primanjkljajev vode v tleh so podane v mm.

3.4 OPIS MODELA IRRFIB

Za pomoč pridelovalcem pri namakanju kmetijskih rastlin so leta 1994 po predhodnih poskusih na različnih lokacijah in tleh razvili na takratnem Hidrometeorološkem zavodu simulacijski namakalno - prognostični model IRRFIB, ki je bil na začetku prirejena in dopolnjena oblika FAO računalniškega programa. Model (Preglednica 3) je uporaben za sprotno spremljanje vodne bilance tal in namakanje kmetijskih rastlin, za napovedovanje potrebnih količin vode za namakanje za tri do sedemdnevno obdobje ter za spremljanje primanjkljaja vode v tleh za rastline v razmerah, ko nastopi daljše obdobje brez padavin-suša. Primeren je tudi za analize vodnih stanj za kmetijske rastline za pretekla časovna obdobja (Sušnik in sod., 2003b). Z agrometeorološkim računalniškim modelom IRRFIB dobimo vodno bilanco tal z izračunavanjem količine razpoložljive vode v območju korenin. Skupaj z vremensko napovedjo lahko model oceni porabo vode v tleh za naslednje tri do sedem dni (Matajc, 2001). Model simulira porabo vode rastlin v času vegetacije z upoštevanjem vodne bilance tal, fenoloških faz rastlin, globine korenin in stanja atmosfere. Mejna pogoja, kot nasičenost vode in pomanjkanje vode v tleh, sta upoštevana pri simulaciji (Matajc, 2001).

Preglednica 3: Vhodni in izhodni podatki modela IRRFIB (Kajfež - Bogataj in Sušnik, 2003).

Vhodni podatki	Izhodni podatki
METEOROLOŠKI PODATKI	Referenčna evapotranspiracija
Minimalna temperatura zraka	Koeficient poljščine
Maksimalna temperatura zraka	Delež padavin, ki vstopijo v tla
Relativna vlaga	Količina vode, ki jo rastlina potrebuje
Oblačnost in trajanje sončnega obsevanja	Celotna količina razpoložljive vode
Hitrost vetra	Potrebna količina namakanja
Količina padavin	Celotna količina razpoložljive vode v tleh
PODATKI O RASTLINI	Rastlini razpoložljiva voda v tleh
Fenološka faza (začetek in konec)	Razmerje med dejansko in maksimalno ET
Koeficient rastline	Dnevni primanjkljaj vode v tleh
Globina korenin rastline po fazah (10 - 50 cm)	Interval namakanja
PODATKI O TLEH	Količina vode, ki se izgubi v tleh
Poljska kapaciteta	
Točka venenja	
Način namakanja	
Dovoljen odvzem vode iz tal	

3.4.1 Vhodni podatki modela

Vhodni podatki modela (Sušnik in sod., 2003b; Matajč, 2001) so naslednji:

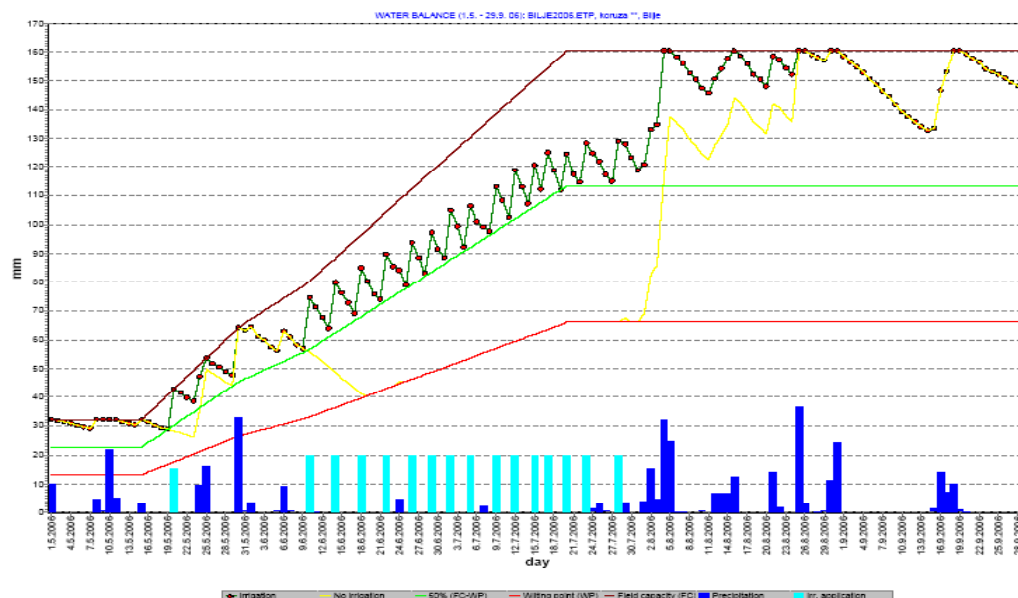
- dnevna referenčna evapotranspiracija ETo , izračunana po Penman-Moneithovi metodi;
- fenološki podatki in globine koreninskega sistema kmetijskih rastlin ter koeficienti kmetijskih rastlin;
- vodnoretzijske lastnosti tal, poljska kapaciteta in točka venenja, so potrebne za določitev velikosti talnega vodnega zbiralnika v območju korenin; z vključitvijo merjenih podatkov o dnevni količinah padavin lahko ovrednotimo dnevno vodno bilanco tal in rastlin.

V model lahko vključimo tudi dodatne spremenljivke, in sicer:

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

3.4.2 Izhodni podatki modela

Model lahko računa dnevno vodno bilanco tal in rastlin, v daljšem obdobju pa vegetacijsko ali celoletno bilanco. Rezultati modelnega vrednotenja vodne bilance so lahko prikazani v obliki preglednice ali grafično (Slika 8).



Slika 8: Grafični prikaz modela IRRFIB (poraba vode pri koruzi (1.5. - 29.9.2006) v Biljah) (ARSO, 2006).

Pri grafični interpretaciji je z eno krivuljo ponazorjen potek vlage v tleh, ki so redno namakana, druga krivulja predstavlja potek talne vlage v naravnih razmerah brez namakanja. Pri enoletnih kmetijskih rastlinah se talni vodni zbiralnik od setve naprej povečuje z rastjo koreninskega sistema v globino, zato sta prikazani tudi zgornja in spodnja meja dostopne talne vode za rastline. Padavine in potrebna namakanja so prikazana stolpčno na glavni osi grafikona (Sušnik in sod., 2003b).

Kadar vključimo v prognostični namakalni model napovedane vremenske spremenljivke za prihodnje obdobje, nam le ta prikaže potrebne količine vode za namakanje izbrane kmetijske rastline za 3 do 7 dni vnaprej. V primeru napovedi takšnih količin dežja, ki bi napolnile talni vodni rezervoar, lahko namakanje izpustimo in tako v odvisnosti od velikosti kmetijskega zemljišča v sezoni lahko privarčujemo večje količine vode ter preprečimo dodatna izpiranja hranilnih snovi v globlje horizonte tal ali celo v podtalnico. Prav zaradi omenjenega dejstva mora biti vsako namakanje strokovno vodeno in dobro nadzorovano. Rezultati modelnih vrednotenj za namakanje so pomembni za namakalce, so pa tudi primerne podlage pri načrtovanju vodnih zajetij za namakalne sisteme ter ekspertne analize pri vrednotenju sušnih razmer. V zadnjih sušnih letih je bil model uporabljen za dnevna vrednotenja porabe vode iz tal ter rastlin in s tem za ugotavljanje količinskega primanjkljaja vode za kmetijske rastline (Sušnik in sod., 2003b).

3.5 STATISTIČNA ANALIZA PODATKOV

Za analizo in obdelavo podatkov smo uporabili opisne statistike, ki smo jih izvedli z računalniškim programom Microsoft Excel. Uporabili smo funkcije aritmetična sredina (povprečje), vsota, najmanjša vrednost (minimum), največja vrednost (maksimum), percentilni rang ter linearni trend. Aritmetična sredina je tista srednja vrednost, ki jo izračunamo, če vsoto posameznih vrednosti številske spremenljivke delimo s številom opazovanih enot.

Osnovna smer razvoja časovne vrste je trend in ga je mogoče določiti le, če so na voljo podatki za daljše časovno obdobje, torej za vsaj 10 let (Košmelj, 1996). Najpreprostejša funkcija, s katero ga lahko opišemo, je linearna funkcija. Trend izrazimo kot spremembo obravnavane veličine glede na časovno obdobje. Če se vrednost obravnavane spremenljivke časovno zmanjšuje imamo negativni trend, če se povečuje, je trend pozitiven.

V naši analizi smo uporabili izračun linearnega časovnega trenda, ki smo ga podali v obdobju med leti 1963 in 2006.

Za mero, kako dobra je prilagoditvena linearna funkcija, smo uporabili brezdimenzijski empirični determinacijski koeficient R^2 . Čim bolj se ta po absolutni vrednosti približa vrednosti 1, tem večja je regresijska povezanost obeh spremenljivk, tem bolj je spremenljivka linearno odvisna od časa. Pri analizi pogosto predpostavimo, da je spremenljivka (npr. temperatura zraka) normalno porazdeljena spremenljivka in da vzorec dobro predstavlja spremenljivko nasploh; torej tudi čas pred in po izbranem npr. 30-letnem obdobju (Sušnik in sod., 2003b).

Za mero statistične zanesljivosti smo uporabili determinacijski koeficient (R^2). Izračunali smo, kakšen mora biti R^2 , da je z neko zanesljivostjo (npr. 95 %) različen od nič (Kastelic in Košmelj, 1996). Za statistično značilnost trenda pri zahtevani zanesljivosti 95 % mora biti R^2 vsaj 0,09. Taki trendi so v nalogi označeni z *. Pri zahtevani zanesljivosti 99 % pa mora biti R^2 večji od 0,154. Taki trendi so v nalogi označeni z **. Obe vrednosti veljata za 44 – letni niz.

S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo povprečno temperaturo zraka, padavine in primanjkljaje v vegetacijski dobi statistično porazdelili glede na njihove velikosti. Mejne vrednosti smo določili z uporabo statistične ocene s percentili. Percentili v rangi blizu 0 in blizu 100 veljajo za ekstremne. Glede na velikost smo leta razdelili v pet razredov:

- topla leta, sušna leta in večji primanjkljaji so definirani s spodnjo mejo 75. percentila in z zgornjo mejo 90. percentila;
- vroča leta, zelo sušna leta in veliki primanjkljaji so definirani kot večji od 90. percentila;
- hladnejša leta, vlažna leta in manjši primanjkljaji so definirani s spodnjo mejo 10. percentila in s zgornjo mejo 25. percentila;
- hladna leta, mokra leta in majhni primanjkljaji so določeni kot manjši od 10. percentila.

Vsi ostali primeri med 25 in 75. percentilom so v razredu normalnih let, zmernih primanjkljajev. Leto, ki pade v razred med 0 in 25. percentilom ter 75. in 100. percentilom, se pojavi povprečno vsake štiri leta. Leto, ki pa pade v razred med 0 in 10. percentilom ter 90. in 100. percentilom, pa se pojavi povprečno vsakih deset let.

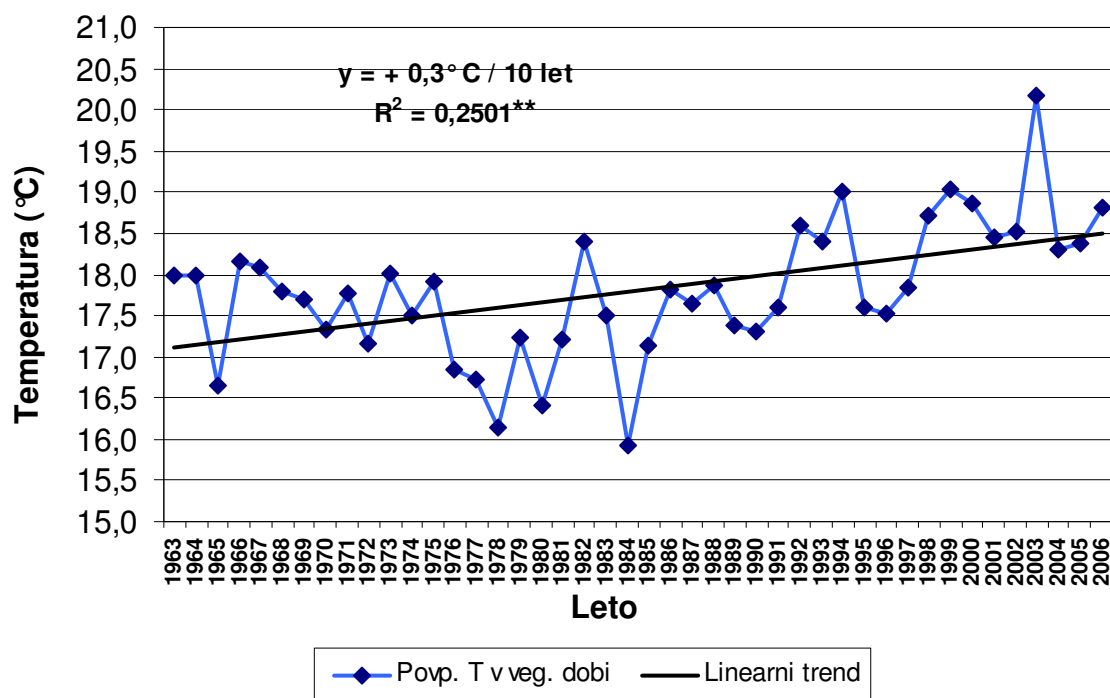
4 REZULTATI

Rezultate smo opisali ali jih podali v preglednicah in v slikah. Slike smo prikazali v črtnem ali stolpčnem grafikonu, na eni ali na dveh oseh. Slike in preglednice smo razdelili po preučevanih spremenljivkah: temperatura zraka, padavine, primanjkljaji. Trende smo izračunali v 44-letni časovni skali. Grafično smo prikazali pomembnejše trende. Če so trendi statistično značilni, smo to posebej poudarili v tekstu in v slikah ali preglednicah.

4.1 TEMPERATURA ZRAKA

Pri analizi podatkov temperature zraka za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini smo pregledovali variabilnost med leti in meseci, variabilnost po dekadah vegetacijske dobe in trende. S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo temperaturo zraka v vegetacijskem obdobju porazdelili glede na velikost za obdobje med 1963 in 2006.

Dolgoletna povprečna temperatura zraka celega leta v Biljah znaša 12,1 °C. Najtoplejši mesec je julij z 21,9 °C, najhladnejši pa januar z 2,8 °C. Povprečna temperatura zraka v vegetacijski dobi (Slika 9) je 17,8 °C in znaša od 15,9 °C (1984) do 20,2 °C (2003), z značilnim trendom + 0,3 °C / 10 let. Največja porast temperature se je zgodila v zadnjih 15. letih izbranega obdobja. Od leta 1990 naprej je trend značilen in znaša + 0,7 °C / 10 let.



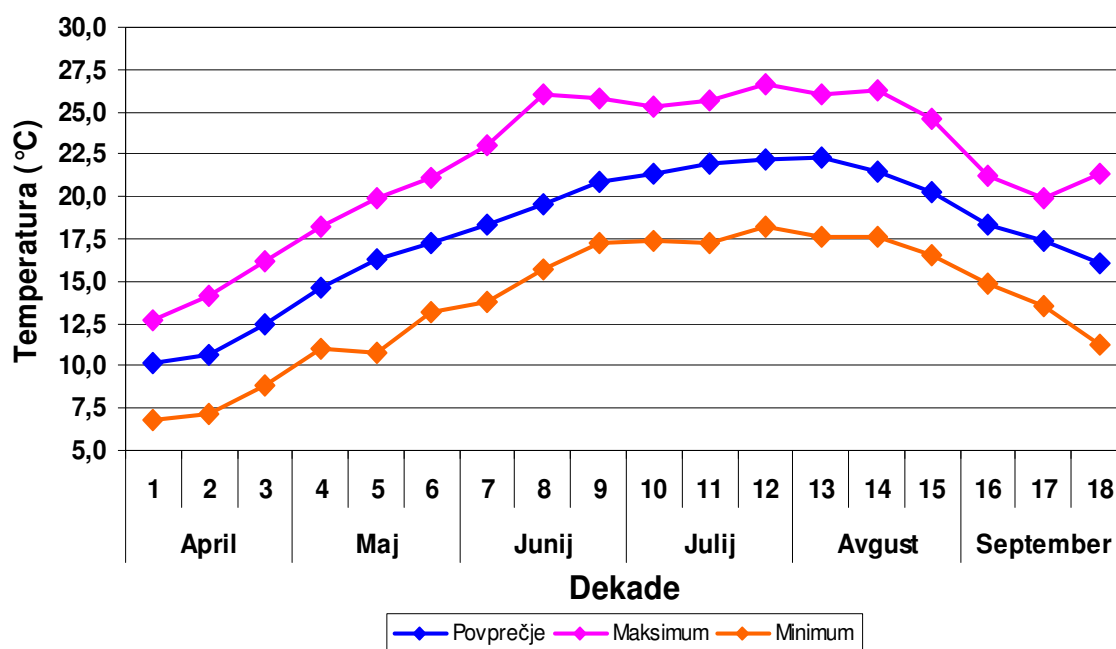
Slika 9: Povprečna temperatura zraka (°C) v vegetacijski dobi med leti 1963 in 2006 z vrisanim linearnim trendom za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Povprečna temperatura zraka celega leta je v izbranem obdobju med 11,0 °C in 13,4 °C z dolgoletnim povprečjem 12,1 °C. Trend temperature celega leta je značilen in znaša + 0,2 °C / 10 let.

Vsota temperatur zraka v vegetacijski dobi znaša med 2915 °C in 36934 °C z dolgoletnim povprečjem 3258 °C.

V povprečju je v Biljah 351 dni (od 324 do 365 dni) s temperaturo zraka večjo od 0 °C. Povprečna dolžina obdobja z minimalno temperaturo zraka nad 0 °C je 305 dni na leto (od 259 do 365 dni) s trendom – 6 dni / 10 let. V povprečju je 7 dni na leto s temperaturo zraka ≥ 25 °C (od 0 do 48 dni) z značilnim trendom + 3 dni / 10 let. Število zaporednih dni s temperaturo zraka ≥ 25 °C je do leta 1992 od 1 do 4, po letu 1992 pa od 1 do 13.

V 18 dekadah vegetacijske dobe (med 1.4.-27.9) je razpon povprečne temperature zraka po dekadah (Slika 10) med 6,8 °C (povprečna minimalna temperatura) in 26,6 °C (povprečna maksimalna temperatura). Od prve deкаде naprej se povprečna temperatura zraka sorazmerno enakomerno dviga do 13. deкаде (30.7.-8.8.), nato temperatura zraka po dekadah pada.



Slika 10: Dolgoletne minimalne, povprečne in maksimalne temperature (°C) po dekadah vegetacijske dobe med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Povprečna temperatura zraka na dekadno po letih je v izbranem obdobju med 15,9 °C in 20,3 °C, spet z izrazitejšim dvigom temperature zraka nad dolgoletnim povprečjem, ki znaša 17,9 °C, po letu 1992. Trend je statistično značilen in znaša + 0,3 °C / 10 let.

Vsi trendi temperature zraka po dekadah so pozitivni. V prvi, drugi, peti, sedmi, enajsti, šestnajsti in sedemnajsti dekadah so trendi rahlo pozitivni (od + 0,01 °C / 10 let do + 0,1 °C / 10 let). V tretji, četrti, šesti, osmi, deveti, deseti, dvanajsti, trinajsti, štirinajsti, petnajsti in osemnajsti dekadah so pozitivni trendi med + 0,3 °C / 10 let in + 0,7 °C / 10 let. Trendi četrte, dvanajste, štirinajste in petnajste deкаде so statistično značilni.

Odklon povprečnih dekadnih temperatur zraka po letih od dolgoletnega povprečja (17,9 °C) znaša med – 2 °C (1984) in + 2,4 °C (2003) s povprečjem – 0,04 °C ter z značilnim trendom + 0,3 °C / 10 let. Najočitnejši pozitivni odklon se pojavlja po letu 1992 in najvišji odklon doseže v letu 2003.

Maksimalne temperature zraka v mesecih vegetacijske dobe se zvišujejo in sicer v vseh mesecih s trendom od + 0,3 °C / 10 let do + 0,5 °C / 10 let, največ v mesecu maju in mesecu juniju. Trendi mesecev maja, junija in julija so statistično značilni.

Minimalne temperature zraka v mesecih vegetacijske dobe se razen v mesecu marcu (– 0,1 °C / 10 let) zvišujejo s trendom od + 0,2 °C / 10 let do + 0,5 °C / 10 let, največ v mesecu juliju. Trend meseca julija je statistično značilen.

Najtoplejši mesec vegetacijske dobe je julij z dolgoletnim povprečjem 21,9 °C, nato si sledijo avgust (21,0 °C), junij (19,7 °C), september (16,9 °C), maj (16,1 °C) in april (11,1 °C). V vseh mesecih je trend temperature pozitiven. Največji je v mesecu avgustu, najmanjši v mesecu septembru (Preglednica 4).

Preglednica 4: Trendi povprečne mesečne temperature (°C) po mesecih vegetacijske dobe med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Mesec	Koeficient trenda	Enačba trenda	Determinacijski koeficient
April	Y = 0,2 °C / 10 let	$Y = 0,018x + 10,708$	$R^2 = 0,0615$
Maj	Y = 0,3 °C / 10 let	$Y = 0,0335x + 15,345$	$R^2 = 0,0817$
Junij	Y = 0,4 °C / 10 let	$Y = 0,0355x + 18,87$	$R^2 = 0,1078^*$
Julij	Y = 0,4 °C / 10 let	$Y = 0,0357x + 21,067$	$R^2 = 0,1266^*$
Avgust	Y = 0,5 °C / 10 let	$Y = 0,0508x + 19,882$	$R^2 = 0,176^{**}$
September	Y = 0,2 °C / 10 let	$Y = 0,0181x + 16,459$	$R^2 = 0,0298$

Trendi temperature zraka ne-vegetacijskih mesecev so pozitivni (od + 0,04 °C / 10 let do + 0,3 °C / 10 let), razen februarja (– 0,1 °C / 10 let) in novembra (– 0,005 °C / 10 let), ki sta rahlo negativna. Trend meseca oktobra je statistično značilen.

S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo povprečno temperaturo zraka v vegetacijski dobi statistično porazdelili glede na njeno velikost. Glede na velikost temperature zraka smo leta razdelili na vroča in topla leta, hladna in hladnejša ter normalna leta. S preglednice 5 je razvidno, da so najbolj vroča in topla leta ravno leta po letu 1992 do 2006. Vročna leta so 2003, 1999, 1994, 2000, 2006. Topla leta so 1998, 1992, 2002, 2001, 1993, 1982.

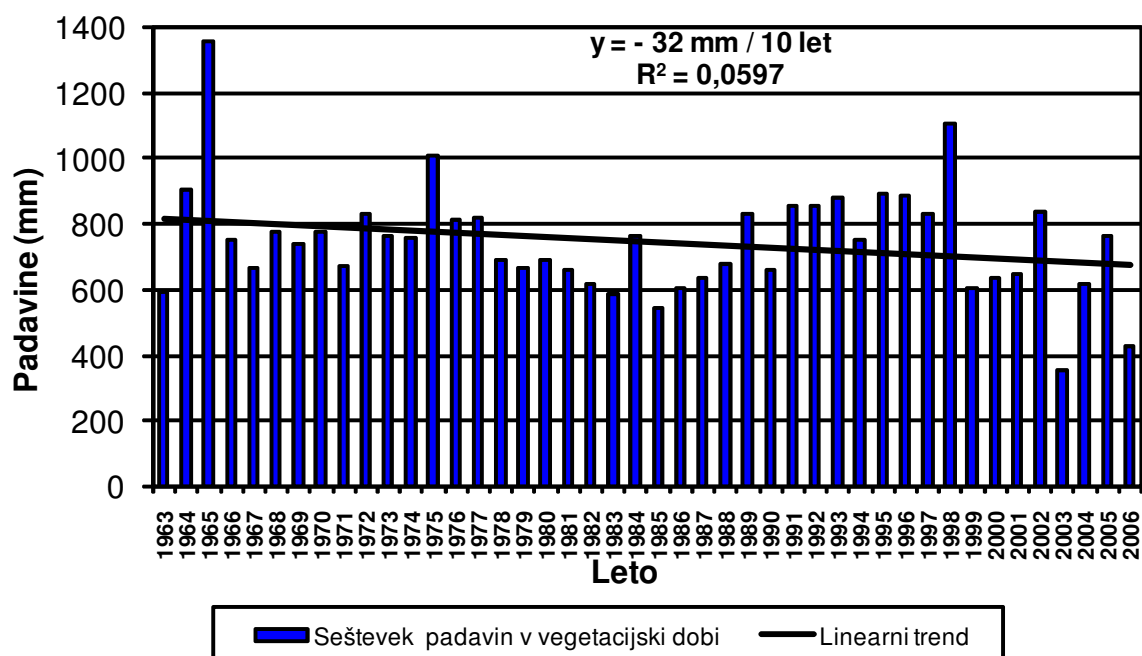
Preglednica 5: Statistična opredelitev toplejših in vročih, hladnejših in hladnih ter normalnih let glede na povprečno temperaturo zraka (°C) v vegetacijski dobi med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Leto	Povp. T v veg. dobi (°C)	Odstotek (%)	
2003	20,2	100,00	Vroča leta
1999	19,0	97,60	
1994	19,0	95,30	
2000	18,9	93,00	
2006	18,8	90,60	
1998	18,7	88,30	Topla leta
1992	18,6	86,00	
2002	18,5	83,70	
2001	18,4	81,30	
1993	18,4	79,00	
1982	18,4	76,70	Normalna leta
2005	18,4	74,40	
2004	18,3	72,00	
1966	18,2	69,70	
1967	18,1	67,40	
1973	18,0	65,10	
1964	18,0	62,70	
1963	18,0	60,40	
1975	17,9	58,10	
1988	17,9	55,80	
1997	17,8	53,40	
1986	17,8	51,10	
1968	17,8	48,80	
1971	17,8	46,50	
1969	17,7	44,10	
1987	17,7	41,80	
1991	17,6	39,50	
1995	17,6	37,20	
1996	17,5	34,80	
1974	17,5	30,20	
1983	17,5	30,20	
1989	17,4	27,90	Hladnejša leta
1970	17,3	25,50	
1990	17,3	23,20	
1979	17,2	20,90	
1981	17,2	18,60	
1972	17,2	16,20	Hladna leta
1985	17,1	13,90	
1976	16,8	11,60	
1977	16,7	9,30	
1965	16,7	6,90	Hladna leta
1980	16,4	4,60	
1978	16,1	2,30	
1984	15,9	0,00	Hladna leta

4.2 PADAVINE

Pri analizi padavin za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini smo pregledovali variabilnost dnevne količine padavin. Pregledovali smo variabilnost med leti in meseci, variabilnost po dekadah vegetacijske dobe in trende. S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo padavine v vegetacijskem obdobju porazdelili glede na velikost za obdobje med 1963 in 2006.

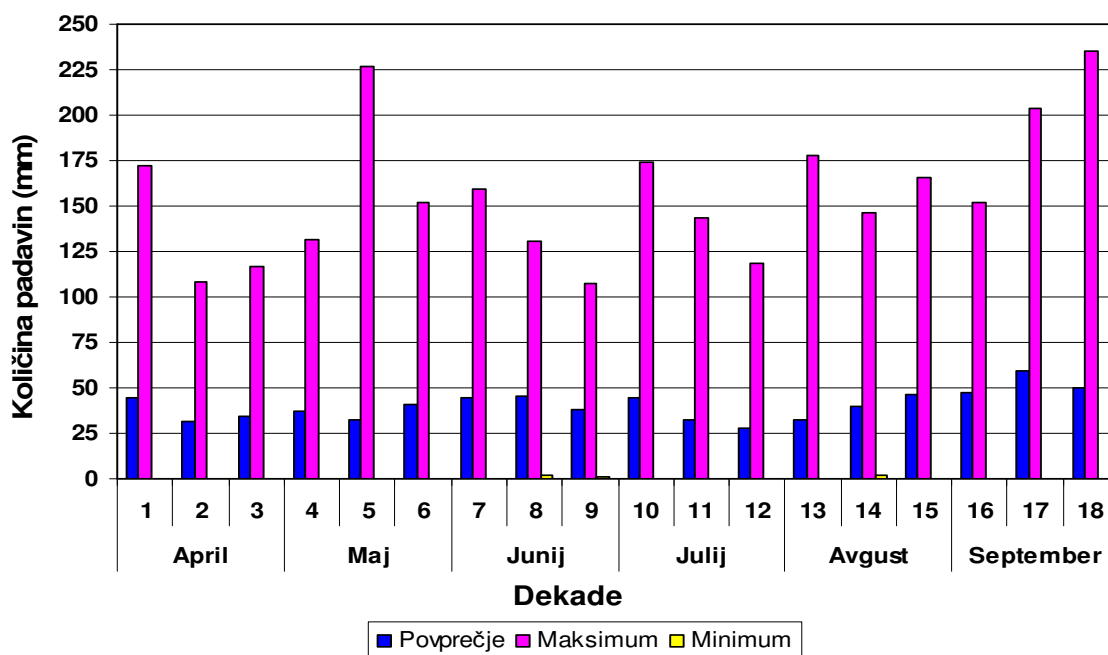
Dolgoletna celoletna povprečna količina padavin v Biljah znaša 1442 mm (od 904 mm do 2349 mm) z značilnim trendom – 70 mm / 10 let. Največ padavin je v mesecu septembru (158 mm), najmanj v mesecu februarju (83 mm). V vegetacijskem obdobju pade 746 mm (od 357 mm do 1360 mm) s trendom zmanjšanja padavin – 32 mm / 10 let (Slika 11), kar znaša 51,8 % vseh letnih padavin. Od leta 1990 naprej je trend v vegetacijski dobi značilen in znaša – 187 mm / 10 let.



Slika 11: Vsota padavin (mm) v vegetacijski dobi med 1963 in 2006 z vrisanim linearnim trendom za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Povprečna količina padavin na dekada po letih v izbranem obdobju znaša med 19 mm in 64 mm, z dolgoletnim povprečjem 40 mm ter s trendom – 1mm / 10 let. Od leta 1990 (od 19 mm do 59 mm) je trend značilen in znaša – 10 mm / 10 let.

V 18 dekadah vegetacijske dobe (med 1.4.-27.9) je razpon padavin po dekadah med 0 mm (povprečna minimalna količina padavin) do 235 mm (povprečna maksimalna količina padavin) (Slika 12).



Slika 12: Povprečna, minimalna in maksimalna količina padavin (mm) po dekadah vegetacijske dobe med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini¹.

Trendi padavin po dekadah se razlikujejo. V drugi, četrti, peti, deveti, trinajsti, sedemnajsti, osemnajsti dekadi so trendi pozitivni in znašajo od + 1 mm / 10 let do + 10 mm / 10 let. V prvi, tretji, šesti, sedmi, osmi, deseti, enajsti, dvanajsti, štirinajsti, petnajsti, šestnajsti dekadi pa so trendi negativni. Znašajo od – 0,1 mm / 10 let do – 9 mm / 10 let.

Odklon povprečnih dekadnih padavin po letih od dolgoletnega povprečja (40 mm) znaša od – 22 mm (2003) do + 24 mm (1965) s povprečjem 0 mm ter s trendom – 1 mm / 10 let. Očiten negativen odklon se pojavlja med leti 1978 in 1988 ter med leti 1999 in 2006.

Padavinski dan je, ko pade ≥ 0 mm dežja na dan. Padavinski dan je tudi, ko so padavine, a niso zaznavne in so torej 0. V povprečju je v Biljah 135 padavinskih dni (od 105 dni do 183 dni) na leto z značilnim trendom + 8 dni / 10 let in 72 padavinskih dni (od 53 dni do 96 dni) v vegetacijski dobi z značilnim trendom + 4 dni / 10 let. Na padavinski dan pade v celem letu povprečno 11 mm (od 6 mm do 17 mm) z značilnim trendom – 1 mm / 10 let, v vegetacijski dobi 10, 5 mm (od 5,1 mm do 16,4 mm) z značilnim trendom – 1 mm / 10 let. V vegetacijski dobi je v povprečju 55 dni s padavinami večjimi od 1 mm (od 38 do 72 dni) s trendom – 2 dni / 10 let.

Trendi padavin ne-vegetacijskih mesecev se razlikujejo. Mesec oktober z dolgoletnim povprečjem 152 mm ima pozitivni trend z + 8 mm / 10 let. Trendi ostalih mesecev so negativni. Mesec januar (95 mm) z – 10 mm / 10 let, februar (83 mm) z – 19 mm / 10 let, marec (89 mm) z – 13 mm / 10 let, mesec november (156 mm) z – 1 mm / 10 let ter

¹ Vrednosti minimalnih količine padavin (mm) v dekadah se na grafikonu (Slika 12) ne vidijo, ker so razen vrednosti osme, devete in štirinajste dekade, vse vrednosti enake nič.

december (120 mm) z -3 mm / 10 let. V povprečju je trend ne-vegetacijskih mesecev negativen z -4 mm / 10 let. Trend meseca februarja je značilen.

V vegetacijski dobi pade največ padavin v mesecu septembru (158 mm), nato si sledijo avgust (132 mm), junij (131 mm), maj (114 mm), april (110 mm) ter julij (101 mm). V maju in septembru je trend pozitiven, v ostalih mesecih pa je trend negativen (Preglednica 6).

Preglednica 6: Trendi vsote mesečnih padavin (mm) po mesecih vegetacijske dobe med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Mesec	Koeficient trenda	Enačba trenda	Determinacijski koeficient
April	Y = - 4 mm / 10 let	$Y = -0,4087x + 119,04$	$R^2 = 0,0098$
Maj	Y = + 1 mm/10 let	$Y = 0,1017x + 111,21$	$R^2 = 0,0006$
Junij	Y = - 10 mm / 10 let	$Y = -0,9904x + 153,56$	$R^2 = 0,0414$
Julij	Y = - 12 mm / 10 let	$Y = -1,2144x + 128,5$	$R^2 = 0,0573$
Avgust	Y = - 9 mm / 10 let	$Y = -0,8531x + 151,46$	$R^2 = 0,0233$
September	Y = + 2 mm / 10 let	$Y = 0,1602x + 154,77$	$R^2 = 0,0004$

S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo količino padavin v vegetacijski dobi statistično porazdelili glede na njeno velikost (Preglednica 7). Glede na velikost padavin smo leta razdelili na zelo sušna in sušna, mokra in vlažna leta ter na normalna leta. Zelo sušna leta z najmanjšimi padavinami v izbranem obdobju so 2003, 2006, 1985, 1983, 1963. Sušna leta so 1999, 1986, 1982, 2004, 1987, 2000.

Preglednica 7: Statistična opredelitev sušnih in zelo sušnih, vlažnih in mokrih ter normalnih let glede na vsoto padavin (mm) v vegetacijski dobi med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

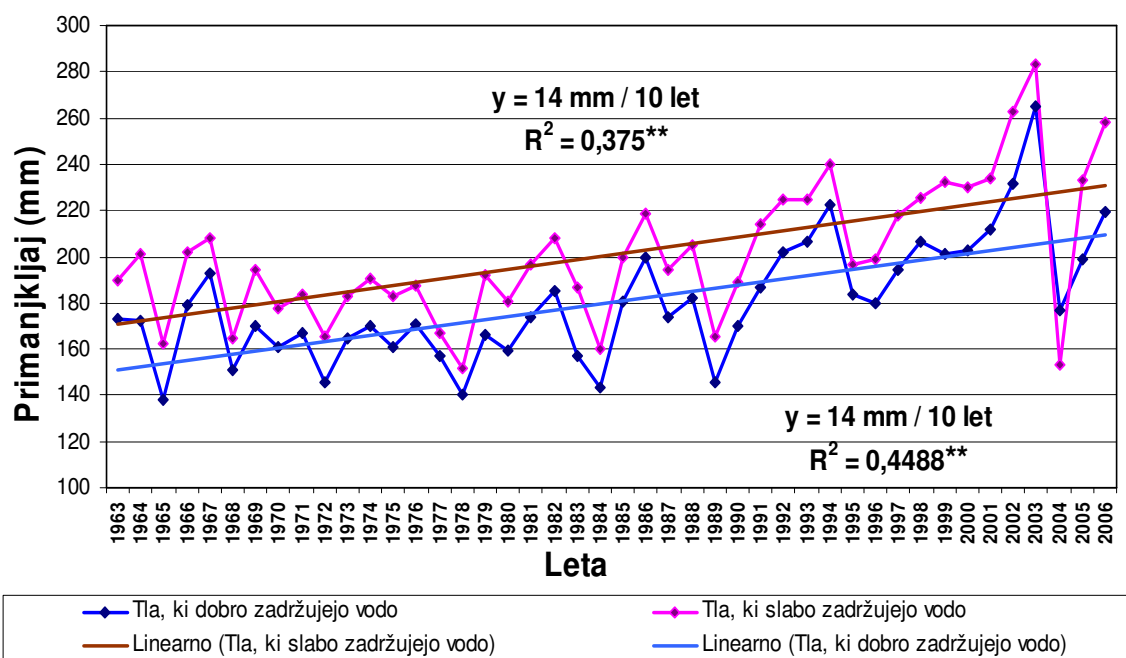
Leto	Vsota padavin v veg. dobi (mm)	Odstotek (%)	
2003	357	100,00	Zelo sušna leta
2006	429	97,60	
1985	543	95,30	
1983	589	93,00	
1963	596	90,60	
1999	606	88,30	Sušna leta
1986	607	86,00	
1982	616	83,70	
2004	619	81,30	
1987	634	79,00	
2000	635	76,70	
2001	651	74,40	Normalna leta
1990	658	72,00	
1981	660	69,70	
1979	668	67,40	
1967	669	65,10	
1971	673	62,70	
1988	681	60,40	
1980	690	58,10	
1978	693	55,80	
1969	740	53,40	
1994	750	51,10	
1966	754	48,80	
1974	759	46,50	
1984	762	44,10	
2005	763	41,80	
1973	766	39,50	
1970	774	37,20	
1968	777	34,80	
1976	812	30,20	
1977	818	30,20	
1989	834	27,90	
1972	834	25,50	
1997	834	23,20	Vlažna leta
2002	836	20,90	
1992	856	18,60	
1991	858	16,20	
1993	884	13,90	
1996	886	11,60	
1995	892	9,30	Mokra leta
1964	906	6,90	
1975	1008	4,60	
1998	1107	2,30	
1965	1360	0,00	

4.3 PRIMANJKLJAJI

Pri analizi primanjkljajev vode v tleh za oba tipa tal za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini smo pregledovali, koliko znaša višina primanjkljaja v določenem času. Pregledovali smo variabilnost med leti in meseci, variabilnost po dekadah vegetacijske dobe in trende. S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo primanjkljaje v vegetacijskem obdobju porazdelili glede na velikost za obdobje med 1963 in 2006.

4.3.1 Tla, ki dobro zadržujejo vodo

Dolgoletna vsota primanjkljajev v vegetacijski dobi znaša 180 mm (od 138 mm (1965) do 265 mm (2003)) z značilnim trendom + 14 mm / 10 let (Slika 13). Od leta 1990 je trend značilen in znaša + 20 mm / 10 let.



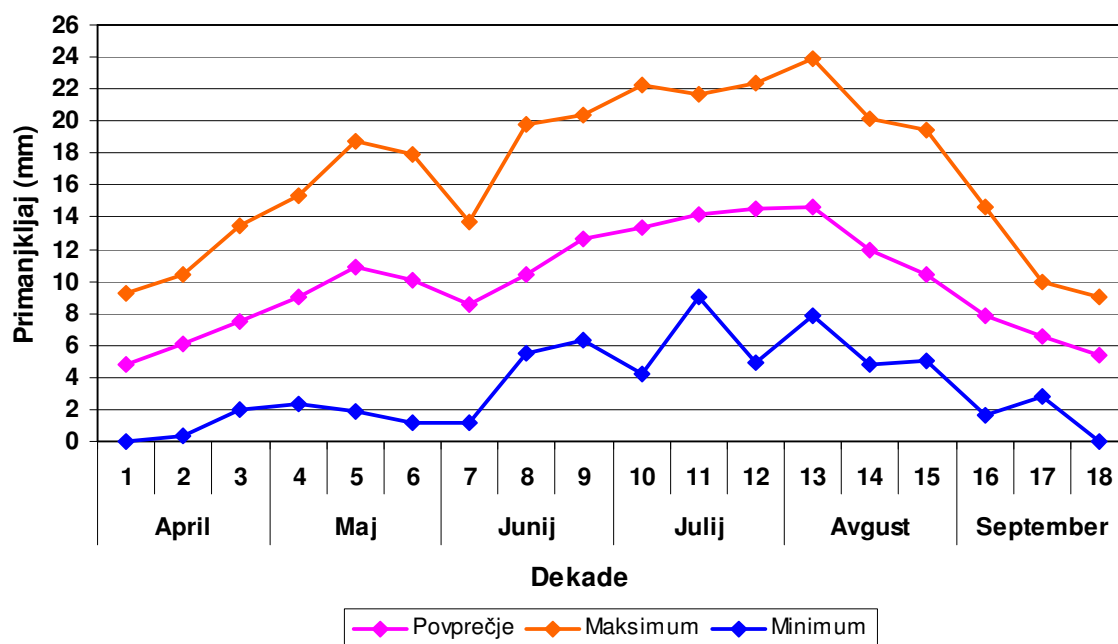
Slika 13: Vsota primanjkljajev (mm) za tla, ki dobro in tla, ki slabo, zadržujejo vodo, v vegetacijski dobi med 1963 in 2006 z vrisanimi linearnima trendoma za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

V povprečju je v vegetacijski dobi v Biljah 135 dni, ko se pojavi primanjkljaj (od 111 dni do 161 dni), s trendom + 2 dni / 10 let. Število dni, ko je primanjkljaj ≥ 2 mm je v povprečju 21 (od 7 dni do 53 dni) z značilnim trendom + 5 dni / 10 let.

V 18 dekadah vegetacijske dobe (med 1.4.-27.9.) primanjkljaj znaša od 0 mm (minimalni povprečni primanjkljaj) do 24 mm (maksimalni povprečni primanjkljaj) (Slika 14). Povprečni primanjkljaj ima dva vrhova in sicer v peti dekad (11 mm) in v 13 dekad (15 mm).

Trendi primanjkljajev po dekadah so večinoma pozitivni razen osemnajste deкаде, ki je negativna. Pozitivni trendi znašajo od + 0,1 mm / 10 let do + 1 mm / 10 let. V prvi, drugi, peti, deveti, deseti, trinajsti in štirinajsti dekad so trendi statistično značilni.

Povprečni primanjkljaj na dekada po letih v izbranem obdobju znaša med 8 mm (1965) do 15 mm (2003) z dolgoletnim povprečjem 10 mm in z značilnim trendom + 1 mm / 10 let.



Slika 14: Dolgoletni minimalni, povprečni in maksimalni primanjkljaji (mm) po dekadah vegetacijske dobe za tla, ki dobro zadržujejo vodo, med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Odklon povprečnega dekadnega primanjkljaja po letih od dolgoletnega povprečja (10 mm) znaša od + 5 mm (2003) do - 2 mm (1965) z značilnim trendom + 1 mm / 10 let. Očiten odklon od povprečja v smeri povečanja primanjkljaja se pojavlja po letu 1991.

Mesec z največjim dolgoletnim povprečnim primanjkljajem v vegetacijski dobi je julij (44 mm), nato si sledijo avgust (37 mm), junij (32 mm), maj (31 mm), september (19 mm) in april (19 mm). V vseh mesecih se trend primanjkljaja povečuje, največ v mesecu juliju, najmanj v mesecu septembru (Preglednica 8).

Preglednica 8: Trendi mesečnih primanjkljajev (mm) v mesecih vegetacijske dobe za tla, ki dobro zadržujejo vodo, med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Mesec	Koeficient trenda	Enačba trenda	Determinacijski koeficient
April	$Y = 1 \text{ mm} / 10 \text{ let}$	$Y = 0,0957x + 16,309$	$R^2 = 0,0822$
Maj	$Y = 3 \text{ mm} / 10 \text{ let}$	$Y = 0,2981x + 24,129$	$R^2 = 0,2755^{**}$
Junij	$Y = 3 \text{ mm} / 10 \text{ let}$	$Y = 0,2907x + 25,483$	$R^2 = 0,2314^{**}$
Julij	$Y = 3 \text{ mm} / 10 \text{ let}$	$Y = 0,3146x + 36,594$	$R^2 = 0,2642^{**}$
Avgust	$Y = 3 \text{ mm} / 10 \text{ let}$	$Y = 0,3142x + 29,541$	$R^2 = 0,2271^{**}$
September	$Y = 1 \text{ mm} / 10 \text{ let}$	$Y = 0,0533x + 17,554$	$R^2 = 0,0284$

S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo primanjkljaj v vegetacijski dobi statistično porazdelili glede na njegovo velikost (Preglednica 10). Glede na velikost primanjkljaja smo leta razdelili na leta z velikim in večjim, majhnim in manjšim ter zmernim primanjkljajem. Leta z velikim primanjkljajem so 2003, 2002, 1994, 2006, 2001. Leta z večjim primanjkljajem so 1998, 1993, 2000, 1992, 1999, 1986.

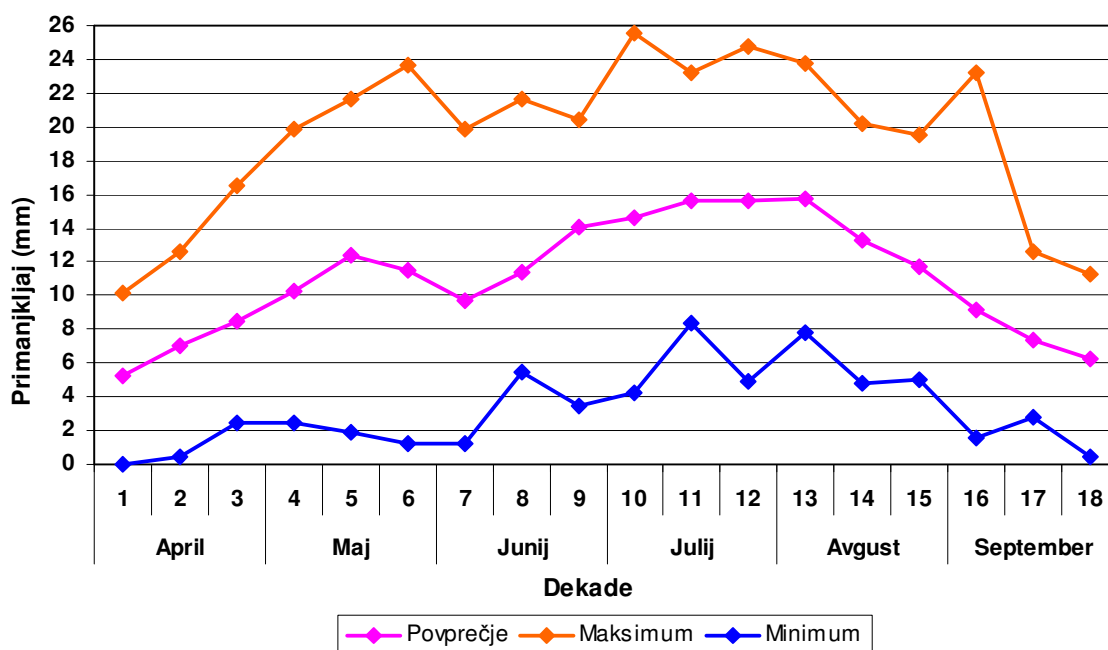
4.3.2 Tla, ki slabo zadržujejo vodo

Dolgoletna vsota primanjkljajev v vegetacijski dobi znaša 201 mm (od 152 mm (1978) do 284 mm (2003)) z značilnim trendom + 14 mm / 10 let (Slika 13). Od leta 1990 je trend značilen in znaša + 20 mm / 10 let.

V povprečju je v vegetacijski dobi v Biljah 134 dni, ko se pojavi primanjkljaj (od 106 dni do 162 dni) s trendom + 1 dan / 10 let. Število dni, ko je primanjkljaj ≥ 2 mm je v povprečju 32 (od 18 dni do 67 dni) z značilnim trendom + 6 dni / 10 let.

V 18 dekadah vegetacijske dobe (med 1.4.-27.9) primanjkljaj znaša od 0 mm (minimalni povprečni primanjkljaj) in 26 mm (maksimalni povprečni primanjkljaj) (Slika 15). Povprečni primanjkljaj ima dva vrhova in sicer v peti dekadi (12 mm) in v 13 dekadi (16 mm).

Trendi primanjkljajev po dekadah so večinoma pozitivni razen osemnajste dekade, ki je negativna. Pozitivni trendi znašajo od + 0,01 mm / 10 let do + 1 mm / 10 let. V prvi, drugi, tretji, peti, deveti, deseti, enajsti in trinajsti dekadi so trendi statistično značilni.



Slika 15: Dolgoletni minimalni, povprečni in maksimalni primanjkljaji (mm) po dekadah vegetacijske dobe za tla, ki slabo zadržujejo vodo, med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Povprečni primanjkljaj na dekada po letih v izbranem obdobju znaša od 8 mm (1978) do 16 mm (2003) z dolgoletnim povprečjem 11 mm in z značilnim trendom + 1 mm / 10 let.

Odklon povprečnega dekadnega primanjkljaja po letih od dolgoletnega povprečja (11 mm) znaša od 4,7 mm (1978) do – 2,5 mm (2004) ter z značilnim trendom + 1 mm / 10 let. Očiten odklon od povprečja v smeri povečanja primanjkljaja se pojavlja po letu 1991.

Mesec z največjim dolgoletnim povprečnim primanjkljajem v vegetacijski dobi je julij (48 mm), nato si sledijo avgust (40 mm), junij (36 mm), maj (35 mm), september (21 mm) in april (21 mm). V vseh mesecih se trend primanjkljaja povečuje, največ v mesecu maju, najmanj v mesecu septembru (Preglednica 9).

Preglednica 9: Trendi mesečnih primanjkljajev (mm) v mesecih vegetacijske dobe za tla, ki slabo zadržujejo vodo, med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Mesec	Koeficient trenda	Linearni trend	Determinacijski koeficient
April	Y = 1 mm / 10 let	$Y = 0,1004x - 18,494$	$R^2 = 0,0576$
Maj	Y = 4 mm / 10 let	$Y = 0,3846x - 26,416$	$R^2 = 0,2937^{**}$
Junij	Y = 3 mm / 10 let	$Y = 0,2839x - 29,228$	$R^2 = 0,1756^{**}$
Julij	Y = 2 mm / 10 let	$Y = 0,2419x - 42,261$	$R^2 = 0,1723^{**}$
Avgust	Y = 3 mm / 10 let	$Y = 0,3447x - 32,505$	$R^2 = 0,2669^{**}$
September	Y = 1 mm / 10 let	$Y = 0,0556x - 20,12$	$R^2 = 0,0166$

S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo primanjkljaj v vegetacijski dobi statistično porazdelili glede na njegovo velikost (Preglednica 10). Glede na velikost primanjkljaja smo leta razdelili na leta z velikim in večjim, majhnim in manjšim ter zmernim primanjkljajem. Leta z velikim primanjkljajem so 2003, 2002, 2006, 1994, 2001. Leta z večjim primanjkljajem so 2005, 1999, 2000, 1998, 1992, 1993.

Preglednica 10: Statistična opredelitev let z velikimi in večjimi, majhnimi in manjšimi ter zmernimi primanjkljaji (mm) v vegetacijski dobi za oba tipa tal med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Tla, ki dobro zadržujejo vodo					Tla, ki slabo zadržujejo vodo		
Leto	Vsota primanjkljajev (mm)	Odstotek (%)			Leto	Vsota primanjkljajev (mm)	Odstotek (%)
2003	265	100,00	Velik	primanjkljaj	2003	283	100,00
2002	231	97,60			2002	262	97,60
1994	223	95,30			2006	258	95,30
2006	219	93,00			1994	240	93,00
2001	212	90,60			2001	234	90,60
1998	206	88,30	Večji	primanjkljaj	2005	233	88,30
1993	206	86,00			1999	232	86,00
2000	202	83,70			2000	230	83,70
1992	201	81,30			1998	226	81,30
1999	200	79,00			1992	225	79,00
1986	199	74,40	Zmerni	primanjkljaj	1993	225	74,40
2005	198	74,40			1986	219	74,40
1997	194	72,00			1997	217	72,00
1967	193	69,70			1991	214	69,70
1991	187	67,40			1967	208	67,40
1982	185	65,10			1982	207	65,10
1995	184	62,70			1988	204	62,70
1988	182	60,40			1966	202	60,40
1985	181	58,10			1964	201	58,10
1996	180	53,40			1985	199	53,40
1966	179	53,40			1996	198	53,40
2004	177	51,10			1981	197	51,10
1987	174	48,80			1995	196	48,80
1981	173	46,50			1969	194	46,50
1963	172	44,10			1987	194	44,10
1964	172	41,80			1979	192	41,80
1976	171	39,50			1974	190	39,50
1974	170	37,20			1963	190	37,20
1969	170	34,80			1990	189	34,80
1990	169	32,50			1976	187	32,50
1971	167	30,20			1983	186	30,20
1979	165	27,90			1971	184	27,90
1973	164	25,50			1973	183	25,50
1970	161	20,90	Manjši	primanjkljaj	1975	182	20,90
1975	160	20,90			1980	180	20,90
1980	159	18,60			1970	178	18,60
1977	157	16,20			1977	167	16,20
1983	156	13,90			1989	166	13,90
1968	151	11,60	Majhen	primanjkljaj	1972	165	11,60
1989	146	9,30			1968	164	9,30
1972	145	6,90			1965	163	6,90
1984	143	4,60			1984	160	4,60
1978	140	2,30			2004	153	2,30
1965	138	0,00			1978	151	0,00

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V pričujoči nalogi smo pregledovali meteorološke podatke (temperatura zraka, padavine) ter primanjkljaje vode v tleh v dveh tipih tal (tla, ki dobro zadržujejo vodo in tla, ki slabo zadržujejo vodo) v vegetacijski dobi med 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini.

Izračunani trendi opisujejo le dosedanje smer razvoja in ne predstavljajo neposredne napovedi za prihodnja desetletja.

Iz analiz meritev temperature zraka in količine padavin za meteorološko postajo v Biljah v Vipavski dolini lahko zaključimo, da je večina let po letu 1990 v primerjavi z dolgoletnim povprečjem pretoplih, z razmeroma nižjo količino padavin od povprečja. Še posebej izrazit je ta pojav v poletnih mesecih. Trendi temperature zraka se večinoma statistično značilno povečujejo, trendi količine padavin pa so večinoma statistično neznačilni.

Trendi primanjkljajev vode v tleh za oba tipa tal se večinoma statistično značilno povečujejo in kažejo na to, da je njihova velikost tesno povezana z višino povprečne dnevne temperature in količino padavin. V poletnih mesecih lahko torej pričakujemo, zlasti na tleh, ki slabše zadržujejo vodo, povečanje vodnih primanjkljajev.

5.1.1 Temperatura zraka

Povprečna dnevna temperatura zraka v vegetacijski dobi se v obdobju med 1963 in 2006 zvišuje in sicer s trendom $+ 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C} / 10 \text{ let}$. Zlasti je izrazit porast temperature zraka po letu 1990, ko se temperatura zvišuje s trendom $+ 0,7 \text{ }^{\circ}\text{C} / 10 \text{ let}$.

Porast temperature zraka se kaže pri povprečnih maksimalnih dnevni temperaturah zraka in pri povprečnih dnevni minimalni temperaturah zraka.

Povprečna temperatura zraka na dekada se povečuje s trendom $+ 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C} / 10 \text{ let}$. Trendi temperature zraka v 18. dekadah so vsi pozitivni.

Najtoplejši mesec vegetacijske dobe je julij. Najhitreje temperatura zraka narašča v mesecu avgustu s trendom $+ 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C} / 10 \text{ let}$, najpočasneje pa v mesecu septembru s trendom $+ 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C} / 10 \text{ let}$. Tudi v vseh ostalih mesecih vegetacijske dobe so trendi temperature zraka pozitivni.

Trend povprečne temperature zraka celega leta se zvišuje z $+ 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C} / 10 \text{ let}$. Razen novembra in februarja se temperatura zraka dviga tudi v mesecih izven vegetacijske dobe.

Število dni z neprekinjenim obdobjem nad $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ se v izbranem obdobju zmanjšuje s trendom $- 6 \text{ dni} / 10 \text{ let}$. Število dni s temperaturo zraka $\geq 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ se zvišuje s trendom $+ 3 \text{ dni} / 10 \text{ let}$. Tudi število zaporednih dni s temperaturo zraka $\geq 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ se zvišuje, zlasti po letu 1992.

Najbolj vroča leta so po letu 1992. Skoraj vsa leta po 1992, razen leti 1995 in 1996, so toplejša od dolgoletnega povprečja, z daleč najtoplejším letom v nizu 2003. Najbolj vroča leta si sledijo 2003, 1999, 1994, 2000, 2006, 1998, 1992, 2002, 2001, 1993 in 1982.

5.1.2 Padavine

Povprečne padavine se preko celega leta v obdobju med 1963 in 2006 zmanjšujejo s trendom – 70 mm / 10 let. Povprečna količina padavin v vegetacijski dobi se zmanjšuje s trendom – 32 mm / 10 let. Spet je trend zmanjšanja padavin v vegetacijski dobi izrazitejši po letu 1990 s kar – 187 mm / 10 let.

Povprečna količina padavin na dekada po letih se v izbranem obdobju rahlo znižuje s trendom – 1 mm / 10 let, po letu 1990 pa je trend – 10 mm / 10 let. Trendi padavin se po dekadah razlikujejo. Zlasti v dekadah poletnih mesecih so trendi negativni, v dekadah mesecev maja in septembra pa so trendi po večini pozitivni.

Odklon povprečnih dekadnih padavin po letih od dolgoletnega povprečja se kaže zlasti med leti 1978 in 1988 ter po letu 1999.

Mesec z največ padavinami v vegetacijski dobi je v izbranem obdobju september. V poletnih mesecih junija, julija, avgusta ter v aprilu je trend količine padavin negativen, v maju in septembru pa pozitiven.

Jesenski mesec oktober ima pozitiven trend količine padavin, trendi ostalih mesecev pa so negativni.

Število padavinskih dni v celem letu izbranega obdobja se povečuje s trendom + 8 dni / 10 let, v vegetacijski dobi s trendom + 4 dni / 10 let. Količina padavin na padavinski dan se znižuje preko celega leta in v vegetacijski dobi. V obeh primerih znaša trend – 1 mm / 10 let. Število dni s padavinami večjimi od 1 mm se v vegetacijski dobi znižuje s trendom – 2 dni / 10 let.

Najbolj sušna leta so v drugi polovici izbranega obdobja in si sledijo 2003, 2006, 1985, 1983, 1963, 1999, 1986, 1982, 2004, 1987 in 2000.

5.1.3 Primanjkljaji

5.1.3.1 Tla, ki dobro zadržujejo vodo

Vsota primanjkljajev v tleh, ki dobro zadržujejo vodo, v vegetacijski dobi med leti 1963 in 2006 se zvišuje s trendom + 14 mm / 10 let. V obdobju po letu 1990 je trend še večji in znaša + 20 mm / 10 let.

Število dni s primanjkljajem v vegetacijski dobi se povečuje s trendom + 2 dni / 10 let. Število dni s primanjkljajem ≥ 2 mm se veča s trendom + 5 dni / 10 let.

V vseh mesecih vegetacijske dobe se primanjkljaj povečuje, zlasti v poletnih mesecih.

Povprečni primanjkljaj na dekada po letih se v vegetacijski dobi zvišuje s trendom + 1 mm / 10 let. Razen osemnajste deкаде so v vseh dekadah trendi pozitivni. Očiten odklon od povprečja v smeri povečanja primanjkljaja se pojavlja po letu 1991.

Leta z najvišjimi primanjkljaji v izbranem obdobju si sledijo 2003, 2002, 1994, 2006, 2001, 1998, 1993, 2000, 1992, 1999 in 1986.

5.1.3.2 Tla, ki slabo zadržujejo vodo

Vsota primanjkljajev v tleh, ki slabo zadržujejo vodo, v vegetacijski dobi med leti 1963 in 2006 se zvišuje s trendom + 14 mm / 10 let. V obdobju po letu 1990 je trend še večji in znaša + 20 mm / 10 let.

Število dni s primanjkljajem v vegetacijski dobi se povečuje s trendom + 1 dan / 10 let. Število dni s primanjkljajem ≥ 2 mm se veča s trendom + 6 dni / 10 let.

V vseh mesecih vegetacijske dobe se primanjkljaj povečuje, zlasti v poletnih mesecih.

Povprečni primanjkljaj na dekada po letih se v vegetacijski dobi zvišuje s trendom + 1 mm / 10 let. Razen osemnajste deкаде so v vseh dekadah trendi pozitivni. Očiten odklon od povprečja v smeri povečanja primanjkljaja se pojavlja po letu 1991.

Leta z najvišjimi primanjkljaji v izbranem obdobju si sledijo 2003, 2002, 2006, 1994, 2001, 2005, 1999, 2000, 1998, 1992 in 1993.

5.2 SKLEPI

Na podlagi analiz meteoroloških podatkov in primanjkljajev med leti 1963 in 2006 za meteorološko postaje Bilje v Vipavski dolini smo ugotovili naslednje:

Povprečna dnevna temperatura zraka v vegetacijski dobi se v izbranem obdobju povečuje.

Količina padavin v vegetacijski dobi se v izbranem obdobju zmanjšuje.

Vodni primanjkljaj v obeh obravnavanih tipih tal v vegetacijski dobi se v izbranem obdobju povečuje.

S temi ugotovitvami smo potrdili vse hipoteze.

V izbranem obdobju so porast temperature zraka in porast vodnega primanjkljaja v tleh ter znižanje količine padavin najbolj izraziti v dekadah poletnih mesecev.

Trendi temperature zraka, količine padavin in primanjkljajev med leti 1963 in 2006 so izrazitejši pol letu 1992.

Število dni s padavinami se sicer zvišuje, je pa na padavinski dan količina padavin manjša.

Če sklepamo z rezultatov analiz preučevanih podatkov v vegetacijski dobi med 1963 in 2006, lahko predvidimo, da se bo v prihodnje temperatura zraka v Biljah v Vipavski dolini še naprej zviševala. Prav tako se bo povečeval primanjkljaj v tleh, zlasti v tleh, ki slabše zadržujejo vodo. Količina padavin bo manjša, zlasti v poletnih mesecih.

Kljub temu, da ne moremo direktno prenesti rezultatov naše študije na ostale predele Vipavske doline ali celo na celo Slovenijo, saj je območje Slovenije podnebno preveč raznoliko, pa lahko sklepamo, da se bo povprečna temperatura zraka zviševala po vsej Vipavski dolini in širše po Sloveniji. Prav tako lahko sklepamo, da se bodo primanjkljaji vode v tleh v podobnih tipih tal povečevali tudi drugod. V tleh, ki slabo zadržujejo vodo je pričakovati, da bodo primanjkljaji še večji. Najtežje je napraviti vzporednice z ostalimi kraji glede količine padavin, saj so trendi količine padavin v Biljah v Vipavski dolini statistično neznačilni, vseeno pa bi lahko ocenili, da se bo zlasti v poletnih mesecih količina padavin zmanjševala tudi drugje. Ker je kmetijstvo v Vipavski dolini, pa tudi širše, ena pomembnejših gospodarskih panog, lahko pričakujemo, da se bodo v naslednjih desetletjih povečala razna tveganja, ki spremljajo kmetijsko pridelavo.

V nadaljnjih analizah bi bilo smotrno preučevati vodne primanjkljaje še na več tipih tal z različno rastlinsko odejo, predvsem z gospodarsko pomembnimi rastlinami, ki so značilne za Vipavsko dolino, zlasti s trajnicami, v sadjarstvu in vinogradništvu. Smotrno bi bilo napraviti še detaljnjšo analizo kapacitete tal za rastlinam dostopno vodo. Prav tako bi morali narediti analize na več meteoroloških postajah po vsej Vipavski dolini in morda še razširiti obdobje preučevanja, da bi bili rezultati še reprezentativnejši.

6 POVZETEK

Poleg naravnih dejavnikov dobiva antropogen vpliv na klimo daljnoročne globalne razsežnosti. Energijska bilanca Zemlje se spreminja. Meritve meteoroloških spremenljivk kažejo na spremembe nekaterih klimatskih značilnosti. Povprečna globalna temperatura na zemeljskem površju se je v 20. stoletju zvišala.

V zadnjih letih kažeta trenda temperature zraka in količine padavin tudi v Sloveniji na povečanje temperature zraka in znižanje količine padavin v vegetacijskem obdobju. Zviševanje temperature zraka in zmanjševanje količine padavin se najprej opazita na vodni bilanci tal. Ob pomanjkanju vode in visokih temperaturah zraka se pojavlja suša, ki lahko povzroči zmanjšan ali celo uničen pridelek.

Povod za raziskovalno delo so bile predhodne analize na podlagi meteoroloških podatkov, ki kažejo, da se podnebje spreminja in se bo tudi v prihodnosti. Zaradi dviga temperature zraka in zmanjšanja količine padavin se primanjkljaji v tleh večajo, s tem pa je kmetijska pridelava vse bolj ogrožena.

Namen naloge je bil z analizami meteoroloških podatkov in vodnih primanjkljajev v Biljah v Vipavski dolini preučiti trende temperature zraka, količine padavin ter vodnih primanjkljajev v tleh, ki dobro in slabo zadržujejo vodo, ter tako predvideti, kako bodo v prihodnje omenjeni dejavniki vplivali na vodno bilanco tal v Biljah v Vipavski dolini in okolici.

V raziskavi smo analizirali meteorološke podatke v vegetacijski dobi med leti 1963 in 2006 za meteorološko postajo Bilje v Vipavski dolini in sicer temperaturo zraka, količino padavin ter primanjkljaje vode v tleh, ki dobro in slabo zadržujejo vodo, kateri so bili izračunani z agrometeorološkim računalniškim programom IRRFIB. Vse podatke smo dobili na ARSO in smo jih v raziskavi statistično obdelali. Pri preučevanih spremenljivkah smo pregledovali razpore le teh v izbranem času (dekade, meseci, leta), variabilnost med leti, variabilnost po dekadah vegetacijske dobe in trende. S pomočjo verjetnostne porazdelitve smo spremenljivke med 1963 in 2006 porazdelili glede na velikost.

Ugotovili smo, da se v Biljah v Vipavski dolini v vegetacijskem obdobju med leti 1963 in 2006 povprečna dnevna temperatura zraka povečuje, količina padavin se zmanjšuje, primanjkljaji vode v obeh tipih tal pa se povečujejo. Število dni s padavinami se sicer zvišuje, je pa na padavinski dan količina padavin manjša. Pojavi so izrazitejši v poletnih mesecih, zlasti po letu 1992.

Če sklepamo z rezultatov analiz preučevanih podatkov, lahko predvidimo, da se bo v prihodnje temperatura zraka v Biljah še naprej zviševala, prav tako se bo povečeval vodni primanjkljaj v tleh ter da bo količina padavin manjša, zlasti v poletnih mesecih. Podobno lahko sklepamo za vso Vipavsko dolino in tudi širše po Sloveniji.

V nadaljnjih raziskavah bi bilo smotno preučevati vodne primanjkljaje še na več tipih tal z različno rastlinsko odejo, predvsem z gospodarsko pomembnimi rastlinami značilnimi za Vipavsko dolino. Morali bi narediti analize na več meteoroloških postajah po vsej Vipavski dolini in morda še razširiti obdobje preučevanja.

7 VIRI

- Allen R., Pereira L., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO.
<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents> (10. okt 2007)
- ARSO. 2006. Agrometeorološki podatki. Vodna bilanca za pretekli dan, teden in vegetacijsko obdobje. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje
http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/agro_podatki.html
(14.nov 2007)
- ARSO. 2007. Agrometeorološki podatki. Klimatski podatki. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.
<http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/bilje.html> (15. dec 2007)
- Bellisario M., Reggiori G., Succi I. 1992. L' Irrigazione delle colture agrarie. Ravenna, Amministrazione Provinciale di Ravenna: 24 str.
- Bouwer H. 2002. Integrated water management for 21st century: problems and solutions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 128: 193-202
- Bilje.si. 2007.
<http://www.bilje.si/biljedanes.html> (15. mar. 2007)
- Brilly M., Šraj M. 2000. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 234 str.
- Buser S., 1973. Osnovna geološka karta SFRJ. 1:100 000. L33-78. Tolmač lista Gorica. Beograd, Zvezni geološki zavod: 73 str.
- Cegnar T. 2003. Podnebne spremembe in padavinski režim. V: 14. Mišičev vodarski dan 2003. Zbornik referatov. Maribor, 5. december 2003. Maribor, Vodnogospodarski biro Maribor, Vodnogospodarsko podjetje Drava: 62 - 69
- Curtis H., Barnes N. S. 1994. Invitation to biology. New York, Worth Publishers, Inc.: 862 str.
- Črepinšek Z. 2006. Thornthwaitova metoda ocena izhlapevanja z vodno bilanco tal. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za agrometeorologijo: 39 str.
<http://web.bf.uni-lj.si/agromet/Vodna%20bilanca.ppt> (15. mar. 2006)
- Čuden Osredkar D., Pintar M. 2003. Postopek pridobitve in soglasij za namakalni sistem. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Mond Grafika: 31 str.
<http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/1-POSTOPKI.pdf>
(15. feb. 2006)
- Ćirić M. 1984. Pedologija. Sarajevo, »Svjetlost«, OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva: 311 str.
- Dimitrijević M., Karamata S., Sikošek B., Veselinović D., 1973. Osnovna geološka karta, L33-76 Gorica. Beograd, Zvezni geološki zavod: 50 str.

- Gregorič G., Cegnar T., Sušnik A., Jerman J. 2004. Podnebje – preteklo, sedanje in prihodnje. Znanost. Štirinajstdnevna znanstvena priloga časnika Delo, (22. marec 2004): 8 - 9
- Hočevar A., Petkovšek Z. 1984. Meteorologija, osnove in nekatere aplikacije. Ljubljana, Partizanska knjiga: 219 str.
- Kajfež-Bogataj L. 2001. Kakšna bo klima 21. stoletja? Zbornik biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kmetijstvo, 77, 2: 309 - 318
- Kajfež-Bogataj L. 2003a. Kaj bo kmetijstvu prinesla sprememba podnebja? Sodobno kmetijstvo, 36, 2: 13 - 18
- Kajfež-Bogataj L. 2003b. Kaj pomeni sprememba podnebja za slovensko kmetijstvo? V: Kaj storiti za zmanjšanje posledic suše v kmetijstvu? Posvet. Gornja Radgona, 28. avgust. 2003. Naglič M., Jagodic A. (ur.). Ljubljana, Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije: 9 - 16
- Kajfež-Bogataj L. 2004. Scenariji so pripravljeni, kaj pa mi? Znanost. Štirinajstdnevna znanstvena priloga časnika Delo, (9. februar 2004): 4 - 5
- Kajfež-Bogataj L., Bergant K. 2003. Vpliv podnebnih sprememb v Sloveniji na porazdelitev območij s potencialnim primanjkljajem vode v tleh. Sodobno kmetijstvo, 36, 2: 19 - 21
- 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 -169
- Kajfež-Bogataj L., Črepinšek Z. 2006. Vodni cikel – voda v atmosferi. Gradivo za vaje in izpite. Biotehniška fakulteta, Katedra za agrometeorologijo: 10 str.
<http://web.bf.uni-lj.si/agromet/slikovno%20gradivo%205.pdf> (15. feb 2006)
- Kajfež-Bogataj L., Črepinšek Z., Pintar M., Zupanc V., Ruprecht J., Bergant K., Sušnik A., Trček B. 2005. Vpliv klimatskih sprememb na rastlinsko pridelavo v Sloveniji - primer Vipavske doline: zaključno poročilo o rezultatih opravljenega raziskovalnega dela na projektu v okviru ciljnega raziskovalnega programa (CRP) "Konkurenčnost Slovenije 2001-2006". Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 70 str.
- Kastelic, D. in Košmelj, K. 1996. Statistične tabele. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 15 s.
- Klobučar B., Gračan R., Todorčić I. 1982. Splošno poljedelstvo. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 172 str.
- Košmelj B. 1996. Statistika. Ljubljana, DZS: 235 str.
- Matajc I. 2001. Meteorological applications for agriculture, Summary on the Irrfib model: 2 str.
<http://agromet-cost.bo.ibimet.cnr.it/fileadmin/cost718/repository/irrfib.pdf> (1. apr 2006)
- Matičič B., Lobnik F., Avbelj L., Hočevar A., Kajfež – Bogataj L., Tajnšek A., Osvald J., Štampar F., Korošec – Koruza Z., Čop J., Ozbič F., Mikluš I., Berčič S., Kovačič I.,

- Pintar M. 1995. Namakanje v Sloveniji. Del 1. Osnove. Ljubljana, Slovensko društvo za namakanje in odvodnjo: 115 str.
- »Meteorološki podatki«. 2003. Ljubljana, Agencija RS za okolje (arhiv podatkov)
- Mihelič R. 2007. Pomen tal za preprečevanje suše v kmetijstvu. *Sodobno kmetijstvo*, 40, 2: 3
- Moore R., Dennis Clark W., R. Stern D. 1995. Botany. Dubuque, Usa, Wm. C. Brown Communications, Inc.: 824 str.
- Ogrin D., Fridl J., Kladnik D., Adamič M., Perko D. 1998. Geografski atlas Slovenije. Ljubljana, DZS: 360 str.
- Parry M.L., Carter T. 1998. Climate change impact and adaptation assessment. London, Earthscan: 167 str.
- Pintar M., 2003a. Osnove namakanja: s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v severovzhodni Sloveniji. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Ljubljana: 51 str.
http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/saSSo/Publikacije/10-namakanje_v_sadjarstvu.pdf (15. okt 2007)
- Pintar M. 2003b. Prednosti in slabosti različnih načinov namakanja. V: Kaj storiti za zmanjšanje posledic suše v kmetijstvu? Posvet. Gornja Radgona, 28. avgust 2003. Naglič M., Jagodic A. (ur.). Ljubljana, Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije: 23 - 32
- Pristov J., Kolbezn M. 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor: Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 29 str.
http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%c4%8dila/bilanca6190_2_BESEDILO.pdf (15. feb 2006)
- Raghavendra A.S. 1991. Physiology of trees. New York, John Wiley & sons, Inc.: 509 str.
- Rakovec J., Vrhovec T. 2000. Osnove meteorologije, za naravoslovce in tehnike. Ljubljana, DMFA: 329 str.
- Reynolds R. 2004. Vremenski vodnik. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 192 str.
- Ritzema H. P. 1994. Drainage principles and applications. ILRI. 16. Second Edition. Wageningen, ILRI Publication: 1125 str.
- Ruprecht J. 2003. Desorpcijske značilnosti tal za vodo. *Sodobno kmetijstvo*, 36, 2: 21 – 22, 27
- Schachtschabel P., Blume H., P., Hartge K. H., Schwertmann U. 1976. Lehrbuch der Bodenkunde. 9. Auflage neubearbeitet. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart: 394 str.
- Sinkovič T. 2000. Uvod v botaniko. Ljubljana, Oddelek za agronomijo Biotehniške fakultete: 176 str.
- Suhadolc M., Ruprecht J., Zupan M. 2005. Priročnik za vaje iz pedologije. Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo rastlin: 42 str.

- Sušnik A. 2003a. Evapotranspiracija – Penman-Monteithovi enačba in problematika vhodnih meteoroloških spremenljivk. Seminarska naloga. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana: 27 str.
- Sušnik A. 2003b. Pogostejše zimske otoplitve. Sodobno kmetijstvo, 36, 1:39
- Sušnik A., Matajc I., Habič B. 2003a. Modeliranje v agrometeorologiji. Agencija RS za okolje, Urad za meteorologijo.
<http://www.arso.gov.si/cd/klima1/Zaslon/PDF%20Zaslon/40-Namakalni%20modeli%20in%20modeli%20za%20napoved%20rastlinskih%20bolez%85.pdf> (15. feb 2006)
- Sušnik A., Kajfež – Bogataj L., Črepinšek Z., Bergant K., Kurnik B., Matajc I., Rogelj D., Cegnar T., Žust A., Dolinar M., Pečenko A., Gregorčič G. 2003b. Ranljivost slovenskega kmetijstva in gozdarstva na podnebno spremenljivost in ocena predvidenega vpliva. Ministrstvo za okolje, prostor in energijo RS, Agencija RS za okolje: 146 str.
<http://www.arso.gov.si/vreme/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/ranljivost.pdf> (15. feb. 2006)
- Sušnik A. 2006. Vodni primanjkljaj v Sloveniji in možni vplivi podnebnih sprememb. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 147 str.
- Stephens D.B. 1995. Vadose zone hydrology. Florida, CRC Press, Lewis publishers: 347 str.
- Taiz L., Zeiger E. 2002. Water balance of plants. Plant physiology on line. A companion to plant physiology. Third edition. Sunderland, Sinauer Associates.
<http://plantphys.net/chapter.php?ch=4> (10. maj 2004)
- Wilhite D. 2003. National Drought Mitigation Centre, University of Nebraska, Lincoln, USA.
<http://www.drought.unl.edu/> (15. feb 2006)
- Wilhite D., Glantz M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International, 10: 111 - 120
- Zupan M. 2007. Pedološka karta. Sodobno kmetijstvo, 40, 2: 13 – 15

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici, prof. dr. Lučki Kajfež-Bogataj, za strokovno pomoč ter za ves čas in dobro voljo, ki ju je namenila za diskusije, nasvete in ideje pri izdelavi diplomskega dela.

Iskreno se zahvaljujem tudi mag. Andreji Sušnik in Blažu Kurniku, univ. dipl. meteorol., za posredovanje podatkov z ARSA ter za strokovno pomoč.

Hvala mag. Marku Habjanu, Mirku Gaberšku, Tomažu Kralju, uni. dipl. ing. agr. in vsem ostalim, ki so mi kakorkoli pomagali pri delu.

Staršema se zahvaljujem za moralno in materialno pomoč v času študija.

Maji se zahvaljujem za vzpodbudo in razumevanje v času zaključevanja diplomskega dela.

PRILOGA

Kategorije desorpcijskih značilnosti tal za vodo na območju Vipavske doline.

