

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Vesna ZUPANC

**DOLOČITEV POTREB PO NAMAKANJU  
BRESKEV IN NEKTARIN V VIPAVSKI DOLINI OB  
SPREMENJENI VODNI BILANCI TAL**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Ljubljana, 2003

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Vesna ZUPANC

**DOLOČEVANJE POTREB PO NAMAKANJU V VIPAVSKI  
DOLINI ZA BRESKVE IN NEKTARINE OB SPREMENJENI  
VODNI BILANCI TAL**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**IRRIGATION DEMAND ASSESMENT IN VIPAVA VALLY FOR  
PEACHES AND NECTARINES CONSIDERING CHANGED SOIL  
WATER BALANCE**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2003

Doktorska disertacija je zaključek podiplomskega študija agronomije. V celoti je bila opravljena je bila na Centru za urejanje kmetijskega prostora in agrohidrologijo Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Po sklepu Senata Biotehniške fakultete in po sklepu Komisije za podiplomski študij univerze z dne 14.01.2003 (po pooblastilu Senata Univerze v Ljubljani z dne 07.01.2003) sta bili imenovani za mentorico doktorske disertacije z naslovom 'Določitev potreb po namakanju breskev in nektarin v Vipavski dolini ob spremenjeni vodni bilanci tal' doc. dr. Marina Pintar in somentorico prof. dr. Lučka Kajfež – Bogataj.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Franc Lobnik

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: doc. dr. Marina Pintar

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Članica: prof. dr. Lučka Kajfež – Bogataj

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Miran Veselič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za montanistiko in geologijo

Datum zagovora: 22.5.2003

Doktorska disertacija je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Doktorandka  
Vesna Zupanc

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dd  
 DK UDK 631.671:556.1:551.586:631.432:634.25/.26(043.3)  
 KG Vodna bilanca /tla /namakanje /modeliranje /SWAP /GLEAMS /potrebe po namakanju /breskve/ nektarine  
 KK AGRIS P12/P40/P33  
 AV ZUPANC, Vesna, univ. dipl. inž. agr.  
 SA PINTAR, Marina (mentor)/KAJFEŽ – BOGATAJ, Lučka (somentor)  
 KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
 ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo  
 LI 2003  
 IN DOLOČITEV POTREB PO NAMAKANJU BRESKEV IN NEKTARIN V VIPAVSKI DOLINI OB SPREMENJENI VODNI BILANCI TAL  
 TD Doktorska disertacija  
 OP XXIII, 121 str., 22 pregl., 80 sl., 11 pril., 106 vir.  
 IJ sl  
 JI sl/en
- AI Za oceno vpliva spremenjenih členov vodne bilance tal na potrebe po namakanju breskev in nektarin v Vipavski dolini so za meteorološko postajo Bilje v obdobju 1961 – 1990 na 15 talnih profilih za 7 pedokartografskih enot uporabili računalniška modela SWAP in GLEAMS. Za šest scenarijev klimatskih sprememb (kombinacija povečanja temperature zraka za 1,5°C, 3°C in 4,5° ter zmanjšanih dnevnih količin padavin za 10% preko celega leta oz. zmanjšanih padavin v obdobju april – september za 10 % s povečanjem padavin v obdobju oktober – marec za 10%) so primerjali potrebe po namakanju. Računalniški model SWAP se je pokazal kot precizno in močno orodje za oceno elementov vodne bilance tal na nivoju prereza opazovanega oz. proučevanega profila od površine tal do stika s podtalnico. Računalniški model GLEAMS je pri izračunu absolutnih vrednosti manj natančen, vendar je enostaven za uporabo, kar je njegova glavna prednost. V obravnavanem obdobju 1961 – 1990 so rezultati izračuna primanjkljaja vode v tleh v Vipavskih dolini za breskve in nektarine z modeloma SWAP in GLEAMS pokazali, da je primanjkljaj na hidromorfni tleh v povprečju nižji pri modelu SWAP (108 – 240 mm/leto) in pri modelu GLEAMS (0 – 293 mm/leto) kot na avtomorfni tleh, kjer je pri modelu SWAP primanjkljaj 147 – 300 mm/leto in pri modelu GLEAMS 284 – 331 mm/leto. Primanjkljaj vode je ob uporabljenih scenarijih klimatskih sprememb na avtomorfni tleh višji (do 620 mm) kot na hidromorfni tleh (do 530 mm). Vendar je relativna razlika med višino primanjkljaja vode v opazovanem obdobju (1961 – 1990) in višino primanjkljaja pri uporabljenih klimatskih scenarijih za breskve in nektarine v Vipavski dolini na hidromorfni tleh večja (0 – 77%) kot na avtomorfni tleh (15 – 45%).

### KEY WORD DOCUMENTATION

ŠD Dd  
 DK UDC 631.671:556.1:551.586:631.432:634.25/.26(043.3)  
 KG Soil water balance/ irrigation/ modelling/ SWAP/ GLEAMS/ irrigation demand/ peaches/ nectarines  
 KK AGRIS P12/P40/P33  
 AV ZUPANC, Vesna  
 SA PINTAR, Marina (supervisor)/KAJFEŽ – BOGATAJ, Lučka (co-supervisor)  
 KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
 ZA University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department for Agronomy  
 LI 2003  
 IN IRRIGATION DEMAND ESTIMATION FOR PEACHES AND NECTARINES IN VIPAVA VALLEY CONSIDERING CHANGED SOIL WATER BALANCE  
 TD Doctoral dissertation  
 OP XXIII, 121 p., 22 tab., 80 fig., 11 app., 106 ref.  
 IJ sl  
 JI sl/en

AI For estimation of changed soil water balance parameters impact on irrigation demand for peaches and nectarines in Vipava valley for meteorological station Bilje in period 1961 – 1990 for 15 soil profiles for 7 soil cartographic units computer models SWAP and GLEAMS have been used. For six climate change scenarios (combination of increased air temperature for 1.5°C, 3°C and 4.5°C and decreased precipitation amount for 10% throughout the year or decreased precipitation amount in April – September for 10% and increase precipitation amount in October – March for 10%) irrigation demand has been compared. Computer model SWAP has shown to be precise and powerful tool for soil water balance estimation on the scale of studied soil profile cross section between surface and groundwater level. Computer model GLEAMS has shown to be less exact when calculating absolute values but simple to use which is its main advantage. In studied period 1961 – 1990 the water shortage calculations with models SWAP and GLEAMS for Vipava valley for peaches and nectarines have shown lower water shortage on fluvisols with model SWAP (108 – 240 mm/year) and model GLEAMS (0 – 293 mm/year) compared to the cambisols where water shortage reaches 147 – 300 mm/year with model SWAP and 284 – 331 mm/year with model GLEAMS. Water shortage with applied climate change scenarios is higher for cambisols (up to 620 mm) than for fluvisols (up to 530 mm). Relative difference between water shortage in studied period 1961 – 1990 and water shortage of applied climate change scenarios for peaches and nectarines in Vipava valley is higher on fluvisols (0 – 77%) compared to the cambisols (15 – 45%).

## KAZALO VSEBINE

	Str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Word Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	X
Kazalo prilog	XVI
Seznam okrajšav in simbolov	XVII







## KAZALO PREGLEDNIC



## KAZALO SLIK















## KAZALO PRILOG

- Priloga A: Izhodna datoteka modela SWAP (Bilje.bal) in izris izhodne datoteke za meteorološko postajo Bilje za leto validacije, 2002.
- Priloga B: Izhodna datoteka modela GLEAMS (hidrologija) za meteorološko postajo Bilje za leto validacije, 2002.
- Priloga C: Uporabljeni podatki pedoloških profilov iz oddelka avtomorfnih tal pedološke karte CPVO za vhodne podatke v Mualem – Van Genuchten PTF modelu ter izračunani izhodni parametri, uporabljeni kot vhodni podatki v modelih SWAP in GLEAMS.
- Priloga D: Uporabljeni podatki pedoloških profilov iz oddelka hidromorfnih tal pedološke karte CPVO za vhodne podatke v Mualem – Van Genuchten PTF modelu ter izračunani izhodni parametri, uporabljeni kot vhodni podatki v modelih SWAP in GLEAMS.
- Priloga E: Legenda pedoloških profilov glede na tip tal in pedokartografsko enoto.
- Priloga F: Legenda oznak horizontov, ki se pojavljajo v uporabljenih pedoloških profilih.
- Priloga G: Globina tal [cm] glede na pedokartografsko enoto in pedološki profil ter teksturni razred.
- Priloga H: Primanjkljaj vode v tleh [mm] v vegetacijskem obdobju, dobljen z modelom SWAP (Van Dam in sod., 1997) za referenčni niz podatkov (1961 – 1990) za meteorološko postajo Bilje za pedološke profile iz oddelka avtomorfnih tal.
- Priloga I: Primanjkljaj vode v tleh [mm] v vegetacijskem obdobju, dobljen z modelom SWAP (Van Dam in sod., 1997) za referenčni niz podatkov (1961 – 1990) za meteorološko postajo Bilje za pedološke profile iz oddelka hidromorfnih tal.
- Priloga J: Primanjkljaj vode v tleh [mm] v vegetacijskem obdobju, dobljen z modelom GLEAMS (Knisel in sod., 1993) za referenčni niz podatkov (1961 – 1990) za meteorološko postajo Bilje za pedološke profile iz oddelka avtomorfnih tal.
- Priloga K: Primanjkljaj vode v tleh [mm] v vegetacijskem obdobju, dobljen z modelom GLEAMS (Knisel in sod., 1993) za referenčni niz podatkov (1961 – 1990) za meteorološko postajo Bilje za pedološke profile iz oddelka hidromorfnih tal.

## SEZNAM OKRAJŠAV IN SIMBOLOV

### KRATICE

	Razlaga
CN	Curve Number
GLEAMS	Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems
HYPRES	HYdraulic PROPERTIES of European Soils Database
FDR	Frequency Domain Reflectometry
LAI	Indeks listne površine (Leaf Area Index)
MAD	Največji dovoljeni primanjkljaj (Maximum Allowable Depletion)
MSC	Modeli splošne cirkulacije (Global Circulation Model)
MRC	Modeli regionalne cirkulacije (Regional Circulation Model)
PK	Poljska kapaciteta (Field Capacity)
SCS	Soil Conservation Service
SP	Stopnje prostosti
SWAP	Soil – Water – Atmosphere – Plant
TV	Točka venenja (Wilting Point)
VS	cm oz. m Vodnega Stolpa
WOFOST	WORld FOod STudies
WUE <sub>ph</sub>	Fotosintetska učinkovitost izrabe vode (Water Use Efficiency)

### SIMBOLI

Velike črke	Enote	Razlaga
<i>A</i>	cm <sup>2</sup>	Površina preseka
<i>C</i>	J g <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>	Toplotna kapaciteta vlažnega zraka
<i>C<sub>ws</sub></i>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Specifična kapaciteta tal za vodo
<i>C<sub>s</sub></i>	-	Koeficient za izračun toka vode v modelu GLEAMS
<i>CU</i>	mm	Konzumpcijska poraba vode

$D$	mm dan <sup>-1</sup>	Pronicanje v nasičeno cono
$D_s$	cm	Globina površinske cone
$E$	mm dan <sup>-1</sup>	Evaporacija tal
$E_a$	mm dan <sup>-1</sup>	Dejanska evaporacija tal
$E_0$	mm dan <sup>-1</sup>	Evaporacija mokrih tal
$E_{max}$	mm dan <sup>-1</sup>	Maksimalen tok vode iz zgornje plasti tal
$E_p$	mm dan <sup>-1</sup>	Potencialna evaporacija tal
$E_{p0}$	mm dan <sup>-1</sup>	Potencialna evaporacija golih tal
$ET_{avg}$	mm dan <sup>-1</sup>	povprečna evapotranspiracija
$ET_{breskev}$	mm dan <sup>-1</sup>	Evapotranspiracija breskev
$ET_0$	mm dan <sup>-1</sup>	Referenčna evapotranspiracija
$ET_p$	mm dan <sup>-1</sup>	Potencialna evapotranspiracija
$ET$	mm dan <sup>-1</sup>	Evapotranspiracija
$F_m$	kg m s <sup>-2</sup>	Sile matriksa
$G$	J m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Toplotni tok tal
$H$	m	Celokupni potencial pritiska vode
$H_{0,1}$		Ničelna in alternativna domneva
$I$	mm dan <sup>-1</sup>	Stopnja infiltracije
$J$	-	Hidravlični gradient
$K$	cm dan <sup>-1</sup>	Koeficient hidravlične prevodnosti
$K_a$	mm	Kapilarna voda
$K_{et}$	-	Karmanova brezdimenzijska konstanta
$K_{LAI}$	-	Koefficient slabitve kratkovalovnega sevanja
$K_o$	mm	Kondenzirana voda
$K_s$	cm dan <sup>-1</sup>	Koeficient nasičene hidravlične prevodnosti
$L_i$	MJ kg <sup>-1</sup>	Izparilna toplota za vodo
$P$	mm	Padavine
$R$	mm	Odtok

$R_n$	$\text{MJ m}^{-2}\text{dan}^{-1}$	Neto sevanje
$R_v$	$\text{J kg K}^{-1}$	Specifična plinska konstanta za vodno paro
$S$	$\text{dan}^{-1}$	Ponor s strani korenin
$SC$	-	Koeficient pokritosti tal, ki je funkcija prestrežene svetlobe
$S_{max}$	$\text{mm dan}^{-1}$	Največji odvzem s strani korenin
$S_m$	N	Matrična tenzija vode
$S_p$	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	Vsebnost vode pri nasičenju v RZ
$S_s$	$\text{cm}^3$	Vsebnost vode pri nasičenju v modelu GLEAMS
$ST$	$\text{cm}^3$	Volumen zadržane vode v modelu GLEAMS
$S_w$	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	Stopnja nasičenosti
$T$	$\text{mm dan}^{-1}$	Transpiracija rastlin
$T_a$	$\text{mm dan}^{-1}$	Dejanska transpiracija
$T_l$	$\text{mm dan}^{-1}$	Transpiracija rastlin znižana zaradi sušnega stresa
$T_h$	$\text{mm dan}^{-1}$	Transpiracija ob zadostni količini vode v tleh
$T_p$	$\text{mm dan}^{-1}$	Potencialna transpiracija
$T_{p0}$	$\text{mm dan}^{-1}$	Potencialna transpiracija suhe rastline
$U$	$\text{mm dan}^{-1}$	Stopnja kapilarnega dviga iz nasičene cone
$V$	$\text{cm}^3$	Volumen vode, ki se vgradi v vegetativne dele
$V_a$	$\text{cm}^3$	Volumen plinaste faze tal
$V_b$	$\text{cm}^3$	Celokupni volumen tal
$VB$	mm	Vodna bilanca
$V_s$	$\text{cm}^3$	Volumen trdne faze tal
$V_v$	$\text{cm}^3$	Volumen praznega prostora tal
$(V_v)_e$	$\text{cm}^3$	Volumen povezanih (efektivnih) por
$(V_v)_{ne}$	$\text{cm}^3$	Volumen slepih – nepovezanih por
$V_w$	$\text{cm}^3$	Volumen tekoče faze tal
$W$	mm	Založenost tal z vodo
$W_{in}$	mm	Količina dodane vode

$W_{out}$	mm	Količina odvezete vode
$W_i$	mm	Količina vode dodane z namakanjem
$W_g$	mm	Gravitacijska voda
Majhne črke	Enote	Razlaga
$d$	m	Višinski odmik od osnovne ravnine
$\bar{d}$		Povprečna razlika dveh vzorcev
$e_s$	mm Hg	Nasičeni parni pritisk
$e$	mm Hg	Delni parni pritisk
$f$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Poroznost
$f_e$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Efektivna poroznost
$f_2$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Fracija rastlini dostopne vode, pri kateri se prične namakanje v modelu SWAP
$g$	m s <sup>-2</sup>	Gravitacijski pospešek
$h$	m	Hidravlični potencial pritiska
$h_{atm}$	m, Pa	Atmosferski pritisk
$h_c$	m	Višina kapilarnega dviga
$h_e$	m	Matrični potencial, ko se osušijo največje pore
$h_g$	m	Gravitacijski potencial
$h_{lim}$	m	Potencial na površini tal, ki je lahko omejujoč pri infiltraciji
$h_m$	m	Matrični potencial
$h_l^j$	-	Iterativni korak
$h_o$	m	Ozmotski potencial pritiska
$h_p$	m	Hidravlični potencial pritiska
$h_v$	m	Višina vegetacije
$k$	cm <sup>2</sup>	Specifična prepustnost
$k_c$	-	Koeficient rastlin
$l_{i,j}$	-	Komponenta normale v smereh $i$ in $j$

$m$	-	Van Genuchtenov parameter 1
$m_s$	g	Masa suhih tal
$m_w$	g	Masa vode
$n$	-	Van Genuchtenov parameter 2
$n_p$	-	Število parov
$q$	cm dan <sup>-1</sup>	Gostota toka vode, tudi Darcyev tok
$q_r$	mm dan <sup>-1</sup>	Intenziteta dežja
$q_s$	mm dan <sup>-1</sup>	Tok vode v enem dnevu
$r$	m	Radij por
$r_c$	s m <sup>-1</sup>	Upornost rastlinskega pokrova
$r_s$	s m <sup>-1</sup>	Stomatalna upornost
$r_a$	s m <sup>-1</sup>	Aerodinamična upornost
$s$	Pa K <sup>-1</sup>	Nagib krivulje nasičenega parnega tlaka pri temperaturi T
$s_d$	-	Standardni odklon razlik
$t$	dan	Časovni korak
$u_z$	m s <sup>-1</sup>	Hitrost vetra
$z$	m	Referenčna ravnina
$z_h$	m	Višina merske točke vlažnosti in temperature
$z_l$	m	Globina korenin, do katere namakamo
$z_m$	m	Višina merske točke vetra
$z_{om}$	m	Parameter hrapavosti, ki vpliva na prenos zaradi vetra
$z_{oh}$	m	Parameter hrapavosti, ki vpliva na prenos toplote in vlage
$z_r$	m	Globina korenin, ki jo model SWAP upošteva pri izračunu
$z_{tal}$	m	Globina horizonta v talnem profilu

Velike grške črke      Enote      Razlaga

$\Psi_m$	N m <sup>-2</sup>	Matrični potencial
$\Psi_p$	N m <sup>-2</sup>	Potencial pritiska

Majhne grške črke	Enote	Razlaga
$\alpha$	-	Van Genuchtenov parameter 3
$\beta$	-	Rastlini specifična funkcija odvzema vode
$\gamma$	Pa K <sup>-1</sup>	Psihrometrična konstanta
$\delta$	°	Kot omočenosti
$\varepsilon$	-	Parameter evaporacije tal
$\theta_a$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Vsebnost zraka
$\theta_{FC}$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Vsebnost vode pri poljski kapaciteti
$\theta_{h3}$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Zaloga vode v tleh pri zmanjšanem odvzemu vode
$\theta_r$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Rezidualna vsebnost vode
$\theta_s$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Nasičena vsebnost vode
$\theta_{SWRC}$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Specifična zadrževalna sposobnost tal
$\theta_{WP}$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Vsebnost vode pri točki venenja
$\theta_{rel}$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Relativna vsebnost vode
$\theta_w$	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Vsebnost vode
$\mu$	kg m <sup>-1</sup> dan <sup>-1</sup>	Koeficient dinamične viskoznosti
$\mu_{1,2}$	-	Povprečje letne vsote padavin
$\rho_a$	g cm <sup>-3</sup>	Gostota zraka
$\rho_b$	g cm <sup>-3</sup>	Gostota tal
$\rho_s$	g cm <sup>-3</sup>	Gostota talnih delcev
$\rho_w$	g cm <sup>-3</sup>	Gostota vode
$\sigma$	kg s <sup>-2</sup>	Površinska napetost
$\chi$	-	Koeficient skladiščenja pri modelu GLEAMS



## 1 UVOD

Voda je osnovni dejavnik v kmetijstvu in igra poleg lastnosti tal odločilno vlogo v rasti in razvoju rastlin. Trenda temperature zraka in padavin za Slovenijo kažeta na povečanje temperature zraka in zmanjšanje padavin v vegetacijskem obdobju, kar bo pri nas najbolj prizadelo kmetijstvo (Kajfež-Bogataj, 2000). S kmetijskega vidika bodo posledice klimatskih sprememb opazne na vodni bilanci tal. Izrazita sušna obdobja v zadnjih letih so najbolj občutile kmetijske rastline na lahkih propustnih tleh. Ob klimatskih spremembah pa lahko pričakujemo sušo tudi na tleh, ki sicer rastlinam nudijo optimalno oskrbo z vodo (Bergant in Kajfež-Bogataj, 1998). Kmetijska suša se pojavi takrat, ko v vegetacijskem obdobju rastlinam primanjkuje talne vlage za normalen razvoj, padavin je premalo, ali pa nastopijo ob nepravem času, zaradi česar pride do poškodb rastlin in v skrajni fazi do trajne uvelosti.

Pričakovati je, da bo voda v prihodnje eden izmed glavnih omejenih naravnih virov. Za določitev možnih ukrepov varčevanja z vodo je potrebno poglobljeno poznavanje vseh členov vodne bilance (Ma in sod., 1999). Za kmetijsko pridelavo je pomembna vodna bilanca v prerezu globine koreninskega spleta. Kmetijska suša je pomanjkanje vode, ki nastopi v času intenzivne rasti in razvoja kmetijskih rastlin v kritičnih fenoloških obdobjih, pridelek je zmanjšan ali pa celo popolnoma uničen. Količinsko in kakovostno primeren pridelek v času suše lahko zagotovimo z namakanjem rastlin (Pintar, 2003), vendar je lahko pri nestrokovnem določanju namakalnih parametrov povečana nevarnost spiranja hranil in sredstev za varstvo rastlin v podtalnico ter povečana nevarnost količinske preobremenitve vodnih virov (Pintar in Knapič, 2001).

Za simuliranje medsebojne povezave med rastlinami in okoljem ter za napovedovanje toka vode in prenosa snovi v talni raztopini se uporabljajo računalniški modeli, ki temeljijo na kemičnih, fizikalnih in bioloških zakonih, saj lahko zelo hitro generirajo veliko napovedi in različne situacije za določen problem. Tehnike modeliranja so omogočile doseči pomembne rezultate pri povezovanju znanj o sistemu rastlina – okolje. Številni računalniški modeli nam omogočajo analizo razmerij med fizikalnimi parametri tal in vremenskimi parametri, biotskimi in abiotskimi dejavniki, boljše razumevanje zapletenih sistemov ter predstavljajo primerno orodje ciljnemu uporabniku za vodenje in organizacijo pridelave (Bergant in Kajfež-Bogataj, 1999; Čenčur – Curk, 2002).

Modeli za simulacijo vodne bilance se uporabljajo za določanje optimalnih parametrov namakanja. Splošen cilj pri načrtovanju namakanja je povečanje neto izkoristka rastlinske pridelave, optimalna porazdelitev omejene količine razpoložljive vode, zmanjšanje onesnaženja podtalnice in površinskih voda oz. doseganje optimalne pridelave pri namakalnem sistemu z omejenimi kapacitetami (Batchelor, 1999; Martin de Santa Olalla Manas, 1999).

Za račun vodne bilance in vpliva obdobj s primanjkljajem vode v tleh na kmetijsko pridelavo in potrebe po namakanju smo uporabili 2D numerični model SWAP (Soil – Water – Atmosphere – Plant), ki omogoča večletno simulacijo medsebojnih vplivov

znotraj sistema tla – voda – rastlina – atmosfera (Van Dam in sod., 1997) ter model GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems), ki omogoča vrednotenje zapletenih medsebojnih vplivov med talnimi horizonti, podnebnimi dejavniki in hranili (Knisel in sod., 1993).

Namen raziskave je določiti potrebe po namakanju breskev in nektarin v Vipavski dolini ter oceniti vpliv spremembe vodne bilance tal. Namen dela je tudi primerjalno preveriti primernost teh dveh računalniških modelov za oceno potreb po namakanju na primeru breskev in nektarin v Vipavski dolini. Določitev potreb po namakanju je slonela na uporabi meteoroloških podatkov, meritvah vsebnosti vode v tleh ter podatkov o nekaterih fizikalnih lastnostih talnih profilov. Modela hkrati omogočata preučevanje spremenjenih potreb po namakanju na različnih talnih tipih glede na klimatske spremembe. Primerjava dveh modelov lahko poda dodatna znanja o fizikalnih procesih, ki so pomembni za izračun vodne bilance. Uporabnost modelov je mnogokrat omejena na pogoje, ki so podobni tistim, za katere je bil določen model razvit. Pri razvoju vsestranskih in kompleksnih modelov se za testiranje veljavnosti konceptov modela uporabljajo lokalne zbirke podatkov. Procesji so enaki, vendar je stopnja povezanosti procesov lahko zelo različna.

Na osnovi dolgoletnih meteoroloških podatkov (1961 – 1990) smo z računalniško simulacijo toka vode v vadozni coni opredelili dejanske potrebe po namakanju breskev in nektarin v Vipavski dolini. Namen dela je bilo tudi testiranje modelov SWAP in GLEAMS za pogoje v Sloveniji.

Izhodišče za pristop k delu je bilo, da sta računalniška modela SWAP in GLEAMS dobri orodji za določevanje vodne bilance tal ter da je zaradi predvidenih klimatskih sprememb (povečane temperature zraka in drugačne razporedite padavin) v Vipavski dolini pričakovati povečane potrebe po namakanju breskev in nektarin.

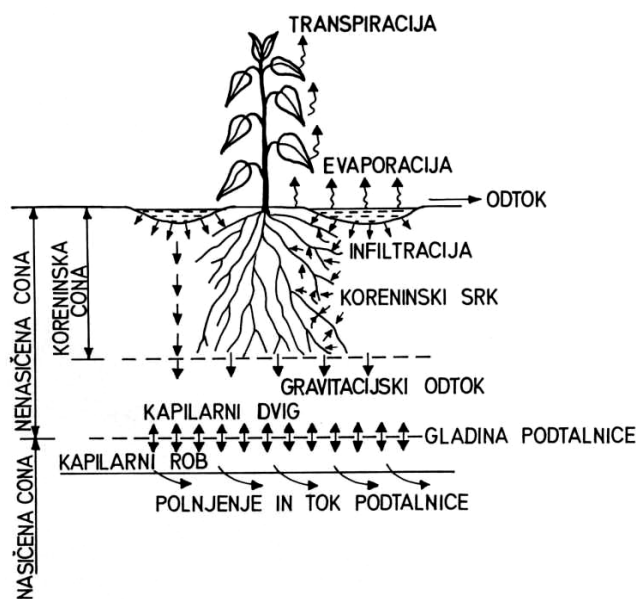
Na tej osnovi smo postavili hipotezo, da poznavanje in spremljanje členov vodne bilance tal omogoča časovno in prostorsko določitev pomanjkanja vode v tleh ter optimalno oceno potreb po namakanju. Predpostavili smo, da bo zaradi različnih vodnoretenzijskih lastnosti pomanjkanje vode zaradi predvidenih klimatskih sprememb na določenih talnih tipih bolj izraženo kot na drugih.

Predvidevali smo, da bo primerjava modelov GLEAMS in SWAP slednjega potrdila kot boljšo metodo za oceno, kako in do kakšne mere se bodo klimatske spremembe odražale na vodni bilanci tal. To smo predpostavili zaradi strukture modela ter numeričnih metod opisov toka vode, na katerih je model zgrajen in možnosti interakcije med posameznimi opisnimi segmenti, ki opisujejo vodo v sistemu tla – rastlina – atmosfera.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 VODA V SISTEMU TLA– RASTLINA – ATMOSFERA

Trenutni pristop k problemu odvzem vode iz tal ter porabe s strani rastlin sloni na spoznanju, da polje z vsemi komponentami – tlemi, rastlino in obdajajočo atmosfero – skupaj tvori fizikalno/fizično združen dinamičen sistem, v katerem potekajo različni procesi soodvisno kot členi v verigi (Kroes in sod., 1999). Ta nedefiniran sistem se imenuje t.i. kontinuum tla – rastlina – atmosfera. Univerzalni princip, privzet za ta sistem je, da pride spontano do toka vode z mesta z višjo potencialno energijo vode na mesto z nižjo potencialno energijo (Slika 1; Hillel, 1998). Uporabljeni različni izrazi za opis stanja vode v različnih delih sistema tal – rastlina – atmosfera so zgolj alternativni izrazi energijskega nivoja oziroma potenciala vode. Pravzaprav ravno navzočnost teh razlik ali gradientov potencialov med pripadnimi lokacijami v sistemu predstavljajo gonilno silo, ki povzroča tok znotraj tal ter med tlemi, rastlino in atmosfero (Boyer, 1995).



Slika 1: Voda v sistemu tla – rastlina – atmosfera (Hillel, 1998).

Figure 1: Water in the soil– plant–atmosphere system (Hillel, 1998).

### 2.2 ATMOSFERA

Zemljino ozračje, tanek sloj plinov okoli oble, ščiti in vzdržuje življenje na Zemlji. Ozračje je nenehno v gibanju zaradi sončnega sevanja, razlik v ogrevanju površine zemlje med poloma in ekvatorjem ter zaradi rotacije zemlje. Stanje atmosfere – temperaturo zraka, vsebnost vlage, pritisk in tokove zraka – navadno opišemo z vremenom in podnebjem (Parry in Carter, 1998). Vreme opredeljujejo vrednosti številnih meteoroloških elementov (temperatura zraka, zračna vlaga, oblačnost, padavine, smer in hitrost vetra, sončno

obsevanje in drugi) v določenem časovnem trenutku oziroma v krajšem časovnem intervalu – dnevu, tednu, mesecu v določenem manjšem ali večjem delu ozračja. Podnebje po definiciji predstavlja povprečno vreme v daljšem časovnem obdobju, ki naj bi bilo dolgo vsaj 30 let. V atmosferi je največ do 4 volumnske odstotke vodne pare. Kljub temu, da je je tako malo, je vsestransko pomembna, saj je večina pojavov, ki karakterizirajo vsakdanje vreme, povezanih z njo. Pomembna je tudi za živi svet na kopnem, ki je neposredno odvisen od sladke vode in torej od padavin (Hočevnar in Petkovšek, 1984).

### 2.3 RASTLINA

Pomanjkanje vode lahko v rastlinah povzroči stres, omejena razpoložljivost vode za rastline je lahko posledica fizikalnih in podnebnih lastnosti okolja, interakcij tla – padavine, tla – rastlina, ozračje – rastlina, povečanih potreb rastlin ali kombinacije neštetihih faktorjev. Jakost sušnega stresa v rastlinah v naravi in v kmetijstvu pogosto ocenjujejo kar preko ocene razpoložljivosti vode za rastline v nekem okolju. Kot merilo za razpoložljivost vode se največkrat uporablja količina padavin na leto ali vegetacijsko dobo (ne upošteva vpliva tal na dostopnost vode), vsebnost vode v tleh (ne upošteva razporeditve korenin in hidravlične prevodnosti tal), koeficiente, ki temeljijo na razlikah med padavinami in evapotranspiracijo ter vodni potencial rastlin ali delov rastlin, merjen pred zoro, ki je neposredno merilo za razpoložljivost vode za rastline (Boyer, 1995; van der Berg in Driessen, 2002). V nasprotju z mnogimi drugimi tipi stresa, se sušni stres ne pojavi nenadoma, temveč se razvije postopno. Njegova jakost narašča s trajanjem suše.

Učinkovitost izrabe vode (angl. water use efficiency,  $WUE_{ph}$ ) je definirana kot razmerje med količino vode, ki jo rastlina transpirira in količino fotosintetsko asimiliranega  $CO_2$ . Zaradi velike površine listov, njihove visoke absorpcije energije sevanja ter potrebe po odprtju poti za vstop  $CO_2$  pride do nasprotja med potrebo po varčevanju z vodo ter potrebo po asimilaciji  $CO_2$ . 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 upornost  $r_s$  ( $s\ m^{-1}$ ) je pomemben dejavnik, ki nadzoruje izgube vode iz listov. Zapiranje rež oz. povečanje stomatalne upornosti uporabljajo kot kazalec odziva rastline na sušo (Teiz in Zeiger, 1998). Na stomatalno upornost poleg relativne zračne vlage vplivajo tudi drugi okoljski dejavniki: osvetlitev, temperatura in koncentracija  $CO_2$  v zraku. Stomatalna upornost se poveča, ko se povečuje koncentracija  $CO_2$  v zraku.

Indeks listne površine (*LAI*, angl. *Leaf Area Index*) je definiran kot skupna enostranska površina zelenih listov na enoto površine tal ( $m^2\ m^{-2}$ ). Pri procesih, kot so prestrezanje padavin, izhlapevanje, transpiracija, evapotranspiracija in kroženje energije, je indeks listne površine eden pomembnejših parametrov vegetacije (Faust, 1989; Raghavendra, 1991). *LAI* je uniformna in splošno uporabljena mera za oceno listne površine. To je razmerje listne površine na površino tal ter se uporablja v kombinaciji s študijami prestrezanja svetlobe ter meritvami transpiracije kot osnova za učinkovitost rastlinskega pokrova. Točnost določitve *LAI* je lahko kritična pri razumevanju in modeliranju obnašanja posameznega ekosistema.

Voda v tleh je za korenine rastlin dostopna le delno. Določen del (različno velik del, kar je odvisno od tipa tal) je preko hidratacijskih sil higroskopsko vezan na talne koloide. Sesalna sila korenin ne zadošča, da bi iz tal odvzela tudi tako vezano vodo, to bi zahtevalo sesalno moč večjo kot 5MPa (50000 cm VS). Fine korenine lahko odvezemajo vodo iz tal tako dolgo, kot lahko sesalna sila korenin konkurira sili, s katero je voda vezana v tleh. V kapilarah in v talnih porah je voda vezana z nizkimi silami vezave ter je koreninam v glavnem dostopna. Pri tem zadošča sesalna sila korenin med 0,5 in 1,0 MPa (med 5000 in 10000 cm VS). V tleh počasi premikajoča se voda, ki je vezana s silo 0,005 – 0,033 MPa (50 – 330 cm VS) je za korenine prav tako uporabna (Friedrich in Fischer, 2000).

## 2.4 LASTNOSTI TAL

V tleh se razvija koreninski sistem preko katerega se rastlina oskrbuje z vodo in hranili. Tla so zelo kompleksen sistem, sestavljen iz heterogene mešanice trdnih tekočih in plinastih materialov. Trda faza je sestavljena iz mineralnih delcev, ki vsebujejo delce različnih velikosti, oblik in kemijske sestave ter organske frakcije. Lastnosti tal lahko razdelimo na 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 organska snov (Ritzema, 1994). Osnovne lastnosti tal so posledica medsebojnega vplivanja tlotvornih dejavnikov, kot so klima, matična podlaga, topografija, delovanje živih organizmov, človeška aktivnost (Ritzema, 1994) ter fizikalnih, kemijskih in bioloških procesov.

Na tok vode v tleh imajo največji vpliv fizikalne in kemijske lastnosti tal (Jury in sod., 1991). Proces zadrževanja vode v tleh opredeljujejo hidravlične lastnosti tal, ki so predvsem odvisne od osnovnih fizikalnih lastnosti tal, to je teksture in strukture (Hillel, 1998).

### 2.4.1 Tekstura

Tla sestojijo iz primarnih mineralnih delcev zelo različnih velikosti. Porazdelitev velikosti teh delcev definira teksturo tal. Imena talnih velikosti so glina, fini in grobi melj, pesek, skelet, ostrorobo kamenje in prodniki (Ritzema, 1994). Klasifikacij velikostnih razredov talnih delcev je več, razlikujejo se v razmejitvi med posameznimi velikostnimi razredi. V Sloveniji uporabljamo ameriško klasifikacijo tal.

Tekstura tal je sestava finega dela (t.j. < 2 mm) tal glede na delež (masni odstotek) mineralnih delcev različnih velikostnih skupin. Po velikosti delce razdelimo v dve glavni skupini mineralnih delcev – peščeno in meljasto ter glineno frakcijo (pesek, melj, glina). Mineralna sestava peščene in meljaste frakcije je določena glede na matično podlago in stopnjo preperevanja tal. Glinena frakcija vpliva na pomembne kemične in fizikalne lastnosti tal, kot so gibanje vode v tleh, zračnost, kationska izmenjalna kapaciteta tal. Izrazita vloga glinene frakcije v fizikalno kemijskih lastnostih je zaradi velike specifične površine ter električnega naboja. Pesek in melj lahko označimo kot pasivni entiteti talnega

matriksa, katerih vpliv na gibanje vode v tleh se izrazi predvsem z geometrično ureditvijo delcev (Jury in sod., 1991).

Tla so opredeljena tudi glede na primernost za obdelavo. Grobo teksturna tla, kjer prevladuje peščena frakcija so označena kot lahka in peščena tla. Fino teksturna tla, kjer prevladujeta melj in glina, pa kot težka ali glinena tla. Tekstura tal je pomembna zato, ker so druge lastnosti (npr. konsistenca, primernost za obdelavo, vodno retenzijske lastnosti, prepustnost in rodovitnost) pogosto povezane z njo. Znana tekstura talnih horizontov omogoča dobro oceno fizikalnih lastnosti in ostalih kmetijsko pomembnih lastnosti. Porazdelitev velikosti talnih delcev se uporablja v skoraj vsakem modelu za izračun hidravličnih lastnosti tal (Woesten in sod., 2001).

#### **2.4.2 Organska snov**

Organska snov v tleh sestoji iz organskega ogljika, to so živi organizmi ter odmrli rastlinski in živalski ostanki. Sveža organska snov v tleh delno hitro razpadne pod vplivom mikroorganizmov, ostanek se imenuje humus, ki razpada počasi in je sestavljen iz mešanice rjavih do črnih amorfnih substanc (Ritzema, 1994). Organska snov ima velik vpliv na fizikalne in kemične lastnosti tal, četudi je prisotna v relativno majhnih količinah. Povečuje stabilnost talnih agregatov ter s tem izboljšuje strukturo tal. Organska snov ima pomembno vlogo pri črpanju rastlinskih hranil iz mineralov. Humusna komponenta organske snovi poveča kationsko izmenjalno kapaciteto tal ter s tem poveča vodno retenzijske sposobnosti tal (Jury in sod., 1991). Iz razpadajočih rastlinskih ostankov lahko mikroorganizmi črpajo energijo za fiksacijo dušika iz zraka. V nekaterih primerih lahko manjša količina organske snovi (reda velikosti 1%) značilno vpliva na rodovitnost tal, vendar je potrebno poudariti, da velika količina organske snovi ni njuno znak dobrih tal. Veliki odstotki organske snovi so največkrat povezani z določenim specifičnim načinom nastanka tal. Ko je organska snov akumulirana v pogojih slabe odcednosti, lahko pri osuševanju takih tal pride do posedanja tal in s tem povezane slabe rodovitnosti tal (Ritzema, 1994).

#### **2.4.3 Struktura**

Struktura tal je način razporeditve ali zlepljanja talnih delcev (peska, melja, gline in organske snovi) v agregate različnih oblik in velikosti. Struktura tal in obstojnost strukturnih agregatov igrata odločilno vlogo pri večih procesih v tleh, kot so erozija, infiltracija, globina prodiranja korenin, zračnost. Struktura tal in parametri konsistence tal so pomemben dejavnik pri hidravličnih lastnostih tal, ki poda majhno a pomembno izboljšavo rezultatov pri določanju vodno retenzijskih lastnosti tal. Meritve in štetje praznega prostora podajo parametre strukture tal, ki pomagajo pri oceni hidravličnih lastnosti tal (Rawls in Pachepsky, 2002).

V tleh lahko po velikosti ločimo makro in mikro pore. Makropore so največkrat inter-agregatne praznine, ki primarno služijo kot infiltracijski in odcedni kanali za vodo in zračnost. Mikropore so intra-agregatne kapilare, odgovorne za zadrževanje vode in snovi.

Diferenciacija med makro in mikroporami je zaradi težke ločljivosti največkrat privzeta (Hillel, 1998).

#### 2.4.4 Poroznost

Tla so porozen medij, ki ga sestavljajo tekoča ( $V_w$ ), trdna ( $V_s$ ) in plinasta ( $V_a$ ) faza. Pore predstavljajo prazen prostor ( $V_v$ ), katerega lahko zapolnjuje plinasta ( $V_a$ ) ali tekoča ( $V_w$ ) faza. Če je prostor popolnoma nasičen, je volumen por ( $V_v$ ) enak volumnu vode ( $V_w$ ) v nekem opazovanem volumnu ( $V_b$ ) (Bear, 1988). Poroznost tal je kvantitativna lastnost, ki opisuje del snovi, ki je prazen. Poroznost  $n$  oziroma volumetrična poroznost je lastnost makroskopske porozne snovi. Definirana je kot razmerje med obsegom praznega prostora  $V_v$  in skupnim obsegom  $V_b$  porozne snovi (En. 2). Izrazimo jo lahko tudi kot razmerje med gostoto tal  $\rho_b$  in gostoto talnih delcev  $\rho_s$ . Gostota tal  $\rho_b$  je razmerje med maso trdne faze s celotnim volumnom (En. 1):

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_b} \quad \dots (1)$$

$$f = \frac{V_v}{V_b} = \frac{V_b - V_s}{V_b} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad \dots (2)$$

kjer je  $m_s$  masa suhega vzorca tal. Poroznost je brezdimenzijska kvantiteta in jo ponavadi izrazimo v odstotkih (%). Efektivno poroznost  $f_e$  ( $f_e < f$ ) predstavljajo med seboj povezane pore. Zgodi se, da je del homogene tekočine v porah mirujoč. V tem primeru efektivno poroznost predstavlja tisti del poroznega medija, ki prispeva k toku (Bear, 1988). Če  $V_v$  pomeni celoten prazen prostor, ne glede na to ali so pore med seboj povezane ali ne, potem govorimo o absolutni ali celotni poroznosti. Efektivna poroznost je razmerje med povezanim (efektivnim) volumnom por ( $V_v$ )<sub>e</sub> in celotnim volumnom snovi  $f_e = (V_v)_e / V_b$ , kjer velja, da je  $V_v = (V_v)_e + (V_v)_{ne}$ .  $V_v$  je volumen vseh por [ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ],  $(V_v)_{ne}$  volumen slepih – nepovezanih por (mrtvih con) [ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ] in  $(V_v)_e$  volumen povezanih – efektivnih por [ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ].

## 2.5 VODNA BILANCA TAL

Vodna bilanca je zasnovana na temeljnem zakonu mehanike o ohranitvi mase na določenem območju (Brilly in Šraj, 2000). V najbolj preprosti obliki vodna bilanca zgolj izrazi katerokoli spremembo, ki se zgodi v vsebnosti vode  $\Delta W$  [mm] v danem volumnu tal v določenem časovnem intervalu kot razliko med količino vode, ki je bila v ta volumen dodana  $W_{in}$  [mm] ter količino vode, ki je bila v istem času odvzeta  $W_{out}$  [mm] (Ritzema, 1994; Hillel, 1998):

$$\Delta W = W_{in} - W_{out} \quad \dots (3)$$

Vodna bilanca je torej ocena vseh vtokov, odtokov ter komponent skladiščenja vode v mejah območja, katerega definiramo (Ritzema, 1994). Primeren volumen oz. globina tal, za katero izračunamo vodno bilanco, je določena poljubno. Vodna bilanco lahko izračunamo za katerikoli podsystem hidrološkega kroga (reprezentativni volumen tal ali celotno povodje, kjer upoštevamo hidrološki cikel), za katerokoli velikost območja ter za katerikoli izbran časovni interval. Z izračunom vodne bilance je moč preveriti, ali so bile količinsko upoštevane vse vključene komponente toka in zaloge vode. 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 lahko model za hidrološki proces, katerega raziskujemo ter je uporabno orodje za preveritev, kakšen učinek bodo imele spremembe, ki jih naredimo na določen člen, na druge člene sistema oz. podsistema.

Ritzema in sod. (1994) razdeli vodno bilanco na podsystem površinske vodne bilance, na bilanco podsistema nenasičene cone, bilanco podsistema podtalnice ter na integrirano vodno bilanco. Z agronomskega vidika je pomembna vodna bilanca nenasičene cone v prerezu od površine tal do globine korenin. Cona nenasičenja ali vadozna cona je definirana kot območje med površino tal in gladino pripadne podtalnice. Vodna bilanca v območju korenin je ponavadi izražena v integralni obliki (Hillel, 1998):

$$\begin{aligned} \text{Sprememba v založenosti tal z vodo} &= \text{pritoki} - \text{izgube} \\ (\Delta W + \Delta V) &= (P + W_i + U) - (R + D + E + T) \dots (4) \end{aligned}$$

kjer so  $\Delta W$  sprememba v založenosti tal z vodo v območju korenin,  $\Delta V$  razlika v količini vode, ki je bila vgrajena v vegetativno biomaso,  $P$  padavine,  $W_i$  namakanje,  $U$  kapilarni tok usmerjen v območje korenin,  $R$  odtok,  $D$  pronicanje,  $E$  neposredna evaporacija iz površine tal,  $T$  transpiracija rastlin. Vse količine so izražene v obliki volumna vode na enoto površine (ekvivalent enotam globine) v izbranem času.

Izraz za vodno bilanco cone nenasičenja (Stephens, 1995), kamor štejemo kot prihodek le tisti del vode, ki se infiltrira v tla, je:

$$I - E - T - D = \Delta W \quad \dots (5)$$



kjer je  $\Delta W$  sprememba v založenosti tal z vodo,  $I$  infiltracija,  $E$  evaporacija tal,  $T$  transpiracija rastlin,  $D$  globoko pronicanje. Ritzema in sod., 1994 vodno bilanco nenasičene cone zapiše v obliki:

$$I - ET + U - D = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad \dots (6)$$

kjer je  $I$  stopnja infiltracije v nenasičeno cono [ $\text{mm dan}^{-1}$ ],  $ET$  stopnja evapotranspiracije iz nenasičene cone [ $\text{mm dan}^{-1}$ ],  $U$  stopnja kapilarnega dviga iz nasičene cone [ $\text{mm dan}^{-1}$ ] ter  $D$  stopnja perkolacije v nasičeno cono [ $\text{mm dan}^{-1}$ ].  $\Delta W$  je sprememba v zalogi vode nenasičene cone z vodo v času računanja, izražena v debelini vodne plasti [ $\text{mm}$ ] ter  $\Delta t$  čas računanja [ $\text{dan}$ ].

Matičič in sod. (1995) v študijah evapotranspiracije za potrebe namakanja kmetijskih zemljišč obravnava vodno bilanco tal z upoštevanjem vseh dejavnikov, ki nanjo vplivajo, katere razdeli v tri skupine. V prvi skupini so klimatski dejavniki, ki opredeljujejo porabo vode preko evapotranspiracije. V drugo skupino spadajo lastnosti tal, ki določajo količino zadržane vode (desobcijske karakteristike tal). V tretjo skupino pa spadajo fenološki dejavniki, ki določajo porabo vode posameznih kultur znotraj danega območja, ki hkrati s kolobarjem določajo skupno porabo vode na tem področju. Vodno bilanco zapiše v obliki:

$$\Delta VB = (P + K_a + K_o) - (ET + R + W_g) \quad \dots (7)$$

kjer so  $\Delta VB$  sprememba vodne bilance,  $P$  padavine,  $K_a$  kapilarno dvignjena voda,  $K_o$  kondenzirana voda,  $R$  višina površinskega odtoka,  $ET$  evapotranspiracija rastlin ter  $W_g$  gravitacijsko odcedna voda. Nekatere parametre zaradi njihove nepomembnosti pri velikih površinah ali pa zaradi težke izvedljivost meritev zanemari in vodno bilanco obravnava v poenostavljeni obliki:

$$\Delta V = CU + P - ET_p \quad \dots (8)$$

kjer je  $CU$  celotna količina vode v tleh pri tenzijah večjih od 0,33 bara.

V tem delu zavrlo jasnosti diskusije hidrologije tal ločimo od globalnega hidrološkega cikla tiste osnovne elementarne procese, ki se dogajajo v tleh. Elementarni procesi, ki so obravnavani, so opisani v vertikalni smeri in definirani s preprostimi robnimi pogoji.

### 2.5.1 Voda v tleh /založenost tal z vodo

Volumska vsebnost vode  $\theta_w$  je definirana kot razmerje med volumnom vode in celotnim volumnom poroznega prostora. V zasičenem poroznem prostoru je  $\theta_w$  enak poroznosti, medtem ko je v nenasičenem prostoru manjši od poroznosti ( $f = \theta_w + \theta_a$ , kjer je  $\theta_a$  vsebnost zraka). Zasičenost  $S_w$  podaja razmerje med volumsko vsebnostjo vode in poroznostjo (Bear, 1988; Stephens, 1995).

Vsebnost vode se lahko izrazi kot volumski odstotek  $\theta_w$  [ $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ], imenovan tudi volumska vsebnost vode, ki je ponavadi podan v odstotkih celotnega volumna tal. Pri nasičenosti je enak poroznosti (Hillel, 1998). Vsebnost vode v tleh je lahko podana tudi v masnih odstotkih  $\theta_g$  [ $\text{g g}^{-1}$ ].

Zaradi neposrednega podajanja informacije, kolikšen delež por je zaseden z vodo, se pogosteje uporablja  $\theta_w$  [ $\text{mm m}^{-1}$ ]. Založenost tal z vodo  $\Delta W$  izrazimo tudi kot količino vode [mm] med plastema  $l_1$  in  $l_2$  (Kutilek in Nielsen, 1994):

$$W = \int_{l_1}^{l_2} \theta dl \quad \dots (9)$$

#### 2.5.1.1 Porazdelitev vode v talnem profilu

V tleh med površino tal in podtalnico je v območju vadozne cone – cone nenasičenja pritisk vode največkrat manjši od atmosferskega, v nekaterih predelih se pojavi tudi nasičeno območje. Lastnosti toka so odvisne od stopnje nasičenja talnega matriksa (Stephens, 1995).

V nenasičeni coni (vadozna cona) določajo smer premika talne vode prostorske razlike vodnega potenciala. Potencialna energija talne vode je definirana kot delo, ki je potrebno za prenos masne enote vode iz danega referenčnega položaja na določeno točko v tleh. Referenčni položaj je navadno nivo talne vode. V primeru, ko želimo določiti smer gonilne sile, ki povzroča premik vode v nenasičeni coni, je potrebno ovrednotiti celotni potencial (Stephens, 1995).

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 (sprememba v potencialni energiji, ki ima smer v prostoru) določi velikost gonilne sile, ki vpliva na tekočino. Celotni potencial je vsota vseh važnejših delov potenciala. Hidrostatični vodni potencial tal  $h_p$  je pomemben, kadar so tla nasičena in poplavljena, ali kadar preučujemo gibanje podtalnice. Gravitacijski potencial  $h_g$  pripišemo vodi zaradi gravitacijskega polja Zemlje.

Matrični potencial tal  $h_m$  je glavna komponenta vodnega potenciala tal za gibanje vode v nenasičeni coni in nam pove, kako talni delci s svojo teksturo in strukturo zadržujejo vodo

v porah, da ne odteče pod vplivom gravitacije v podtalnico. Matrični potencial je odvisen od velikosti in oblike talnih por in od adsorpcijskih lastnosti trdnega dela tal.

Odnos med vsebnostjo vode v tleh ter tenzijo vode  $S_m$  v tleh je do določene mere odvisen od velikosti in geometrijske razporeditve por v trdni frakciji tal  $V_s$ . V peščenih tleh je tenzija vode v tleh sestavljena predvsem iz kapilarnih sil, medtem ko v glinenih tleh še posebej pri nizki vsebnosti vode v tleh igrajo pomembno vlogo adsorbirani ioni (Stephens, 1992). V nasičenih tleh, kjer ni stika med zrakom in vodno površino, je matrični potencial enak 0. V relativno vlažnem območju, kjer je matrični potencial absolutno večji kot  $-0,1$  MPa (1000 cm VS), matrično komponento lahko izrazimo z enačbo za kapilarnost:

$$h_m = \frac{2\sigma}{r} \quad \dots (10)$$

kjer je  $\sigma$  površinska napetost tekočine [ $\text{kg s}^{-2}$ ] ter  $r$  radij krivine meniska med zrakom in vodno površino. Če je menisk konkaven proti zraku, je  $r$  po dogovoru negativen. Torej je matrični potencial negativen glede na nivo proste vode pri potencialu 0.

Sil matriksa  $F_m$  ne moremo kvantitativno opredeliti, njihov skupni učinek dobimo iz matrične tenzije  $S_m$ , t.j. iz kapilarnega potenciala in adsorpcijskih sil. Matrični potencial  $\psi_m$  je produkt matrične tenzije  $S_m$  in recipročne vrednosti gostote vode  $\rho_w$

$$\psi_m = -\frac{1}{\rho_w} S_m = -gh_m \quad \dots (11)$$

Nad gladino talne vode imajo matrične sile negativen predznak  $-h_m$  (voda ima tenzijo) pod gladino talne vode pa je hidrostatski pritisk pozitiven  $h_p$ .

$$\psi_p = \frac{1}{\rho_w} \psi'_p = gh_p \quad \dots (12)$$

Ozmotski potencial  $h_o$  opredeli razlike kemičnih koncentracij v vodi raztopljenih snovi, ki bi lahko vplivale na energijsko stanje vode (Stephens, 1995). V primeru, ko obravnavamo gibanje vode v tleh, ki niso zasajena, ga lahko v primerjavi z matričnim potencialom zanemarimo.

Za vsak tip tal posebej lahko določimo t.i. desorpcijsko oz. retenzijsko krivuljo ( $h(\theta_w)$ ), ki pove, kakšna je zveza med matričnim potencialom in vsebnostjo vode, kadar je voda v tleh v ravnovesju. Potek ali oblika desorpcijske krivulje je odvisen od teksture, strukture tal in od tega ali se tla vlažijo ali se sušijo (histereza). Odnos med silo, s katero je voda vezana na talne delce – tenzijo, in vsebnostjo vlage v tleh namreč ni vedno enak. Na dani vmesni vrednosti tenzije bodo tla vsebovala manj vode, če tenzijo dobimo pri vlaženju suhih tal, kot pa, če jo dobimo pri sušenju istih tal, začeniši z mokrim stanjem.

Desorpcijske karakteristike tal za vodo uporabljamo za določitev dostopne vode v tleh (del vode, ki je koreninam rastlin dostopen t.j. fiziološko aktivne vode) za npr. namene namakanja, za določitev deleža odcednih por (efektivna poroznost) ter za določitev odnosa

med silo vezave talne vode in drugimi fizikalnimi lastnostmi tal npr. kapilarne prevodnosti, termične prevodnosti, vsebnosti gline in organske snovi. Desorbcijske karakteristike tal za vodo so lahko indikator spremenjenih lastnosti tal, nastalih zaradi npr. spremenjenega načina obdelave tal.

V praksi določamo desorbcijsko krivuljo za določen tip tal na osnovi laboratorijskih meritev vsebnosti vode pri izbranih vrednostih matričnega potenciala tal, tako da tla počasi izsušujemo z izcejanjem vode iz njih pod vplivom različno velikih nadpritisikov.

Glavni vzrok, da ne moremo določiti univerzalne zveze med matričnim vodnim potencialom tal in vsebnostjo vode v tleh je v tem, da je ta zveza v večji meri odvisna od velikosti in oblike talnih por, se pravi bolj od strukture tal kot pa od velikosti in oblike talnih delcev – teksture tal. To velja pri absolutno manjših tenzijah, pri večjih se vpliv teksture poveča.

Rastlinam razpoložljiva voda (Poglavje 2.3) je med poljsko kapaciteto (*PK*) in točko venenja (*TV*). Preprosta definicija poljske kapacitete je tista vsebnost vode, ki se v tleh zadrži potem, ko so bila tla nasičena in je gravitacijska voda odtekla. Vodni potencial pri *PK* je za »nezasajena« tla blizu 0 (od -0,01 MPa do -0,03 MPa oz. -100 do -300 cm VS). Točka venenja *TV* je najnižji vodni potencial pri katerem rastlina še lahko črpa vodo iz tal. Čeprav se vrste razlikujejo v obsegu, v katerem lahko črpajo vodo (od -1,0 do -8,0 MPa oz. -10000 do -80000 cm VS), je na splošno sprejeta vrednost *TV* -1,5 MPa (15000 cm VS).

Vodno retenzijo lahko opišemo s specifično kapaciteto tal za vodo  $C_{ws}(h)$  [ $m^{-1}$ ], ki je nagib vodno-retenzijske krivulje (Stephens, 1995):

$$C_{ws}(h) = \frac{d\theta_w}{dh} \quad \dots (13)$$

Specifična kapaciteta je definirana kot volumen vode, ki je sprejet ali sproščen iz zaloge tal na volumen vadozne cone na enoto spremembe v vodnem potencialu [m]. Izraz se imenuje tudi funkcija poljske kapacitete (Jury in sod., 1991) ter izraža porast matričnega potenciala na enoto porasta v vsebnosti vode. Funkcija *PK* ima vrednost 0 pri nasičenju pred začetkom desaturacije ob vstopu zraka. Vrednosti 0 se ponovno približa v zelo suhem območju. Ta definicija je v osnovi identična definiciji za koeficient specifične zaloge.

#### 2.5.1.2 Tok vode

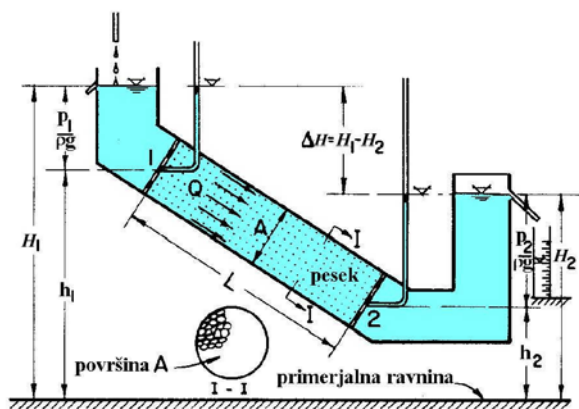
Darcyjev zakon (1856) izraža tok vode skozi zasičeni porozni prostor  $q$  [ $m s^{-1}$ ], ki je premosorazmeren hidravličnemu gradientu  $J$  [-] in hidravlični prepustnosti  $K$  [ $cm dan^{-1}$ ] (Bear, 1988):

$$\bar{q} = K\bar{J} = -K \cdot gradH \text{ oz. v komponentni obliki: } q_i = K_{ij}J_j \quad \dots (14)$$

kjer je  $H$  celotna mehanska energija vode, ki je sestavljena iz tlačne, potencialne in kinetične energije (Rajar, 1997):

$$H = \frac{p}{\rho_w \cdot g} + h_i + \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \dots (15)$$

kjer je  $p$  [kg m<sup>-1</sup>s<sup>-2</sup>] tlak,  $\rho_w$  [kg m<sup>-3</sup>] gostota vode,  $h_i$  [m] potencialna višina in  $g$  [m s<sup>-2</sup>] gravitacijski pospešek. V splošnem so spremembe v potencialni višini veliko večje od sprememb v kinetični energiji vzdolž tokovne poti, zato slednjo ponavadi zanemarimo in je



Slika 2: Pronicanje vode skozi porozni prostor (Bear, 1988).

Figure 2: Water percolation through porous media (Bear, 1988).

mehanska energija enaka piezometrični višini  $H = p/\rho g + h$ , ki jo imenujemo tudi hidravlični potencial.

Gladina podzemne vode (piezometrična višina  $H$ ) predstavlja mejo med zasičeno in nenasičeno cono v poroznem prostoru in je definirana s površino, pri kateri je tlak enak atmosferskemu (prosta površina). Za tok skozi nenasičeni prostor Darcyjev zakon še vedno velja (Buckingham, 1907), vendar je treba upoštevati hidravlično prepustnost  $K$  v nenasičeni coni

kot funkcijo vsebnosti vode ( $K(\theta_w)$ ) in  $h_m$  matrični potencial ( $H = h + h_m$ ). Z upoštevanjem kontinuitetne enačbe ( $\partial \rho_w / \partial t + \text{div}(\rho_w \bar{v}) = 0$ ) ter Darcyjevega zakona (En. 14) dobimo 1-D Richardsovo (1931) enačbo v smeri  $l$ :

$$\frac{\partial \theta_w(h)}{\partial t} = \frac{d\theta_w}{dh} \frac{\partial h}{\partial t} = C_{ws} \frac{\partial h}{\partial t} \quad \dots (16)$$

$$\frac{\partial \theta_w(h)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial l} \left[ K(\theta_w) \frac{\partial h(\theta_w)}{\partial l} \right] - \frac{\partial K(\theta_w)}{\partial l} \quad \dots (17)$$

$$\frac{\partial \theta_w(h)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial l} \left[ K(\theta_w) \left( \frac{\partial h(\theta_w)}{\partial l} + l \right) \right] \quad \dots (18)$$

kjer so  $\theta_w$  [cm<sup>3</sup>cm<sup>-3</sup>] volumska vsebnost vlage,  $l$  [cm] razdalja od površja,  $h$  [cm VS] potencial pritiska in  $K(\theta_w)$  [cm dan<sup>-1</sup>] nenasičena hidravlična prepustnost, za katero velja  $K(\theta_w) = k \rho_w g / \mu k(\theta_w)$ , kjer  $\mu$  dinamična viskoznost [g cm<sup>-1</sup>dan<sup>-1</sup>] in  $k$  specifična prepustnost [cm<sup>2</sup>] ter  $C_{ws}$  ( $C_{ws} = d\theta/dh$ ) [cm<sup>-1</sup>] specifična kapaciteta vode v tleh, ki grafično predstavlja nagib krivulje retenzije vode v tleh (Bear 1988; Bedient in sod. 1994; Stephens 1995).

Maciejewski in sod. (1992) v enačbi na desni strani upošteva še ponorni člen  $S(h)$ , ki predstavlja volumen vode, ki ga porabijo korenine (En. 40). Enačba 16 – 18 je težko

rešljiva nelinearna parcialna diferencialna enačba, kjer sta  $K$  in  $\theta_w$  funkciji  $h$ . V Richardsovi enačbi je privzeto, da lahko prisotnost zraka zanemarimo, da je voda nestisljiva (gostota je konstanta) in da so tla nedeformabilna (poroznost je konstanta). Za določene specialne primere obstajajo numerične in analitične rešitve. Najtežji del postopka je določitev karakterističnih krivulj za tla oziroma določitev funkcijskih razmerij  $h-\theta_w$  (retenzijska krivulja vode) in  $h-K(\theta_w)$ . Razmerje  $h-\theta_w$  se spreminja tudi za različne tipe tal, tako da imajo vsaka tla svojo karakteristično krivuljo (Bedient in sod., 1994). Nelinearne hidravlične lastnosti  $h(\theta_w)$  in  $h(K(\theta_w))$  se določi s terenskimi ali pa laboratorijskimi metodami, vendar so vse zamudne, zato se jih ponavadi opiše s parametričnimi modeli oz. empiričnimi enačbami po Brooks in Corey-u, Mualemu, Van Genuchtenu (Van Genuchten in sod., 1991), idr. oziroma z  $h-\theta_w$  krivuljami za različne vrste tal (Bedient in sod. 1994) (Poglavje 2.6.3).

## 2.5.2 Pritoki

### 2.5.2.1 Infiltracija

Ko stopnja dovajanja vode preseže stopnjo infiltracije, se odvečna prosta voda akumulira na površini tal. Na neravnih in gladkih površinah se presežek vode zbira v depresijah. Celoten volumen tako zadržane vode na enoto površine predstavlja tako imenovano zadrževalno sposobnost površine, ki je odvisna od nepravilnosti površine in nagiba. Ko je zadrževalna sposobnost površine presežena, se začne površinski odtok (Hillel, 1998). Površinski odtok imenujemo torej tisti del padavin, ki prispejo na površino zemlje in se ne zadržijo na rastlinah ali v tleh in ne izhlapijo, temveč odtečejo površinsko in podpovršinsko v mrežo vodotokov (Brilly in Šraj, 2000) ter niso podvrženi infiltraciji.

Hidrološko gledano proces infiltracije loči padavine na dva dela. En del padavin ostane shranjen kot zaloga vode v tleh, kjer je na voljo koreninam rastlin ter bogati podtalnico, preostali del ne preide preko površine tal in tvori površinski odtok. Infiltracija oz. vstop vode v tla preko površine je ključni člen v hidrološkem krogu. Stopnjo infiltracije imenujemo tudi gostota toka vode  $q$  preko topografske površine tal, ki jo lahko pod pogoji stalnega toka zapišemo v obliki Darcyjeve enačbe (Kutilek in Nielsen, 1994):

$$q = -K(h) \frac{dH}{dl} \quad \dots (19)$$

kjer je  $H = h + l$  gonilni potencial,  $l$  tok v pozitivni smeri ter  $h$  potencial vode v tleh.  $q$  se zmanjša oz. ustavi, ko je doseženo ravnotežje in velja  $dH/dl = 0$ .

Infiltracija se pojavi, ko je voda na površini pod atmosferskim pritiskom (Hillel, 1998). Tok infiltracije  $I$  ter spremembe v času so odvisne od začetne vsebnosti ter potenciala vode v tleh kot tudi od teksture, strukture, ter uniformnosti profila tal (oz. razporeda plasti v talnem profilu). Odvisna je od časa nastopa dežja ali namakanja, začetne vsebnosti vode, hidravlične prevodnosti, stanja površine tal ter profila tal in plasti v talnem profilu.

Proces infiltracije pri dežju je podoben plitvemu zbiranju vode na površini tal, ki ga lahko razdelimo na (1) infiltracijo brez zadrževanja vode, ko dež ni dovolj intenziven, da bi prišlo do zadrževanja vode na površini tal, (2) infiltracijo, ko je dež dovolj intenziven, da se zadrževanje vode na površini lahko prične ter (3) infiltracijo z zadrževanjem vode na površini tal.

Pri prvih dveh je stopnja infiltracije odvisna od intenzitete dežja, pri tretji možnosti pa je odvisna od hidrostatičnega pritiska (nivoja) vode na površini tal ter od potenciala v tleh in prevodnosti tal. Ko je pozitiven pritisk vode na površini majhen (ne presega atmosferskega pritiska), je infiltracija pri dežju odvisna od profila tal. Za robni pogoj na površini tal predpostavimo stalni pritisk na površini tal. Ob stalni intenziteti dežja  $q_r$  [mm dan<sup>-1</sup>] je omejujoč dejavnik pri vstopu vode potencial na površini  $h_{lim}$ .

$$K(h_{lim}) = q_r \quad \dots (20)$$

Infiltracija pri namakanju je opisana s stopnjami kot pri dežju, vendar jo lahko nadzorujemo z izbiro opreme glede na lastnosti tal. Pri visoko frekventnih metodah namakanja je čas infiltracije pomemben del namakalnega cikla.

#### 2.5.2.2 Kapilarni dvig

Dvig vode v tleh iz proste vodne površine (t.j. nivo podtalnice) označimo s kapilarnim dvigom. Izraz izhaja iz kapilarnega modela, ki tla pojmuje analogno sistemu kapilarnih cevk. V primeru peščenih tal so te cevke širše, v primeru glinenih tal pa ožje. Enačba, ki povezuje uravnoteženo višino kapilarnega dviga  $h_c$  z radijem por je (Hillel, 1998)

$$h_c = \frac{(2\sigma \cos \delta)}{r\rho_w g} \quad \dots (21)$$

kjer je  $\sigma$  površinska napetost [kg sec<sup>-2</sup>],  $r$  radij por [m],  $\rho_w$  gostota vode [kg m<sup>-3</sup>],  $g$  gravitacijski pospešek [m s<sup>-2</sup>],  $\delta$  kot omočenosti [°] – navadno privzet kot 0. Izraz napove, da se voda dvigne višje (čravno značilno manj hitro) v glini kot v pesku. Razlog za to je, da imajo glinena tla ožje pore. Pore v tleh niso individualne kapilarne cevke uniformnih in konstantnih radijev, zato je kapilarni dvig različen v različnih porah. Nad nivojem talne vode se matrični potencial poveča z višino – oddaljenostjo od nivoja podtalnice.

V predelu s plitvim nivojem podtalnice se kapilarni dvig raztegne do območja korenin. Razvije se vertikalni tok v nenasičeno cono, od koder lahko predstavlja izgube vode preko evapotranspiracije. Stopnja kapilarnega dviga se zmanjša z oddaljenostjo oz. globino gladine podtalnice.

Če dodajamo tlom vodo od zgoraj, bodo tla s kapilarnimi silami zadržala nekaj vode v vrhni plasti, tako da se ne bo mogla odcejati v niže ležeče plasti. Tej vodi pravimo viseča kapilarna voda, ki nima zveze s podtalnico. Pas viseče kapilarne vode se pojavlja tam, kjer je podtalnica globoko in kapilarni pas ne sega do spodnje meje horizonta z visečo kapilarno vodo.

### 2.5.3 Izgube

#### 2.5.3.1 Globinsko pronicanje

Globoko pronicanje (angl. *bottom flux, deep percolation*) predstavlja izgubo vode iz območja korenin, hkrati pa pomeni tudi migracijo vode navzdol in s tem bogatenje podtalnice. Globinsko pronicanje vode se prične, ko vsebnost vode v tleh  $\theta_w$  preseže zadrževalno sposobnost tal  $\theta_{SWRC}$ . Odtok proti nivoju podtalnice se nadaljuje, dokler stanje ne doseže ravnovesja in je  $\theta_w$  enaka  $\theta_{SWRC}$  (Kutilek in Nielsen, 1994). Volumen vode, ki odteka v podtalnico iz profila se zmanjša eksponentialno s časom in globlje kot je nivo podtalnice, počasnejše je pronicanje.

#### 2.5.3.2 Evapotranspiracija

Pomemben člen vodne bilance je evapotranspiracija (*ET*). Od padavin, ki padejo na zemeljsko površino, jih okoli 60% izhlapi nazaj v atmosfero. To v celoti ne predstavlja izgube vode, saj del te vode transpirira preko poljščin, torej preko rastlinske pridelave. Meritve dejanske *ET* so zapletene, saj tako merjenje evaporacije tal kot transpiracije poljščin zahteva posebne merilne tehnike. Dodatna težava pri oceni dejanske *ET* je v tem, da je večina meritev točkovnih, potrebujemo pa podatke za večje površine ali območja. Te lahko pridobimo s ponovitvami meritev na reprezentativnih enotah območja raziskovanja. Časovno in finančno ugodnejša rešitev je raba računalniških simulacijskih modelov za oceno dejanske transpiracije in evaporacije tal (Droogers, 2000).

Evapotranspiracija (*ET*) je pojav prehoda tekoče vode s površine zemlje v atmosfero. Pojav je sestavljen iz dveh procesov: izhlapevanja ali evaporacije *E* in transpiracije *T*. Izhlapevanje je prehod vode iz tekočega v plinasto agregatno stanje. 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 (Brilly in Šraj, 2000). Za proces *ET* mora biti zadoščeno trem osnovnim fizikalnim zahtevam v sistemu tla-rastlina-atmosfera in sicer kontinuiran dovod vode, dostopna energija za pretvorbo tekoče vode v paro ter gradient parnega tlaka za vzdrževanje toka *E* iz površine v atmosfero (Ritzema, 1994). *ET* lahko ocenimo na tri načine, s pomočjo vodne bilance tal, s pomočjo energijske bilance tal ter s pomočjo kombinirane metode, ki vključuje energijsko bilanco ter toplotni in masni pretok. Po navodilih FAO (Allen in sod., 1998) se pogosto računa tudi referenčna *ET*. Za izračun potreb po vodi določene rastline se lahko uporabi vrednost referenčne *ET* ( $ET_0$ ) ter koeficient rastline  $k_c$ .

$$ET_p = k_c \cdot ET_0 \quad \dots (22)$$

Referenčna *ET* je definirana kot *ET* iz hipotetične rastline s privzeto višino (12 cm), določeno upornostjo rastlinskega pokrova  $r_c$  [70 s/m] ter albedom (0,23), kar bi tesno ustrezalo *ET* s popolnoma pokrite površine ekstenzivne (negojene) zelene trave z uniformno višino, aktivno rastjo ter brez pomanjkanja vode. Penman je predpostavil, da je *E* iz odprte vodne površine ( $E_o$ ) funkcija energijske bilance in aerodinamičnih procesov:



$$E_0 = \frac{sR_n + \gamma E_a}{s + \gamma} \quad \dots (23)$$

kjer je  $s$  nagib krivulje nasičenega parnega tlaka [ $\text{Pa K}^{-1}$ ],  $\gamma$  psihrometrična konstanta [ $\text{Pa K}^{-1}$ ],  $R_n$  neto sevanje [ $\text{MJ m}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ]. S poskusi je ugotovil, da je funkcija za aerodinamični člen  $E_a$ :

$$E_a = 0.35 (e_s - e)(1 + u_2/100) \quad \dots (24)$$

Kjer je  $u_2$  hitrost vetra na 2 m višine [ $\text{km dan}^{-1}$ ] ter  $E_a$  v  $\text{mm dan}^{-1}$ . Potem dobimo zvezo  $ET_0 = f(E_0)$ , kjer je  $ET_0$  evapotranspiracija trave ter vrednost parametra  $f = 0,6$  pozimi ter  $0,8$  poleti. Z uporabo podobnih fizikalnih osnov kot Penman je Monteith (1965) izpeljal enačbo, ki opisuje  $ET$  iz suhe ekstenzivne (negojene) in horizontalno uniformne vegetacije, ki ima optimalno preskrbo z vodo, katera je splošno znana kot Penman – Monteithova enačba (Monteith, 1965):

$$ET_0 = \frac{10^{-4} s(R_n - G) + 8,64 \cdot 10^6 \rho_a C(e_s - e) \frac{1}{r_a}}{s + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad \dots (25)$$

kjer je  $ET_0$  referenčna potencialna stopnja transpiracije [ $\text{cm dan}^{-1}$ ],  $r_c$  upornost rastlinskega pokrova [ $\text{s m}^{-1}$ ],  $r_a$  aerodinamična upornost [ $\text{s m}^{-1}$ ],  $G$  toplotni tok tal [ $\text{J m}^{-2}\text{dan}^{-1}$ ],  $\rho_a$  gostota zraka,  $e_s$  nasičeni parni pritisk [ $\text{Pa}$ ],  $e$  dejanski parni pritisk [ $\text{Pa}$ ] ter  $C$  je toplotna kapaciteta vlažnega zraka [ $\text{J g}^{-1}\text{C}^{-1}$ ]. Upornost rastlinskega pokrova  $r_c$  je odvisna od listne površine (število rež), starosti in stanja listov ter stopnje stomatalne kontrole. Prenos energije in izhlapele vode z izhlapevajoče površine v zrak nad rastlino je opisan z  $r_a$ . Ponavadi jo izračunamo iz hitrosti vetra in hrapavosti površine:

$$r_a = \frac{\left( \ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \cdot \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right) \right)}{K_{et} \cdot u_z} \quad \dots (26)$$

kjer je  $z_m$  višina merske točke vetra [ $\text{m}$ ],  $z_h$  višina merske točke vlažnosti in temperature zraka [ $\text{m}$ ],  $d$  višinski odmik od osnovne ravnine [ $\text{m}$ ],  $z_{om}$  parameter hrapavosti, ki vpliva na prenos toplote zaradi vetra [ $\text{m}$ ],  $z_{oh}$  parameter hrapavosti, ki vpliva na prenos toplote in vlage [ $\text{m}$ ],  $K_{et}$  Karmanova brezdimenzijska konstanta (0,41) ter  $u_z$  hitrost vetra na višini  $z_m$  [ $\text{ms}^{-1}$ ]. Navadno lahko privzamemo (Allen in sod., 1998), da je  $d = 2/3 h_v$ , ter  $z_o = 0,1 \cdot h_v$ , kjer je  $h_v$  višina vegetacije. Za mokro vegetacijo je  $r_c$  enak nič (Monteith, 1965), zato se enačba za izračun  $ET$  poenostavi:

$$ET_0 = \frac{10^{-4} s(R_n - G) + 8,64 \cdot 10^6 \rho_a C(e_s - e) \frac{1}{r_a}}{s + \gamma} \quad \dots (27)$$

## 2.6 RAČUNALNIŠKI SIMULACIJSKI MODELI

Pri reševanju naravnih procesov se poslužujemo fizičnih in analognih modelov, meritev na terenu ter matematičnih modelov. Slabost fizičnih modelov so dolgotrajnost in težava pri pridobivanju intaktnega vzorca ter kot posledica tega veliki stroški. Enako je z analognimi modeli, kjer poskušamo naravne procese nadomestiti s procesi, ki imajo enake učinke kot naravni (Čenčur – Curk, 2002).

Numerični simulacijski modeli toka vode in prenosa snovi v nenasičenih tleh so pomembna orodja za okoljske raziskave. Mnoga nerešena vprašanja, ki zadevajo prenos snovi in tok vode blizu površine tal, so zaradi heterogenosti tal, nelinearnosti fizikalnih lastnosti tal ter neizenačenega odvzema vode s strani korenin in hitrega spreminjanja robnih pogojev lahko rešena zgolj numerično (Li in sod., 2001).

Tok vode v tleh, ki ga simuliramo z numeričnimi modeli, ima prevladujoč vpliv na hidrološki krog, prenos snovi v talni raztopini, tok toplote in rast rastlin. Matematični modeli temeljijo na kvantifikaciji odnosov med specifičnimi parametri in spremenljivkami pri ponazarjanju (simulaciji) naravnih procesov z matematičnimi in logičnimi izrazi. Zaradi tega so ti modeli abstraktni in ne pokažejo veliko v smislu povezave z realnimi razmerami, vendar pa omogočajo vpogled v funkcionalne odvisnosti med vzroki in učinki v realnih razmerah (Čenčur – Curk, 2002).

Z matematičnimi modeli lahko zmanjšamo število meritev na nekem območju, tako da opravimo meritve le v značilnih točkah, ki služijo za verifikacijo in umerjanje modela. Šele ko je model umerjen in verificiran, ga lahko uporabljamo za napovedovanje procesov. Kombinacija meritev na terenu in matematičnega modeliranja je zelo učinkovita metoda za razumevanje naravnih procesov (Rajar, 1997).

Pri numeričnih modelih, ki so pomembni za izračun globokega pronicanja vode in bogatenja podtalnice, ločimo dva tipa: prvi tip modelov so modeli na osnovi vodne bilance ter modeli, ki so osnovani na Richardovi enačbi (Stephens, 1995). Tok vode v vadozni coni je prevladujoč v vertikalni smeri in ga v mnogih primerih lahko simuliramo kot 1-D tok (van Dam in Feddes, 2000). Pri uporabi 1-D modelov so lahko pri izračunu vodne bilance in bilance prenosa snovi v talni raztopini v različnih primerih upoštevani horizontalna variabilnost meteoroloških pogojev, karakteristike rastline, lastnosti tal ter robni pogoji dotoka oz. odtoka vode (Hopmans in Stricker, 1989; Kajfež-Bogataj in Sušnik, 2002).

Hidrološki modeli ločijo padavine v odtok in infiltracijo ter evapotranspiracijo. Uporaba modelov za raziskovalne namene in praktično uporabo zahteva vhodne podatke o retenziji in toku vode ter prenosu snovi. Meritve hidravličnih lastnosti tal so zamudne in drage, zato so bili razviti številni modeli za izračun le-teh na osnovi nekaterih ostalih pedoloških podatkov (Van Genuchten in sod., 1991; Woesten in sod., 2001).

### 2.6.1 Klimatski modeli

Standardni pristop k študiju prihodnje, kot tudi sedanje in pretekle klime predstavljajo modeli splošne cirkulacije (Martin, 1998; Bergant in Kajfež-Bogataj, 1999). Modeli

splošne cirkulacije (MSC) so kompleksni tridimenzionalni računalniški modeli, ki opisujejo klimatske sisteme celotne zemeljske oble preko reševanja vrste osnovnih fizikalnih enačb. Z MSC skušamo na podlagi zakonov fizike čim bolj verodostojno opisati dinamiko ozračja in oceanov na celotni zemeljski obli ob različnih začetnih pogojih (McGuffie in Handerson-Sellers, 1997). V njih je zajeto gibanje zraka ter njegove lastnosti v odvisnosti od geografske širine, dolžne, nadmorske višine in časa. MSC morajo dobro napovedovati trenutno klimo ter sezonske in geografske pojave ter vertikalne spremembe, kot npr. vpliv El Ninja (Parry in Carter, 1998). Študija vpliva klimatskih sprememb na hidrološki režim Evrope na osnovi štirih različnih scenarijev (Arnell, 1999) je pokazala, da bo imel dvig temperature zraka največji vpliv na območje vzhodne Evrope v krajih, kjer prihaja do stika med morskno in kontinentalno klimo. Dvig temperature zraka bo imel vpliv na porazdelitev – zmanjšanje snežnih padavin, kar bo povzročilo povečanje odtoka v zimskem času in znižanje spomladanskih odtokov.

Z omejeno prostorsko ločljivostjo (nekaj geografskih stopinj) MSC zadovoljivo opišejo glavne značilnosti podnebja na širšem prostorskem območju, zanesljivost njihovih simulacij pa je slaba na posamezni točki izračunavanja (Grotch in MacCracken, 1991; Benestad, 2001). Neposredna uporaba rezultatov simulacij z MSC na posameznih lokacijah je zato neprimerna. Rezultate simulacij z MSC moramo pred uporabo v lokalnih študijah vpliva sprememb podnebja najprej projicirati na lokalni nivo, čemur pravimo zmanjševanje prostorske skale (angl. *downscaling*) (Wilby in Wiegly, 1997; Zorita in von Storch, 1999; Bergant, 2000). Šele takšne lahko uporabimo za ocenjevanje vpliva sprememb podnebja na temperaturne vsote na izbranem območju. Izdelave opazovanih nizov podatkov, ki slonijo na mreži z rastrom pol geografske stopinje (New in sod., 2000) so omogočile študije in pregled klimatskih sprememb na ravni posameznih držav (Mitchell in Hulme, 2000). Z uporabo podatkov o mesečnih temperaturah zraka na mreži z rastrom  $0,5^\circ$  za 1901-1998 je bil za posamezno državo z metodo najmanjših kvadratov izračunan trend letne temperature zraka v 20. stoletju. Študija na osnovi 100 letnega niza mesečnih podatkov je pokazala, da se bo v Sloveniji zvišala temperatura zraka za min  $2,3^\circ$  C, največ  $5,6^\circ$  C ter v povprečju za  $4,5^\circ$  C (Mitchell in Hulme, 2000).

### **2.6.2 Modeli za rast rastlin**

Za opis rasti rastlin ter simulacijo in izračun koreninskega odvzema vode glede na stanje rastline, tal in atmosfere so bili razviti številni modeli. Pristopi k problemu so zelo raznoliki, od teoretičnih, ki so osnovani na fizikalnih zakonih toka v poroznem mediju, do pristopa ekstrapolacije opazovanj odnosa vzrok – učinek nekega sistema (Van der Berg in Driessen, 2002). Pristopi k reševanju kompleksnega sistema največkrat temeljijo na preprostem modelu za odvzem vode, kjer so tla privzeta kot vodni rezervoar z določenimi dimenzijami, definiranimi z razporeditvijo por in globino koreninjenja. Le del vode, ki se zadrži v tem navideznem rezervoarju, je dostopne rastlinam. Kot zgornja meja dostopne vode je največkrat vzeta poljska kapaciteta ter kot spodnja meja točka venenja (Friedrich in Fisher, 2000).

Kot druga možnost se za opis razmerja med odvzemom vode in transpiracijo uporablja pristop analogije električne upornosti, kjer so spremenljivke med seboj odvisne ter posamezne meritve pogosto niso mogoče (Boyer, 1995; Van der Berg in Driessen, 2002). Zato je kot tretja možnost poenostavljena analogija električnega toka, kjer se upornost toka vode razdeli na posamezne dele rastlin. Rastlinski modeli na osnovi potenciala vode (SWACROP, Feddes in sod., 1978; SWAP, van Dam in sod., 1997) upoštevajo spremembo odvzema vode zaradi spremembe potenciala vode v tleh. Odvzem vode ima vrednost nič, ko je potencial vode v tleh enak potencialu vode pri točki venenja. V modelih najdemo tudi v praksi uporabljen pristop na osnovi relativne vsebnosti vode v tleh, kjer se količina lahko dostopne vode izrazi kot delež celokupne dostopne vode v tleh.

### 2.6.3 Modeli za izračun hidravličnih lastnosti tal

Hidravlična prevodnost  $K(\theta_w)$  povezuje hitrost toka vode in hidravlični gradient v Darcyjevem zakonu. Vsebnost vode  $\theta_w$  je definirana kot razmerje volumna vode glede na enoto volumna poroznega medija. Tako  $K$  kot  $\theta_w$  sta funkciji tenzije oz. matričnega potenciala.  $\theta_w$ - $h$  krivulje za proces osuševanja oz. navlaževanja v tleh, ki izgubljajo vodo zaradi pronicanja ali pa jo preko infiltracije prejemajo, izražajo dejstvo, da  $K$  ter  $\theta_w$  nenasičenih tal naraščata z zmanjšanjem matričnega oz. kapilarnega potenciala.

Razmerje  $h$ - $\theta_w$  je odvisno od tipa tal (Bedient in sod., 1994). Nelinearne hidravlične lastnosti  $h(\theta_w)$  in  $h(K(\theta_w))$  se ponavadi opiše s parametričnimi modeli oz. empiričnimi enačbami t.i. pedotransfer funkcijami po Van Genuchten-u, idr. oziroma z  $h$ - $\theta_w$  krivuljami za različne vrste tal (Bedient in sod., 1994).

Različno natančne in zanesljive meritve in razpršeni podatki hidravličnih lastnosti tal so pospešili razvoj modelov za izračunavanje hidravličnih lastnosti tal. Poznamo več tipov modelov za izračun hidravličnih lastnosti tal. Modeli na osnovi strukture, ki na podlagi gostote talnih delcev, porazdelitve velikosti talnih delcev ter gostote tal določijo obliko vodnoretzijske krivulje (Mualem, 1979). Modeli, razviti na osnovi regresijskih enačb, določijo vodnoretzijske lastnosti na določeno točko (npr.  $TV$  oz.  $PK$ ) (Gupta in Larson, 1979; Rawls, 1983; Saxton in sod., 1986).

Za modele, ki napovejo parametre hidravličnih lastnosti tal v obliki funkcije  $\theta_w - h - K$ , je Bouma 1989 uvedel izraz pedotransfer funkcije (PTF). Izhodni parametri so koeficienti, ki prevedejo dostopne podatke (tekstura, struktura, organska snov) v manjkajoče lastnosti tal ter so kot taki uporabni v računalniških simulacijskih modelih (Woesten in sod., 2001). Model izhaja iz zveze med matričnim potencialom vode v tleh ter volumsko vsebnostjo vode v tleh, ki sta jo postavila Brooks in Corey (1964):

$$h_m = h_e \left( \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) \quad \dots (28)$$

kjer je  $h_e$  matrični potencial, ko se osušijo največje pore [m],  $h_m$  matrični potencial [m],  $\theta$  vsebnost vode [ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ],  $\theta_s$  nasičena vsebnost vode [ $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ],  $\theta_r$  rezidualna vsebnost

vode [ $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ].  $\theta_r$  rezidualna vsebnost vode je definirana kot tista vsebnost vode, pri kateri se aktivni tok vode prekine (Van Genuchten in sod., 1991; Kutilek in Nielsen, 1994).

Desorbcijska krivulja, določena na osnovi Van Genuchtenovih parametrov

$$h_m = -\frac{I}{\alpha} \left( \theta_{rel}^{\frac{1}{m}} - 1 \right)^n \quad \dots (29)$$

$$\theta_{rel} = \left( \frac{\theta_w - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) \quad \dots (30)$$

kjer so  $\alpha$ ,  $m$  in  $n$  parametri določeni z optimizacijskim postopkom na osnovi empirične določitve najmanj dveh točk desorbcijske krivulje med  $\theta_s$  in  $\theta_r$  (Van Genuchten in sod., 1991; Virant, 1993). Parameter  $\alpha$  je vezan na strukturo tal,  $n$  in  $\theta_r$  sta pogojena s teksturo tal in  $m = 1 - 1/n$ .

Mualem (1976) je razvil analitično enačbo za odvisnost med hidravlično prevodnostjo  $K$  [ $\text{cm dan}^{-1}$ ] in volumsko vsebnostjo vode v tleh na osnovi hidravlične prevodnosti nasičenih tal  $K_s$  [ $\text{cm dan}^{-1}$ ] in parametrov  $\theta_r$  in  $m$ , ki jih je kasneje uporabil v modelu Van Genuchten (1980):

$$K = K_s \theta_{rel}^{\frac{1}{2}} \left( 1 - \left( 1 - \theta_{rel}^{\frac{1}{m}} \right)^m \right)^2 \quad \dots (31)$$

Zgoraj navedeni izrazi za opis  $\theta_w$ - $h$  razmerja se zelo dobro obnesejo za srednje in grobo teksturna tla – napovedi za fino teksturne materiale so navadno manj natančne (Bedient in sod., 1994).

Za nizozemska tla so bile na osnovi pedološke karte 1 : 50 000 narejene t. i. Star vrste, v katerih so tabelirani parametri  $\theta_w - h - K$ . Star vrste imajo določene omejitve, kot so dejstvo, da so bile razvite brez upoštevanja gostote tal ter razlik v geoloških sedimentih in so uporabne predvsem za nizozemska tla (Kreos in sod., 1999). Na podlagi evropskih podatkovnih baz so naredili t. i. HYPRES vrste (HYdraulic PROPERTIES of European Soils Database). Države, ki so sodelovale pri razvoju HYPRES vrst, so uporabljale različne metode določevanja hidravličnih lastnosti tal in različne teksturne klasifikacije. Tako HYPRES vrste temeljijo na teksturni klasifikaciji FAO (Woesten in sod., 1999). Pri uporabi pedotransfer funkcij (PTF) podatke, ki se nanašajo na tla, vnesemo neposredno v model. Pri uporabi tabeliranih vrednosti pa glede na podatke iz tabele izberemo funkcijo, ki opisuje  $\theta_w - h - K$  za izbrani tabelirani tip tal.

Woesten in sod. 2001 je naredil pregled po podatkih, katere so različni avtorji modelov za izračun hidravličnih lastnosti tal najpogosteje uporabili ter jih razvrstil po lastnostih talnih delcev, izmerjene hidravlične lastnosti tal, morfološke lastnosti za opis posameznih

horizontov v talnem profilu, kemične in mineraloške lastnosti ter mehanske lastnosti tal (Preglednica 1).

Preglednica 1: Lastnosti tal, ki se pogosto uporabljajo pri pedotransfer funkcijah (Woesten in sod., 2001).

Table 1: Soil properties often used in pedotransfer functions (Woesten et al., 2001).

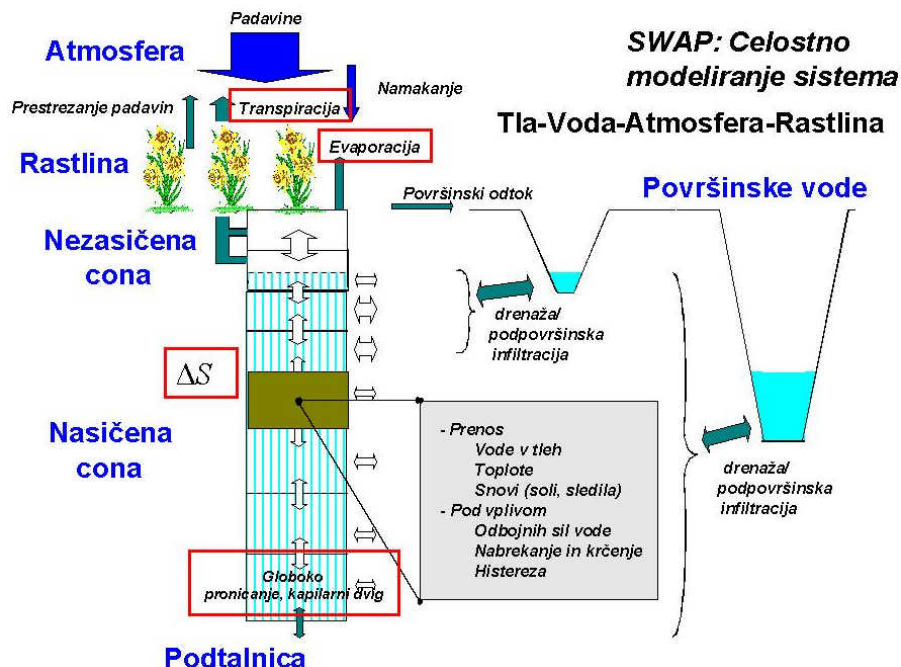
Lastnosti talnih delcev	Hidravlične lastnosti	Morfološke lastnosti	Kemične /mineraloške lastnosti	Mehanske lastnosti
– pesek, melj, glina	vsebnost vode pri	– gostota tal	– organski ogljik	– prodiranje
– fini pesek	– 33kPa	– poroznost	– organska snov	– upornost
– zelo grob pesek, skelet, grobi fragmenti	– 1500 kPa	– horizont	– CEC	
– mediana ali geometrijska povprečna velikost delca	referenčna vodno retenzijska krivulja	– struktura	– tip gline	
		– stopnja	– CaCO <sub>3</sub>	
		– oblika		
		– velikost		
– vodno-stabilni agregati		– barva		
		– konsistenca		

#### 2.6.4 Računalniški model SWAP

SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant ali tla-voda-atmosfera-rastlina) je naslednik agrohidrološkega modela SWATR (Feddes in sod., 1978) ter njegovih številnih izpeljank. Računalniški model SWAP simulira tok vode prenos snovi v talni raztopini in tok toplote v različno nasičenih vrhnjih plasteh tal. Program je oblikovan za celostno modeliranje sistema tla-voda-atmosfera-rastlina preko cele rastne dobe in je uporabno raziskovalno orodje pri proučevanju odziva omenjenega sistema na parametre okolja, zlasti temperaturo zraka, količino padavin, vsebnost vode v tleh, oblačnost, sevanje, veter (Kroes in sod., 2000). Model ponuja širok spekter možnosti za uporabo pri iskanju odgovorov na raziskovalna in praktična vprašanja na področju agronomije, vodnega gospodarstva in zaščite okolja. SWAP model je uporaben za analizo komponent vodne bilance za celoten namakalni sistem (Droogers, 2000).

Model sloni na izračunu 1-D Richardove enačbe za izračun toka vode v talnem matriksu. Zaradi fizikalne osnove Richardova enačba omogoča rabo podatkov hidravličnih funkcij. Zgornja meja sistema je definirana s površino tal z ali brez rastlinskega pokrova (neporaščena tla) ter z atmosferskimi pogoji. Stranske meje sistema omogočajo simulacijo

interakcije s površinskimi vodnimi sistemi. Spodnja meja je cona kapilarnega dviga nad nivojem podtalnice oz. zgornje plasti podtalnice ter opisuje interakcijo vadodne cone z regionalno podtalnico (Slika 3, Kroes in sod., 1999).



Slika 3: Shematska struktura modela SWAP (prirejeno po Kroes in sod., 1999).

Figure 3: Schematic structure of SWAP model (after Kroes et al., 1999).

Model vključuje izračun evaporacije zaradi prestreženih padavin, neporaščenih tal ter rastline, obrokov namakanja (dejanskih oz. izračunanih), odtoka, infiltracije in vpliv morebitnega osuševalnega sistema (2-D simulacija toka vode). Z modelom je mogoče opredeliti dejansko evaporacijo tal ter transpiracijo rastline ter z metodo uporabe enot homogene rabe tal oceniti dejansko evapotranspiracijo (Droogers in sod., 2000). Za izračun evapotranspiracije uporablja Penman-Monteith-ovo metodo v dveh korakih, ki upošteva redukcijo transpiracije zaradi vodnega in/ali slanostnega stresa.

Z modelom je za določitev optimalne rabe vode pri namakanju moč uporabiti različne pristope (Sarwar in sod., 2001). Model predvideva možnost začetka namakanja z že določenimi – nespremenljivimi datumi namakanja ali pa uravnava obroke namakanja glede na dinamično funkcijo stopnje razvoja rasti.

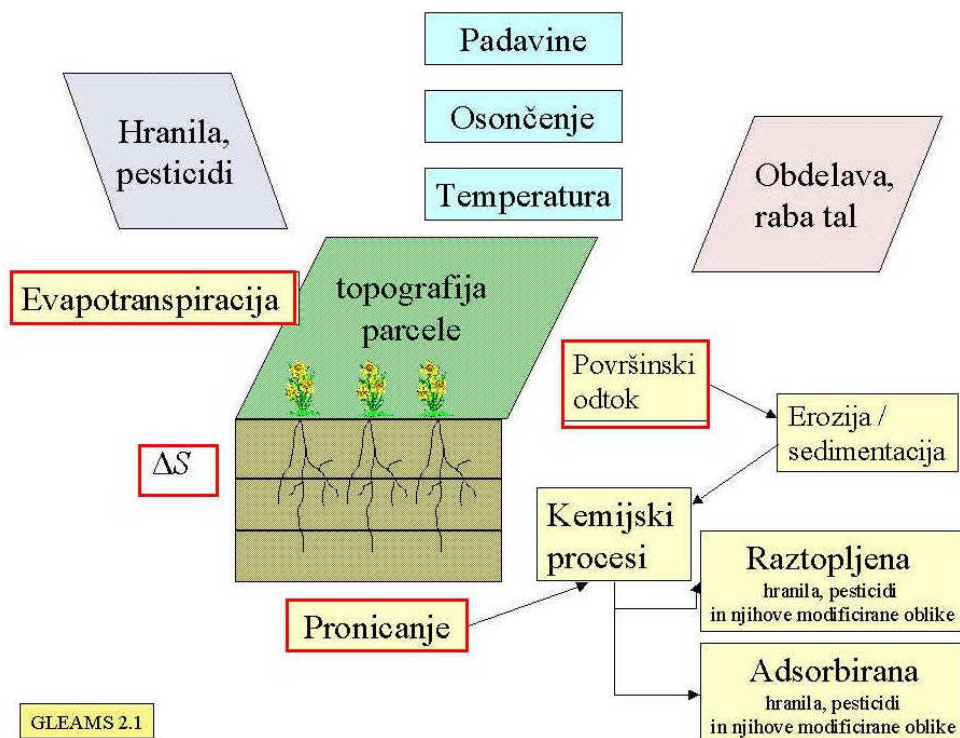
### 2.6.5 Računalniški model GLEAMS

Dinamični model GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems) 2.1 (Knisel in sod., 1993) je bil izdelan na podlagi predhodnega modela CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems). Razvit je bil za oceno obremenitve robov polja ter spodnjega roba koreninskega območja z vodo, z erodiranim materialom ter s kemikalijami pri različnih načinih obdelave tal.

Glavna uporabnost modela je bolj ocena razlike med različnimi načini obdelovanja tal kot pa napoved absolutnih količin vode, količine spranih tal ter izgub kemikalij s polja (Knisel in Turtola, 2000).

Matematični model GLEAMS je 1-D deterministični model na fizikalni osnovi, ki simulira pronicanje, odtok, spiranje dušika in pesticidov ter erozijo in sedimentacijo v enodnevnem razkoraku. Gibanje vode v talnem profilu je simulirano tako, da je privzet stalen enakomeren tok, algoritmi za oceno evaporacije tal ter transpiracijo poljščin upoštevajo razvoj indeksa listne površine ter vsebnost vode v tleh (de Paz in Ramos, 2002).

GLEAMS spada h modelom, ki temeljijo na izračunu vodne bilance tal. Model razdeli padavine v odtok in infiltracijo. Infiltracijo nadalje razdeli v komponente kot so evapotranspiracija, lateralni odtok oz. medtok, zalogo vode v tleh, globoko pronicanje preko uporabe determinističnih in empiričnih enačb, ki opisujejo vsak posamezen proces (Slika 4). Dejanska *ET* je izračunana iz klimatskih podatkov, parametrov rastlinskega pokrova ter koreninskega sistema. Voda, ki ni zadržana ali porabljena s strani rastlin, je izračunana kot globoko pronicanje. Algoritem za izračun vodne bilance tal je osnovan na konceptu poljske kapacitete, ki je definirana kot vsebnost vode, katero lahko tla zadržijo potem, ko odteče gravitacijska voda (Phillips in sod., 1993). Pronicanje v nižjih plasteh tal model izračuna, če vsebnost vode preseže poljsko kapaciteto.



Slika 4: Shematska struktura modela GLEAMS (prirejeno po Knisel in sod., 1993).

Figure 4: Schematic structure of model GLEAMS (after Knisel et al., 1993).



### **2.6.6 Kalibracija modelov**

Pri kalibraciji ali pri umerjanju modela si izberemo neko dovolj zanesljivo meritev (oz. serijo meritev), potem pa s poskusnimi simulacijami iščemo najbolj ustrezne vrednosti nekaterih koeficientov v enačbah modela, ki sicer niso dovolj točno poznani. Ko dobimo kar najboljše ujemanje, so s tem vrednosti parametrov določene, čeprav morda le za konkretni primer izračuna (Rajar in Četina, 1999).

### **2.6.7 Validacija modelov**

Validacija ali preverjanje modela je končna potrditev veljavnosti modela. Dovolj zanesljivo to ugotovimo tako, da z že umerjenim modelom simuliramo kak drug primer (predvsem ne tistega, s katerim smo umerjali nekatere parametre), kjer imamo tudi na razpolago dovolj meritev, vendar pri tem nobenih parametrov več ne spreminjamo. Šele tako potrjen model nam lahko dovolj zanesljivo služi za reševanje praktičnih problemov (Rajar in Četina, 1999).

## 2.7 SPREMEMBE VODNE BILANCE

### 2.7.1 Namakanje

Vodna bilanca tal, ki velja v sedaj veljavni naravnih pogojih, se lahko spremeni zaradi namakanja. Namakanje kmetijskih rastlin je ukrep, s katerim z dodajanjem vode v času suše zagotavljamo količinsko in kakovostno primeren pridelek. Količina dodane vode je odvisna od rastline ter od podnebnih in talnih razmer. Sušne razmere določene lokacije so posledica vpliva številnih procesov nanjo in značilnosti nje same. Med glavnimi vplivi so padavine, evapotranspiracija in lastnosti tal (Matičič in sod., 1995).

Dejanska evapotranspiracija za posamezno rastlino se določa s pomočjo referenčne potencialne evapotranspiracije. To referenčno potencialno  $ET$  potem modificiramo za posamezne rastline s pomočjo t.i. koeficienta rastline, ki je eksperimentalno določen faktor, ki določa porabo vode glede na referenčno kulturo.

Poleg koeficienta rastline vpliva na dinamiko namakanja še globina korenin, ki določi do katere globine je rastlina sposobna črpati vodo. Ker se struktura tal in z njo retenzijske lastnosti z globino spreminjajo, lahko različna globina koreninskega sistema močno spremeni zmožnost rastline za preskrbo z vodo in tako vpliva na namakalne parametre.

Dopustna osušitev talnega profila, ki pove koliko se tla lahko osušijo, preden moramo začeti z namakanjem, kar spet vpliva na različno dolžino namakalnega intervala. Dopustna osušitev talnega profila se ponavadi izraža kot odstotni delež razpoložljive vode v tleh. Rastline s plitvim koreninskim sistemom dopuščajo do 35% primanjkljaj, rastline s srednje globokim do 50% ter z globokimi koreninami do 65% primanjkljaj (Matičič in sod., 1995).

Pri namakanju naj bi bila v enem obroku oz. zalivanju dodana takšna količina vode, da se talni profil napolni do  $PK$ . Norma zalivanja je odvisna od lastnosti tal ( $TV$  in  $PK$ , desorpcijskih karakteristik) in lastnosti rastline (globina korenin, sposobnosti črpanja vode, efektivna globina korenin). Količino vode, ki jo dodamo v enem obroku [ $m^3 ha^{-1}$  ali  $mm$ ]  $W_i$ , izračunamo po izrazu (Pintar, 2003):

$$W_i = (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \times \rho_b \times MAD \times z_l \quad \dots (32)$$

kjer so  $\theta_{FC}$ , oz.  $\theta_{WP}$  masni procent vode pri  $PK$  oz.  $TV$ ,  $\rho_b$  gostota tal [ $g cm^{-3}$ ],  $MAD$  največji dovoljeni primanjkljaj vode ter  $z_l$  globina korenin [ $cm$ ], ki jo želimo omočiti.

### 2.7.2 Klimatske spremembe

Raziskave in diskusije o učinkih povečanja koncentracije  $CO_2$  ter drugih toplogrednih plinov v atmosferi na temperaturo zraka in klimo vodijo do nasprotujočih si trditev. Napovedi so, da je pričakovati resne posledice za zdravje in ekosisteme, povečanje pojava poplav in desertifikacije (Arnell, 1999), do zaključkov, da je trenutno dogajanje posledica naravne dinamike (Bouwer, 2002). To kaže, da je še vedno težko z zadostno gotovostjo določiti prostorsko in časovno razporeditev dogodkov v prihodnosti.

Klimatski modeli napovedujejo, da se bo v prihodnjih 100 letih povprečna temperatura zraka na zemeljskem površju dvignila za 1,5 do 6° C, pri čemer bo ogrevanje izrazitejše pozimi in v severnih geografskih širinah (IPCC, 2001). Ocena možnih vplivov klimatskih sprememb v prihodnosti zahteva opis možnih bodočih scenarijev na pravilni prostorski in časovni skali.

Zelo verjetno je, da bodo klimatske spremembe vplivale na potrebe po namakanju ter vodne vire. Zaradi vpliva klimatskih sprememb in povečane koncentracije CO<sub>2</sub>, naj bi se letna poraba vode rastlin povečala za 2 – 6% (Bouwer, 2002). Vpliv na potrebe po namakanju je veliko bolj neraziskan zaradi negotovosti, ki so posledica negotovih predvidevanj o porazdelitvi padavin. Učinki povečane koncentracije CO<sub>2</sub> na rastlino so lahko tudi posredni. CO<sub>2</sub> in drugi toplogredni plini so vzrok povečanju temperature zraka. Povečana temperatura zraka lahko bistveno vpliva na vegetacijo. Učinki so lahko neposredni, npr. hitrejša rast, oz. posredni npr. omejena razpoložljivost vode v okolju, vpliv na dolžino rastle sezone vpliv na razširjenost posameznih rastlinskih vrst (zemljepisna širina, nadmorska višina). Pod vplivom povečanega CO<sub>2</sub> se lahko spremeni tudi odziv rastlin na stresne dejavnike okolja (Luo in Mooney, 1999; Vodnik in sod, 2000).

Posledice klimatskih sprememb se bodo odrazile tudi v tleh (vsebnost vode se hitro odzove na variabilnost količine ter porazdelitve padavin), zaradi česar bo potrebno dodatno namakanje. Sprememba temperature zraka vpliva na povečanje evapotranspiracije, poraba vode se poveča zaradi večje koncentracije CO<sub>2</sub>, zmanjšane stomatalne prevodnosti ter povečane stopnje fotosinteze. Vsebnost vode v tleh se s časom zelo spreminja, zato je učinek sprememb težko napovedati. Pričakovati je, da bodo klimatske spremembe vplivale na strukturo tal (povečano nabrekanje in krčenje) ter vsebnost organske mase (Eybergen in Imeson, 1989; Sovik in Aagaard, 2003). Spremembe v strukturi tal bodo imele vpliv na povečanje izpostavljenosti tal vetrni in vodni eroziji.

Meritve meteoroloških spremenljivk v zadnjih 100 letih kažejo, da se je povprečna globalna temperatura zraka na zemeljskem površju v 20. stoletju zvišala za  $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  (IPCC, 2001). Tudi v Slovenji se je povprečna temperatura zraka v zadnjih 50 letih dvignila za  $1 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  (Kajfež – Bogataj, 2001). Povečana temperatura zraka v 20. stoletju ni zgolj rezultat klimatske variabilnosti, temveč povečanih emisij toplogrednih plinov zaradi človeške aktivnosti. Devetdeseta leta so najbolj topla dekada zadnjega tisočletja ter napovedujejo prihodnji in očitni porast povprečne temperature zraka (Mezel in Buerger, 2002). Povečana temperatura površine vodi k povečani evaporaciji ter omogoča atmosferi prenos večjih količin vodne pare. Zatorej privzamemo, da se bo splošni hidrološki krog pospešil.

### 3 MATERIAL IN METODE

#### 3.1 MATERIAL

##### 3.1.1 Meteorološki podatki

Za simulacijo potreb po namakanju smo za vhodne podatke uporabili meteorološke podatke za Vipavsko dolino v obdobju 1961 – 1990 za klasično meteorološko postajo Bilje (115 m nmv). Svetovna meteorološka organizacija je potrdila obdobje 1961 – 1990 kot referenčno dobo za klimatološke študije. Za umeritev in kalibracijo modelov so bili uporabljeni podatki za Ljubljano (1995, 1996) ter Bilje (2002).

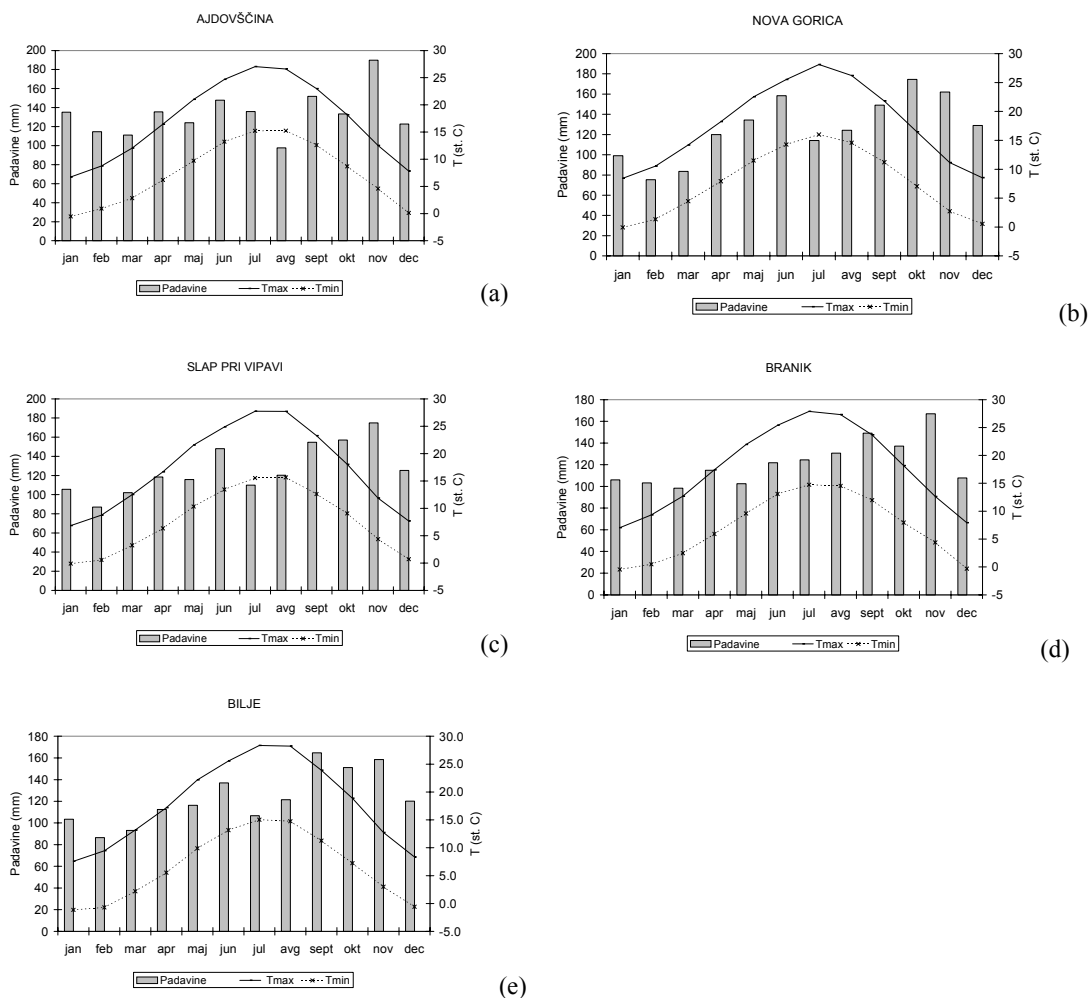
Za določitev variabilnosti v mikroklimi smo primerjali meteorološke podatke za Bilje še z meteorološkimi postajami na območju Vipavske doline Slap pri Vipavi (137 m nmv), Ajdovščina (110 m nmv), Nova Gorica (113 m nmv) in Branik (105 m nmv).

Vipavska dolina ima vlažno, zmerno toplo klimo, kjer so padavine enakomerno porazdeljene skozi vse leto in to z dvema maksimumoma. Količina padavin v vegetacijski dobi, ko pade 51% vseh padavin, znaša od 543 do 1360 mm.

Dolgoletna povprečna količina padavin na področju Vipavske doline je okoli 1465 mm. Najmanj padavin je februarja (96 mm) in največ v novembru (155 mm). V povprečju ima območje Vipavske doline 103 padavinske dni na leto s količino več kot 1 mm padavin na dan, 24 dni Bilje oz. 25 dni Slap pri Vipavi z več kot 10 mm padavin na dan ter 46 dni Bilje oz. 50 dni Slap pri Vipavi z več kot 20 mm padavin na dan. Grafični prikaz nihanja temperature zraka v obdobju 1961 – 1990 med postajami pokaže malo razlik v prostoru (Slika 5). Preverili smo ali so padavine v Bilju statistično značilno enake kot v Slapu pri Vipavi. Rezultati t-testa (Poglavje 3.2) so pokazali, da med postajama ni razlike.

Dolgoletna povprečna temperatura zraka na območju Vipavske doline je med 11 in 12,7 °C. Najhladnejši mesec je januar s povprečno temperaturo zraka od -0,4 do 6°C, najtoplejši pa julij z vrednostmi od 20 do 23°C. Povprečna temperatura zraka v vegetacijskem obdobju se giblje med 16,4 in 18°C. Dolžina obdobja z minimalno temperaturo zraka nad 0°C je 310 dni na leto.

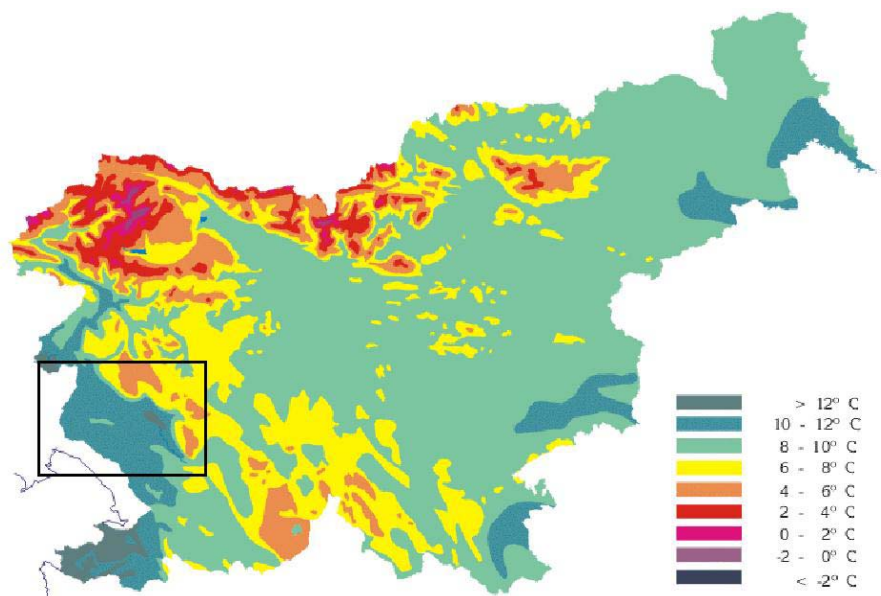
Maksimalna dnevna temperatura tal vsaj v površinskem sloju do globine 10 cm močno niha v odvisnosti od dnevne temperature zraka. V desetletnem obdobju 1991 – 2000 je bila izračunana najvišja povprečna dnevna temperatura tal v globini 5 cm 30,3°C 4. avgusta 1993 (terminske meritve 19,9°C, 34,1°C, 36,8°C), druga najvišja temperatura tal 30,1°C pa 4. julija 1994, (terminske meritve 23,3°C, 38,4°C, 28,6°C). Kot vhodni podatek za analitičen izračun temperature tal so bili uporabljeno temperaturo tal na globini 2 cm (povprečje za dvajsetletno obdobje 1981 – 2000).



Slika 5: Letni hod maksimalne in minimalne temperature zraka ter padavin v obdobju 1961 – 1990 za Ajdovščino (a), Novo Gorico (b), Slap pri Vipavi (c), Branik (d) in Bilje (e).

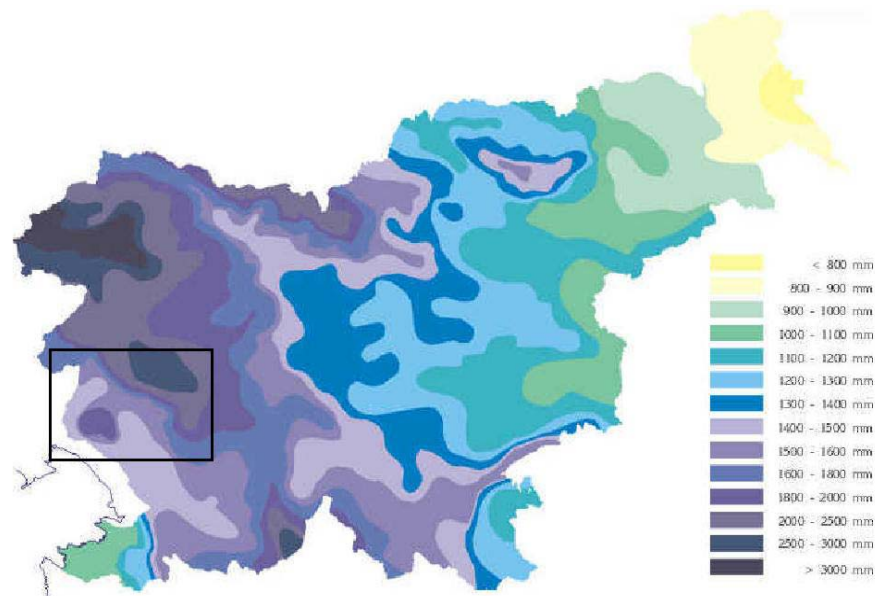
Figure 5: Maximum and minimum air temperature and precipitation oscillation in the 1961 – 1990 period for Ajdovščina (a), Nova Gorica (b), Slap pri Vipavi (c), Branik (d) and Bilje (e).

Za boljši prikaz klime Vipavske doline, smo s kvadratom označili lokacijo le-te na karti s prikazanimi povprečji temperature zraka referenčnega obdobja 1961-1990 (Slika 6) in padavinski karti (Slika 7) Slovenije s prikazanimi povprečji referenčnega obdobja 1961-1990 ([http://www.rzs-hm.si/pripravili\\_smo/klima/karte.html](http://www.rzs-hm.si/pripravili_smo/klima/karte.html)) ter na karti padavin v vegetacijski dobi referenčnega obdobja 1961-1990 (Slika 8, Kastelec, 2001).



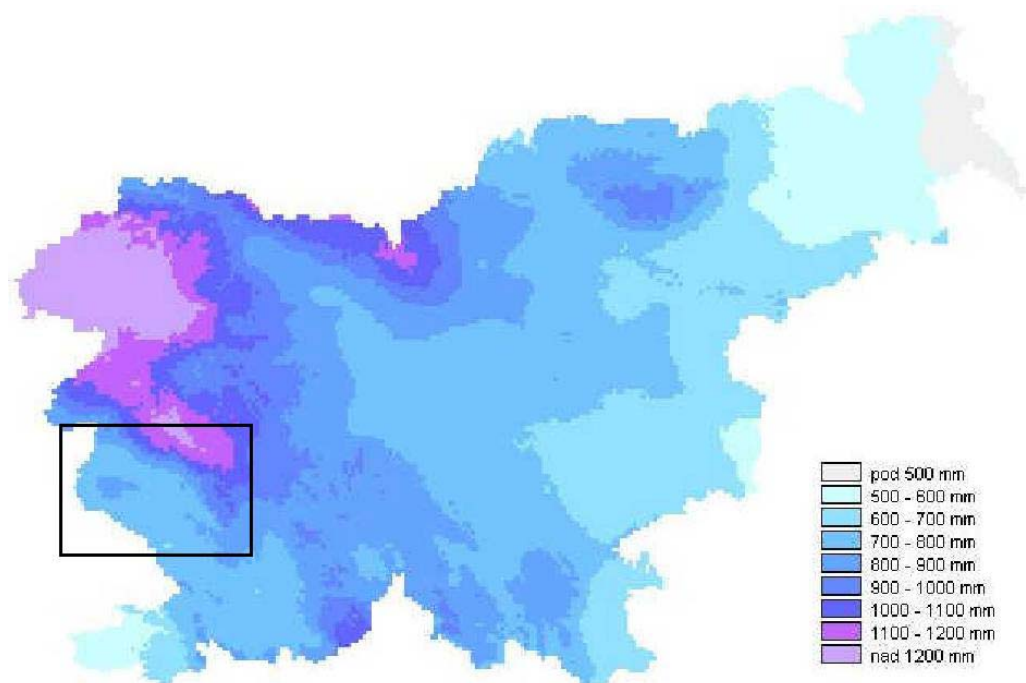
Slika 6: Karta Slovenije s prikazanimi povprečji temperature zraka referenčnega obdobja 1961-1990 (ARSO, 2003).

Figure 6: Map of Slovenia showing air temperature averages of reference set 1961 – 1990 (EARS, 2003).



Slika 7: Padavinska karta Slovenije s prikazanimi povprečji referenčnega obdobja 1961-1990 (ARSO, 2003).

Figure 7: Precipitation map of Slovenia showing averages of reference set 1961 – 1990 (EARS, 2003).



Slika 8: Karta padavin v vegetacijskem obdobju Slovenije s prikazanimi povprečji referenčnega obdobja 1961-1990 (Kastelec, 2001).

Figure 8: Precipitation map of vegetative period of Slovenia showing averages of reference set 1961 – 1990 (Kastelec, 2001).

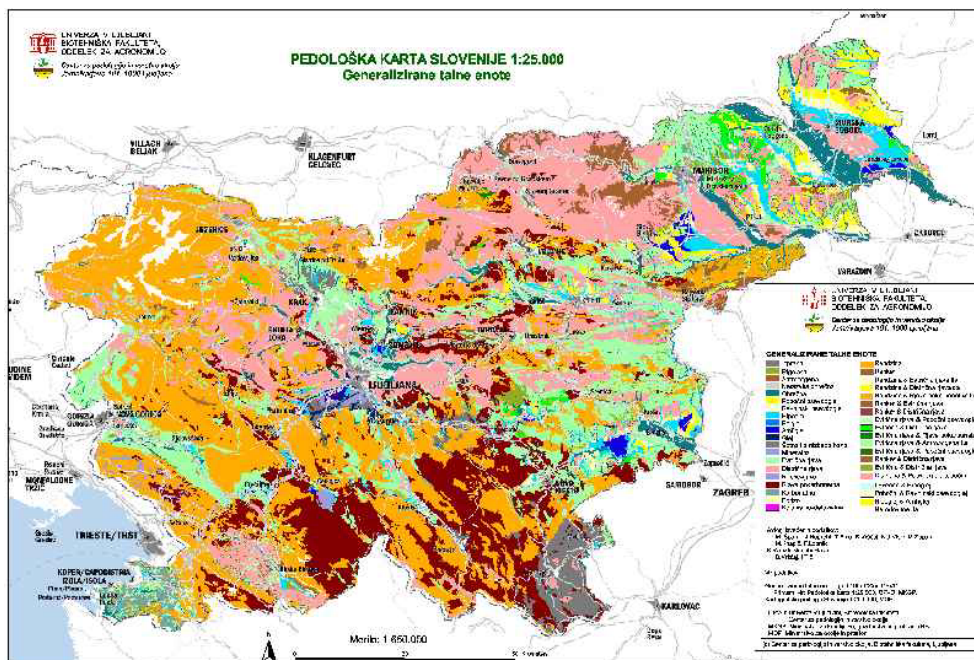
### 3.1.2 Nivo podtalnice

V Vipavski dolini obstajata dva manjša vodonosnika (ARSO, 2002). Prvi se nahaja v zgornji Vipavski dolini, kjer so merilne postaje Gradišče ( $\nabla$  2,5 m) Ajdovščina ( $\nabla$  4,7 m), Vipavski križ ( $\nabla$  2,4 m), Prvačina ( $\nabla$  2,0m), Volčja draga ( $\nabla$  3,1 m) in Renče ( $\nabla$  2 m).

Drugi vodonosnik je v spodnji Vipavski dolini, kjer so merilne postaje Vrtojba ( $\nabla$  18 m), Miren ( $\nabla$  22 m) in Šempeter pri Novi Gorici ( $\nabla$  21 m). Nivo podtalnice smo uporabili kot robni pogoj v modelu SWAP.

### 3.1.3 Podatki o tleh

Za opis tal v Vipavski dolini smo uporabili geološko karto v merilu 1 : 100000 (Dimitrijevič in sod., 1973) ter pedološko karto Slovenije v merilu 1 : 25 000 (Slika 9, CPVO, 2002).



Slika 9: Pedološka karta Slovenije ([http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/GF\\_PodatkiTalSlovenije.htm](http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/GF_PodatkiTalSlovenije.htm)).

Figure 9: Soil map of Slovenia ([http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/GF\\_PodatkiTalSlovenije.htm](http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/GF_PodatkiTalSlovenije.htm)).

#### 3.1.3.1 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 pa Idrijsko ozemlje in Trnovski gozd (Dimitrijevič in sod., 1973).

Po ravninskem delu se izmenjujeta fliš in aluvijalni nanosi rek in potokov. V flišu se menjajo 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. V flišu prevladujejo laporji in peščenjaki v zgornji in spodnji Vipavski dolini. Aluvij se pojavlja ob reki Vipavi in njenih pritokih Močilnik, Hubelj, Branica in Lijak. Na severnem robu se nad narivom pojavlja apnenčasti grušč ponekod sprijet v brečo.

#### 3.1.3.2 Izbira talnih profilov za vhodne podatke v model

Na področju Vipavske doline je bilo evidentiranih 36 pedosistematskih enot (PSE) v 14 pedokartografskih enotah. Center za pedologijo in varstvo tal ima v bazi podatkov za



področje Vipavske doline 56 talnih profilov porazdeljenih po PSE. Iz pedološke karte Slovenije v merilu 1 : 25000 (CPVO, 2002) smo izbrali pedokartografske enote (PKE), v okviru te PSE ter pedološki profil (PP). Pri izbiri PP smo upoštevali naslednje kriterije: (1) profil se nahaja na ravninskem delu doline (zaradi primerljivosti rezultatov med modeloma), (2) profil je na pedosistematski enoti, ki je tipičen predstavnik tlotvornih procesov v Vipavski dolini, (3) tla so primerna za pridelavo breskev in nektarin, (4) profil se nahaja v bližini parcel z nasadi breskev in nektarin oz. na področju, kjer je pridelava sadja intenzivna (Agencija za kmetijske trge, 2001).

Iz pedološke karte so bili vzeti podatki talnih horizontih in sicer za posamezen horizont v profilu podatki o teksturi tal (masni odstotek peska P, skupnega melja M, gline G), vsebnosti organske snovi (masni odstotek OS) v tleh, globini horizontov [cm] in vsebnost skeleta v volumskih odstotkih (Preglednice 2 – 16). Gostoto tal smo določili na osnovi teksturnega razmerja s pomočjo Saxtonovega modela (Saxton in sod., 1986), ki je bil za izračun gostote tal preizkušen za slovenske razmere (Ruprecht, 1999).

### 3.1.3.3 Tla v Vipavski dolini

Tla Vipavske doline so razvrščena v dva oddelka: avtomorfna in hidromorfna tla.

Neposredno ob reki Vipavi so tipičen predstavnik tlotvornih procesov v Vipavski dolini evtrična rjava tla na aluvijalno – deluvijalnem nanosu, srednjegloboka in globoka, ki pokrivajo 30% površine. Po teksturi podobna, vendar nastala z drugačnimi pedogenetskimi procesi, so evtrična rjava tla na aluvijalno – deluvijalnem nanosu, srednje globoko psevdoglejena in obsegajo 15% območja. Zelo intenzivno obdelana so rjava obrečna tla, meljasto ilovnata do ilovnata, globoka, ki so zelo primerna za sadovnjake (površinski delež okoli 15%).

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. Zaradi plitvosti so manj primerna za sadjarstvo in obsegajo 10% površine.

Zasledimo tudi različne oblike hidromorfne tal, od hipo in amfiglejev do ostalih oglejenih oblik, ki obsegajo 15% površine. V letih 1980 – 1990 so se na teh površinah 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.

#### 3.1.3.3.1 Avtomorfna tla

V oddelek avtomorfne tal so uvrščena tla, ki so nastala pod vplivom padavinske vode, ki skozi profil tal prosto in brez daljšega zadrževanja gravitacijsko odteče.

Evtrična rjava tla, na (fluvioglacialnem) produ in pesku globoka

Evtrična rjava tla na fluvioglacialnem produ in pesku, ki so nastala kot vršaj reke Soče, imajo vse značilnosti (predvsem kemične), opisane za evtrična tla. Ta kartografska enota zavzema zelo ozek pas na skrajnem zahodnem delu ob italijanski meji. Celoten profil gradijo peščeni delci in prod karbonatnega porekla, ki so pomešani z drobnimi meljastimi in glinastimi delci flišnega izvora. Različno debele plasti prodnatih nanosov so večkrat prekinjene z nanosi glin, ki predstavljajo nepropustno dno za slojno talno vodo. Peščeno prodnata tla so dokaj sušna, vendar razporeditev padavin v tem klimatu omogoča, da se vse te površine skrbno obdelujejo. Najpogostejša raba je njivski kolobar (Preglednici 2 in 3). Izbrali smo PP 198 in PP 201 znotraj pedokartografske enote 66 evtrična rjava tla na ledenodobnem karbonatnem produ in peskih, na nasutinah rek in rečnem vršaju, tip 100%.

Preglednica 2: Opis pedološkega profila 198 (tip tal za evtrična rjava tla na ledenodobnem produ in pesku) znotraj pedokartografske enote 66.

Table 2: Description for soil profile no. 198 on soil cartographic unit 66 (Eutric Cambisol on glacial gravel and sand deposits, deep).

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % vol	OS % masni
198	Ap	0-18	I	45	38	17	posam., nekarb.,	2,9
	A12	18-42	I	45	40	16	3-5% pret., nekarb.,	3,1
	Bv1	42-52	GI-MGI	21	44	36	20-50 mm, posam.,	1,9
	Bv2C	52-70	GI	39	31	29	50-60% pret., nekarb.,	1,7
	Bv3	70-90	I	47	31	22	20-30%	0,9

Preglednica 3: Opis pedološkega profila 201 (tip tal za evtrična rjava tla na ledenodobnem produ in pesku) znotraj pedokartografske enote 66.

Table 3: Description for soil profile no. 201 on soil cartographic unit 66 (Eutric Cambisol on glacial gravel and sand deposits, medium deep).

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % vol	OS % masni
201	P	0-36	I	45	42	13	20-30%	5
	Bv	36-64	GI	39	33	28	20-30%	2,9
	C	64-100	GI	39	34	27	20-30%	2,0

Tla na flišuEvtrična rjava tla, na flišu antropogena

Vitisol – vsa rigolana tla uvršamo v tip antropogenih tal, pri katerih je prišlo zaradi globoke obdelave do mešanja dveh oziroma več horizontov. Ti posegi v tla dosega globino 60 cm ali več, zaradi česar se v tleh formira antropogeni P horizont. Fizikalne in kemijske lastnosti teh tal so močno pogojene z obliko človekovih posegov v talni profil. Tla izkazujejo nevtralno do alkalno reakcijo. Založenost s humusom je razmeroma dobra, tla so meljasto glinasta, zato dobro zadržujejo vlogo (Preglednici 4 in 5). Izbrali smo PP

108 znotraj pedokartografske enote 430 (rigolana, vinogradniška - vitisol, evtrična 100%) in PP 88 znotraj pedokartografske enote 1279 (evtrična rjava tla na eocenskem flišu, tip 60%, evtrična rjava na eocenskem flišu antropogena 40%).

Preglednica 4: Opis pedološkega profila 108 (tip tal za evtrična rjava tla, na flišu antropogena – vitisol) znotraj pedokartografske enote 430.

Table 4: Description for soil profile no. 108 (Ari Eutric Cambisol on flysch) on soil cartographic unit 430.

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
108	P1	0-32	GI	35	41	25	0	4,3
	B1v	32-68	GI	45	33	22	15%	1,2
	C	68+	GI	45	33	22	0	1,2

Preglednica 5: Opis pedološkega profila 88 (tip tal za evtrična rjava tla, na flišu plitva) znotraj pedokartografske enote 1279.

Table 5: Description for soil profile no. 88 (Eutric Cambisols on flysh) on soil cartographic unit 1279.

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
88	A	0-24	MGI	18	53	29	0	2,4
	Bv	24-60	MGI	18	52	30	0	0,9
	BC	60+	MGI	18	52	30	0	0,9

### Evtrična rjava tla na flišu, koluvijalna, psevdoglejena

Tla s površinskim (A) ali Ap horizontom so nastala s premeščanjem talnih delcev iz višjih predelov v dolino zaradi delovanja vodne erozije ter kasnejšo recentno sedimentacijo tako erodiranega materiala. Na območju Vipavske doline so se takšna tla razvila v večjem obsegu predvsem ob vznožju flišnega gričevja. Nanosi imajo različno sestavo glede karbonatnosti in glede teksturne sestave, vsled česar tudi profili koluvialnih tal niso enotni.

Odcednost teh tal je predvsem odvisna od konfiguracije terena. V pogojih, ko je le-ta ovirana, teksturna sestava alohtonega materiala pa močno glinasta ali pa glinasto meljasta, so ustvarjeni naravni pogoji, da pride do procesov oglejevanja. Na kartiranem območju so bili identificirani tudi areali koluvialnih tal z izraženimi procesi psevdoglejevanja.

Fizikalne in kemične lastnosti koluvialnih psevdoglejenih tal izkazujejo, da so ta tla slabo kisle do nevtralne reakcije. Prisotnost Bg horizontov v profilu močno zmanjšuje ugodne fizikalne lastnosti neoglejenih koluvialnih nanosov.

Nastanek koluvialnih tal je močno pogojen z ustrezno konfiguracijo terena, ki omogoča kasnejšo recentno sedimentacijo. Zaradi umirjenih erozijskih procesov in velike fiziološke globine se ta tla intenzivno obdelujejo. Najpogostejša je vinogradniška ali sadjarska pridelava, niso pa redke tudi njive. Poletne suše so dokaj omiljene, ker je kapaciteta tal za vodo dokaj velika (Preglednici 6 in 7). Pri evtričnih rjavih tleh, na eocenskem flišu,

tipičnih smo izbrali PP 121 in PP163 znotraj pedokartografske enote 1282 (evtrična rjava tla na eocenskem flišu, psevdoglejena 70%, evtrična rjava tla na eocenskem flišu, koluvialna 30%).

Preglednica 6: Opis pedološkega profila 121 (tip tal evtrična rjava, na eocenskem flišu, koluvialna tipična) znotraj pedokartografske enote 1282.

Table 6: Description for soil profile no. 121 on soil cartographic unit 1282 (Eutric Cambisol on flysch).

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
121	Ap	0-28	GI	29	45	26	0	1,8
	A12	28-41	GI	29	45	26	0	1,8
	Bv	41-58	GI	30	43	27	droben pesek	0,9

Preglednica 7: Opis pedološkega profila 163 (tip tal za evtrična rjava, na eocenskem flišu, koluvialna tipična) znotraj pedokartografske enote 1282.

Table 7: Description for soil profile no. 163 on soil cartographic unit 1282 (Cumuli Eutric Cambisol - Endostagnic).

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
163	Ap	0-17	GI	23	51	26	0	3,4
	A12	17-32	MI	23	53	25	0	5,7
	Ag	32-72	MGI	14	51	35	0	2
	Bg	72-100	MGI	14	51	35	0	2

#### Evtrična rjava tla, na aluviju z apnenim gruščem

Uporabljeni podatki za evtrična rjava tla, na aluviju z apnenim gruščem so v preglednici 8. Izbrali smo PP 128 znotraj znotraj pedološke kartografske enote 68 evtrična rjava tla na ledenodobnih prodnih in peščenih nasutinah rek in rečnem vršaju, tip srednje globoka%.

Preglednica 8: Opis pedološkega profila 128 (tip tal evtrična rjava tla na ledenodobnem karbonatnem produ in peskih) znotraj pedološke kartografske enote 68.

Table 8: Description for soil profile no. 128 on soil cartographic unit 68 (Eutric Cambisols on alluvial deposits with limestone rubble).

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
128	Ap	0-30	MI	22	59	19	0	3,9
	AB	30-50	MI	17	57	27	0	2
	BC	50-70	MI	17	56	28	50-60% gruščča in kamenja	

Evtrična rjava tla, na flišu, z apnenčastim gruščem, srednje globoka

To so tla, katerih nastanek je pogojen z debelim narivom apnenčastega grušča preko fliša. Na nekaterih mestih apnenčasti grušč prekriva fliš vse do vznožij pobočja. V nižini, kjer so na tvorbo tal v veliki meri vplivali potoki (hudourniški Hubelj, ipd.), je opazno debelo prekritje fliša z apnenčastim drobirjem. Heterogenost matične podlage (vsebnost apnenega grušča, večji skalni osamelci, fliš) je vzrok, da je raba teh zemljišč zelo različna. Glavni omejevalni faktor za intenzivnejšo kmetijsko rabo je stopnja skeletnosti in morfološka globina profila. Z odstranitvijo večjih skalnih osamelcev, ki onemogočajo strojno obdelavo, postanejo to zelo dobra kmetijska zemljišča, primerna za sadjarsko in vinogradniško proizvodnjo (Preglednica 9). Izbrali smo PP 136 znotraj znotraj pedokartografske enote 149 evtrična rjava na flišu in laporju s primesjo apnenih breč, tip 100%.

Preglednica 9: Opis pedološkega profila 136 (tip tal evtrična rjava, na flišu, z apnenim gruščem) znotraj pedokartografske enote 149.

Table 9: Description for soil profile no. 136 (Eutric Cambisols on flysh with limestone rubble, medium deep) on soil cartographic unit 149.

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
136	Ap	0-25	GI	16	46	38	5-10%	0,9
	AB	25-38	GI	33	39	28	10-15%	2,5
	BC	38-73	I	34	41	25	50%	3,9

Distrična rjava tla na nekarbonatnem flišu tipična

Distrična rjava tla niso tipičen predstavnik za Vipavsko dolino. V profilu se pojavlja peščena tekstura, zato smo ga uvrstili med izbor obravnavanih profilov. Od evtričnih tal se razlikujejo po V vrednosti, ki so v distričnih tleh nizka (do 10%), evtrična pa imajo V vrednosti okoli 90% (Preglednica 10). Izbrali smo PP 85 znotraj pedokartografske enote 1237 distrična rjava tla na nekarbonatnem flišu - dekalificiranem laporju izprana 100%.

Preglednica 10: Opis pedološkega profila 85 (tip tal distrična rjava tla na nekarbonatnem flišu, tipična) znotraj pedokartografske enote 1237.

Table 10: Description for soil profile no. 85 (Distric Cambisols on non-calcareous flysh) on soil cartographic unit 1237.

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
85	A	0-9	PI	59	26	15	0	2,1
	Bv1	9-40	PI	57	26	18	droben pesek	1,4
	Bv2	40-65	PI-PGI	54	26	20	0	1,2

### 3.1.3.3.2 Hidromorfna tla

V oddelek hidromorfni tal so uvrščena tla, v katerih padavinska voda zastaja ali pa je prisotna podtalnica (talna voda), včasih tudi do površine tal.

#### Hipoglej, evtričen, zmerno močan

V skupino glejev prištevamo tla, ki imajo Aa horizont z znaki hidromorfizma ter jasno vidne podhorizonte tipa Go in Gr. Tla imajo v zgornjih horizontih veliko vsebnost organske snovi (10 – 15%), prav tako v spodnjih horizontih (3%). Na območju aluvialnih nanosov Vipave in ostalih vodotokov na območju Vipavske doline, kjer so nastala depresijska območja, ki so zasuti z meljasto glinasto ilovico oziroma meljasto glino, so se razvila oglejena tla tipa – hipoglej.

Morfološke lastnosti izkopanih profilov kažejo, da so tla v zgornjem delu še odcedna in biološko aktivna. V globino, kjer je opazen močan porast glin, pa tla postajajo vse bolj zbita in mazava. Vrednosti pH izkazujejo, da so tla nevtralna do slabo kisla. V spodnjih horizontih je opazno zelo neugodno zračno vodno razmerje. Tla so močno marmorirana. Opazni so znaki nastajanja konkrecij. Z rastočo globino postajajo horizonti vse bolj sivi in počasi preidejo v povsem redukcijski horizont (Gr). Zaradi neugodne teksture in izjemno slabih zračno vodnih razmer v tleh so ta tla primerna samo za travniško proizvodnjo s slabo kvaliteto sena. S sodobnimi osuševalnimi ukrepi (gosta cevna drenaža in ostale izboljšave) je možno ta talni tip spremeniti v dokaj produktivna zemljišča (Preglednica 11). Izbrali smo PP 140 znotraj pedokartografske enote 1242 hipoglej, evtričen mineralen, zmerno močan 60%, hipoglej evtričen mineralen srednje močan 40%.

Preglednica 11: Opis pedološkega profila 140 (tip tal srednje močan hipoglej) znotraj pedokartografske enote 1242.

Table 11: Description for soil profile no. 140 on soil cartographic unit 1242 (Epi Gleysol).

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
140	A11	0-10	MI	16	59	25	0	9,8
	A12	10-23	MI	13	61	27	0	4,7
	BGo	23-40	MGI	12	59	29	0	2,8
	Go	40-70	MGI	10	53	38	0	2,8
	Gr	70-100	MGI	13	43	44	0	3,1

#### Obrečna tla, evtrična, globoko oglejena

To so mlada slabo razvita tla, nastala na recentnih rečnih nanosih. Profil gradijo A-C ali A-G horizonti. Procesu pedogeneze so slabo izraženi zaradi relativne mladosti nanosov.

Razvila so se v neposredni bližini vodotokov na holocenskih rečnih nanosih Vipave in njenih pritokov. Na nekaterih delih zavzema ta talna enota zelo ozek pas zemljišč tik ob rečni strugi, drugod pa obsega večje aluvialne ravnice, ki se danes intenzivno obdelujejo. V

depresijah, ki včasih zajemajo bivše rečne struge, so se razvila zelo globoka rjava obrečna tla, ki pa so v spodnji horizontih včasih slabo oglejena. Tu so opazni sicer slabo izraženi procesi oglejevanja (Go horizonti) v obliki drobnih rjastih konkrecij in rahlih sivih prevlek. Ker so ti procesi le občasni in so neposredno vezani na dvig vode v rečnem koritu, ki je povezan z gibanjem podtalnice, v tleh nimajo bistvenih negativnih vplivov na rast rastlin.

Fizikalne in kemične lastnosti izkazujejo, da so to zelo primerna tla za raznovrstno kmetijsko proizvodnjo. Navkljub MI teksturi so tla zračna in propustna. Tla imajo 2-3 % organske snovi, ki pa z globino počasi pada. Poleg ugodnega zračno vodnega režima v tleh, je značilno, da so ta tla zelo lahka za obdelavo in biološko dobro aktivna. Uporabljajo se kot idealna poljedelska tla, s katerimi razpolaga Vipavska dolina. Obstoječi plantažni nasadi hrušk in breskev kažejo, da so to tudi idealna tla za sadjarsko proizvodnjo (Preglednice 12 – 16). Izbrali smo PP 129 pedokartografske enote 139 evtrična rjava tla na flišu in laporju s primesjo apnenih breč, tip plitva 100% ter PP 117, 141, 144, 146 znotraj pedokartografske enote 1241 obrečna evtrična globoko oglejena 80%, evtrična globoka 20%.

Preglednica 12: Opis pedološkega profila 129 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 139.

Table 12: Description for soil profile no. 129 (Eutri Endogleyic Fluvisol) on soil cartographic unit 139.

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
129	A11	0-17	I	36	43	21	0	3,4
	A12	17-37	I	38	44	18	0	4,2
	A13	37-70	I	43	35	22	0	3,4
	Go1	70-95	I-MI	22	51	26	0	2,2
	Go2	95-120	MI	25	53	22	0	1,6

Preglednica 13: Opis pedološkega profila 117 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 1241.

Table 13: Description for soil profile no. 117 (Eutri Endogleyic Fluvisol) on soil cartographic unit 1241.

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % <sub>vol</sub>	OS % <sub>masni</sub>
117	Ap	0-26	MI	22	58	20	0	2,3
	A12	26-60	MI	17	64	19	0	1,1
	A13	60-90	MI	25	56	19	0	0,6
	Go	90-110	MI	25	56	19	0	0,6

Preglednica 14: Opis pedološkega profila 141 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 1241.

Table 14: Description for soil profile no. 141 (Eutri Endogleyic Fluvisol) on soil cartographic unit 1241.

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % vol	OS % masni
141	Ap	0-23	MI	21	60	19	0	2,7
	A12	23-50	MI	23	60	17	0	1,9
	A13	50-85	MI	22	62	16	0	1,1
	A(Go)	85-110	MI	19	65	17	0	0,9

Preglednica 15: Opis pedološkega profila 144 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 1241.

Table 15: Description for soil profile no. 144 (Eutri Endogleyic Fluvisol) on soil cartographic unit 1241.

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % vol	OS % masni
144	A11	0-9	MI	15	66	18	0	7,8
	A12	9-25	MI	13	63	23	0	2,7
	A13	25-45	MGI	12	60	27	0	2,6
	B(Go)	45-65	MGI	11	60	29	0	1,3
	Go1	65-87	MGI	10	61	29	0	1,3
	Go2	87-100	MGI	10	63	28	0	1,7

Preglednica 16: Opis pedološkega profila 146 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 1241.

Table 16: Description for soil profile no. 146 (Eutri Endogleyic Fluvisol) on soil cartographic unit 1241.

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % vol	OS % masni
146	Ap	0-22	MI	36	50	14	0	2,7
	A12	22-46	MI	30	56	15	0	2
	A(Go)	46-55	MI	33	54	13	0	1,5
	Go1	55-84	MI	32	53	16	0	0,8
	Go2	84-110	MI	38	49	13	0	0,6



### 3.1.3.4 Tla uporabljena v kalibraciji in validaciji

Ker meritev hidravličnih lastnosti tal nismo imeli, smo uporabili možnost izračuna le-teh s podprogramom vgrajenim v model SWAP (Kroes in sod., 1999). Za preizkus, kateri izmed podmodelov je ustrezen (PTF, Star vrste, HYPRES vrste, poglavje 2.6.3), smo uporabili podatke o tleh (preglednica 18) v poskusnem nasadu breskev in nektarin Sadjarskega centra Bilje (Štampar in sod., 1995). Za kalibracijo modela pri izbiri opisnih parametrov za rast rastlin in tal smo uporabili podatke za tla (preglednica 17) v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije (ARSO, 2002). Za validacijo smo uporabili tla (preglednica 18) v poskusnem nasadu breskev in nektarin Sadjarskega centra Bilje (Štampar in sod., 1995).

Preglednica 17: Opis pedološkega profila v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana (ARSO, 2002).

Table 17: Soil profile description for apple experimental site of Agricultural Institute of Slovenia, Ljubljana (EARS, 2002).

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % vol	OS % masni
KIS	P	0-50	MI	25	22	54	0	9,8

Preglednica 18: Opis pedološkega profila v poskusnem nasadu breskev in nektarin Sadjarskega centra Bilje (Štampar in sod., 1995).

Table 18: Soil profile description for experimental site of peaches and nectarines of Sadjarskega centra Bilje (Štampar et al., 1995).

PP	Hor	D <sub>tal</sub> [cm]	Teksturni razred	P	M	G	Skelet % vol	OS % masni
Bilje	Ap1	0-10	MI	22	53	25	5 % (0,5 – 2cm)	2,9
	Ap2	10-18	GI	22	49	29	3 % (0,5 – 2cm)	2,6
	P2	23-40	MGI	15	46	39	posamezen	1,5
	Bv	40-70	G	23	30	47	50 – 60 % (0,5 – 3cm)	1,1

### 3.1.4 Vsebnost vode v tleh

Za umerjanje in preveritev modelov GLEAMS in SWAP smo uporabili meritve vsebnosti vode v tleh za nasad jablan v Ljubljani, Kmetijski inštitut Slovenije, za leti 1995 in 1996. Za preveritev ali validacijo smo uporabili meritve vsebnosti vode v tleh, katere smo izvajali v talnem profilu na poskusnem polju breskev in nektarin poleg meteorološke postaje v sadjarskem centru Bilje za leto 2002. Uporabljeni sta bili dve metodi gravimetrična in Frequency Domain Reflectometry (FDR) metoda (sonda Sentek® Diviner 2000). Tla v sadjarskem centru Bilje so predstavnik prevladujočega talnega tipa v Vipavski dolini (rjava obrečna tla). Meritve vsebnosti vode v tleh na dveh lokacijah omogočajo

pridobitev dveh neodvisnih nizov podatkov, kar je potrebno pri kalibraciji in validaciji modelov (Knisel in Tortuola, 2000).

#### 3.1.4.1 Gravimetrična metoda

Maso odvzetega vzorca tal stehtamo, nato pa še maso vzorca, posušenega na 105°C v sušilniku. Razlika v masi pove vsebnost vode in se izraža v odstotkih mase ali volumna (Klute, 1986; Jury in sod., 1991). Masni odstotek vode  $\theta_g$  je

$$\theta_g = \frac{m_w}{m_s} 100\% \quad \dots (33)$$

kjer je  $m_w$  masa vode (razlika v masi skodelic z vzorcem prvega in drugega tehtanja po sušenju na 105°C) ter  $m_s$  masa suhega vzorca po sušenju na 105°C. Izračun za volumski odstotek vode je

$$\theta_w = \frac{V_w}{V_b} = \frac{m_w}{\rho_w \cdot V_b} \quad \dots (34)$$

Povezava med masnim  $\theta_g$  in volumskim  $\theta_w$  odstotkom vode:

$$\theta_w = \theta_g \cdot \rho_b \quad \dots (35)$$

Pri gravimetrični metodi so mogoče meritve v celem spektru vlažnosti tal. Na rezultate meritev vsebnost soli in temperatura tal nimata vpliva. Meritve so zanesljive (uporablja se kot kalibrirni standard), slaba lastnost pa je, da niso ponovljive, izvajamo jih v laboratoriju in ne in-situ in lahko pride do napake pri vzorčenju. Za izračun volumskih odstotkov tal je potrebno poznati gostoto tal.

#### 3.1.4.2 Diviner® 2000 Sentek (FDR)

Dielektrični senzor je sestavljen iz para elektrod (vzporedne žice ali krožni kovinski obroči), ki so povezane z oscilatorjem. Ko je sonda vstavljena v tla ali v PVC merilno cev, nameščeno na polju, jo aktiviramo s pomočjo radio frekvenc. Sistem tla-voda-zrak okoli PVC cevi ustvarja dielektričnost kondenzatorja, le-ta pa zaključuje oscilacijski krog. Spremembe v vsebnosti vode v tleh povzročijo premik – spremembo frekvence. Pri metodi s kondenzatorjem je potrebno za zanesljivo oceno vsebnosti vode v tleh omogočiti dober stik med cevjo za sondo in poroznim sistemom.

### 3.1.5 Pridelovanje breskev in nektarin

Pri intenzivni pridelavi breskev in nektarin je nujno zagotoviti optimalen vodni režim tal. Voda ima velik vpliv na rast sadnih dreves preko več procesov. Vpliva na rast drevesa pri delitvi in razvoju celic, na tvorbo plodov pri diferenciaciji cvetnih brstov ter na kakovost plodov, saj vpliva na zniževanje tvorbe ogljikovih hidratov zaradi spremenjene stomatalne in encimske aktivnosti pri fotosintezi in respiraciji (Faust, 1989).

Suša znižuje rodnost sadnih dreves, raba vode pa je neposredno povezana z rodnostjo tudi pod pogoji, ko drevesa niso vidno pod sušnim stresom. Povečanje suhe mase pri jablanah in breskvah so proporcionalne vodi, ki transpirira. Pri povezavi akumulacije suhe snovi in transpiracije v času, se je pokazalo, da je prirast suhe snovi neposredno proporcionalen dejanski transpiraciji. Pri breskvah se to razmerje ohrani ne glede na velikost drevesa ali obdelavi (Richards in Rowe, 1976). Raba vode posredno in neposredno vpliva na pridelek, kar pomeni, da je vodni režim osrednjega pomena pri pridelavi sadja in fiziologiji sadnih dreves. Sorta 'Redheaven' je najbolj razširjena sorta breskev pri nas, predvsem zaradi dobre rodnosti, kakovostnih plodov in dobre prilagodljivosti na različne ekološke razmere pridelovanja (Godec, 1998). Med najbolj razširjenimi sortami nektarin v Sloveniji sta sorti 'Venus' in 'Maria Laura', ki imata podobne lastnosti kot sorta breskev 'Redheaven'.

Breskve in nektarine lahko gojimo v različnih vzgojnih oblikah (vreteno, kotlasta krošnja ali tudi palmeta). Pri nas se največkrat odločamo za vreteno zaradi boljše osvetlitve (Štampar, 2002). Gojitvena oblika, ki jo najpogosteje najdemo v proizvodnji, je vreteno, katerega lastnosti smo tudi uporabili za vhodne parametre za model. Razpored dreves v vrsti pri vretenu je 2 x 2 m, višina drevesa pa doseže od 3,5 – 4 m, medvrstna razdalja je 4 m. Rastna doba breskev in nektarin je od sredine marca do konca oktobra, ko pride do odpadanja listov. Dolžino rastne dobe smo za vhodni podatek v model ocenili na 228 julijanskih dni.

Listna površina dreves se v spomladanskem času hitro razvije na maksimalno vrednost. Preko sezone se ne spreminja ter se končno zmanjša, ko začnejo listi v jeseni odpadati. Ta shema razvoja listne površine je pri sadnem drevju zaradi rezi nekoliko spremenjena. Za rast breskev je značilno, da ne razvijejo kratkega lesa. Zaradi boljše diferenciacije cvetnih brstov, razvoja plodov ter za doseganje enakomerne osvetlitve krošnje, je potrebna poletna rez (junij – julij). Razvoj listne površine se prične z nizkimi vrednostmi ter narašča v 90 dneh, dokler se ne ustavi rast poganjkov. Vrednost indeksa listne površine ( $LAI$ ) breskev je med 4 in 10, odvisno od razvojne faze in vzgojne oblike. V preglednici 19 je naveden  $LAI$  zmanjšan zaradi rezi. Vrednosti koeficienta slabitve kratkovalovnega sevanja  $K_{LAI}$  sadnega drevja, ki je funkcija naklona lista, optičnih lastnosti listov, zenitnega kota (Hočevar in Kajfež-Bogataj, 1996), se gibljejo med 0,43 ter 0,60. Na splošno sprejeta vrednost  $K_{LAI}$  za breskve je 0,60 (Faust, 1989). Minimalna upornost krošnje  $r_c$  v sadovnjaku je 20 s  $m^{-1}$  (Allen in sod., 1998).

Rast korenin je najbolj bujna v prvem letu razvoja. Na rast in razvoj najbolj vplivajo podlaga, tip tal ter metoda namakanja. Gostoto korenin smo opisali s koeficienti gostote v odvisnosti od relativne globine za vegetativno razmnožene podlage. Največja gostota korenin je na globini od 0 – 30 cm, korenine pa lahko segajo do nekaj metrov globine, odvisno od podlage in tipa tal. Razporeditev korenin po globini je naslednja: od 0 – 20 cm 27%, od 20 – 40 cm je 34% od 40 – 60 je 18% od 60 – 80 je 7% ter od 80 – 120 cm je 3% korenin (Natalie in sod., 1984; Romo in Diaz, 1985). Odvzem vode s strani korenin predstavlja ponor člen  $S$  v Richardovi enačbi za opis toka vode (En. 38).

Zbrani opisni parametri rasti in razvoja za breskve in nektarine, kot smo jih povzeli po literaturi (Faust, 1989; Allen in sod., 1998; Natalie in sod., 1984, 1985; Romo in Diaz, 1985) in uporabili kot vhodne podatke v model, so v preglednici 19.

Preglednica 19: Parametri rasti in razvoja za breskve in nektarine (Faust, 1989; Allen in sod., 1998; Natalie in sod., 1984, 1985; Romo in Diaz, 1985).

Table 19: Parameters for growth and development for peaches and nectarines (Faust, 1989; Allen et al., 1998; Natalie et al., 1984, 1985; Romo and Diaz, 1985).

Mesec	Koeficient breskev $k_c$	Razvojna faza	Faktor pokritosti tal SC breskev	LAI	Globina korenin [cm]	Relativna globina tal	Relativna gostota korenin
Apr	0,66	0	0,60	4	50	0	0,3
Maj	0,74	1	0,69	7	50	0,1	0,6
Jun	0,98	2	1	6	50	0,2	0,9
Jul	1,07	3	1,26	6	50	0,3	1,0
Avg	1,26	4	1,24	6	50	0,6	0,8
						0,8	0,5
						1	0,1

### 3.2 STATISTIČNE METODE

Za prikaz podatkov smo večkrat uporabili okvir z ročaji. Okvir z ročaji določa pet točk, pogojni minimum, prvi kvartil, drugi kvartil, tretji kvartil, pogojni maksimum. Spodnji ročaj določata vrednosti pogojnega minimuma in prvega kvartila, zgornji ročaj vrednosti tretjega kvartila in pogojnega maksimuma. Okvir določata prvi in tretji kvartil, njegovo razdelitev pa mediana. Dolžina okvira je enaka kvartilnemu razmiku, širina okvira nima pomena. Na sliki dodamo zgornje in podnje osamelce ter zgornje in spodnje ekstremne osamelce) (Košmelj, 2001).

Za primerjavo povprečne letne količine padavin na dveh lokacijah smo uporabili preizkus za dva odvisna vzorca. Pri tem smo predpostavili, da je količina padavin v posameznem letu na eni lokaciji odvisna od količine padavin na drugi lokaciji. Preizkus domneve o razliki povprečij pri dveh odvisnih vzorcih prevedemo na preizkus domneve o povprečni vrednosti, le da gre tu za povprečje razlik in ne za povprečje podatkov. V tem primeru je analizirana spremenljivka razlika vrednosti na parih. Ta preizkus velikokrat imenujemo tudi preizkus parov (Košmelj, 2001).

Postavili smo ničelno domnevo  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$  povprečna letna vsota padavin v Biljah ( $\mu_1$ ) je enaka povprečni letni vsoti padavin v Slapu pri Vipavi ( $\mu_2$ ). Uporabljena je bila testna t statistika za katero velja  $\bar{d}/s_d/\sqrt{n}$ , kjer je  $\bar{d}$  povprečna razlika,  $s_d$  je standardni odklon razlik ter  $n_p$  število parov. Ničelna porazdelitev je studentova porazdelitev s  $SP = n_p - 1$ .

### 3.3 SCENARIJI KLIMATSKIH SPREMEMB

Trenutno uveljavljena metodologija po mednarodni organizaciji za proučevanje klimatskih sprememb (IPCC, 2001) je, da se vse študije delajo za več scenarijev, za katere je privzeto, da so enako verjetni. Pri študijah vpliva klimatskih sprememb na okolje se zato uporabljajo inkrementarni scenariji, kjer obstoječe historične podatke spremenimo za neke izbrane absolutne vrednosti.

Uveljavljena metodologija za oceno vpliva klimatskih sprememb (Parry in Carter, 1998) je uporaba modela na sistemu z osnovnim nizom podatkov za 30 let (1961 – 1990) in spremenjenim nizom klimatskih vhodnih parametrov ter primerjava izhodnih rezultatov modela. Metoda spremembe trenutnega stanja se uporablja pogosto (Arnell, 1999; Savabi in Stockle, 2001), izidi pa so obravnavani kot občutljivostna analiza v možnem podnebnju in ne kot napoved (Xu, 1999).

Izbran je bil razkorak 1,5°C, pri čemer smo povečali osnoven niz podatkov za dnevno temperaturo zraka za 1,5°C, 3°C in 4,5°C. Za padavine so upoštevane napovedane spremembe v sezoni (Preglednica 20). Uporabljen je bil scenarij, kjer so bile dnevne količine padavin zmanjšane za 10% preko celega leta ter mešan scenarij, kjer so bile padavine v obdobju april – september zmanjšane za 10 % ter v obdobju oktober – marec povečane za 10% (Arnell, 1999; IPCC, 2001).

Preglednica 20: Spremembe osnovnega niza podatkov za dnevne temperature zraka in količine padavin (Arnell, 1999; IPCC, 2001).

Table 20: Modification of basic data set for daily air temperatures and precipitation data (Arnell, 1999; IPCC, 2001).

Scenarij	Sprememba temperature zraka	Sprememba padavin
Scenarij 1	+ 1,5°C	zmanjšane za 10 %
Scenarij 2	+ 1,5°C	april – september zmanjšane za 10 %, oktober – marec povečane za 10%.
Scenarij 3	+ 3°C	zmanjšane za 10 %
Scenarij 4	+ 3°C	april – september zmanjšane za 10 %, oktober – marec povečane za 10%.
Scenarij 5	+ 4,5°C	zmanjšane za 10 %
Scenarij 6	+ 4,5°C	april – september zmanjšane za 10 %, oktober – marec povečane za 10%.

### 3.4 UPORABA MODELOV SWAP IN GLEAMS

#### 3.4.1 Opis modela SWAP

Model SWAP je bil dan v uporabo in v preizkus v okviru mednarodnega raziskovalnega projekta Meteorološke aplikacije v kmetijstvu COST 718 (angl. Meteorological Applications for Agriculture COST 718). SWAP izračuna dnevno evapotranspiracijo v dveh korakih. Prvi korak vključuje izračun potencialne transpiracije po Penman – Monteithu, z uporabo dnevni vrednosti temperature zraka, osončenja, hitrosti vetra ter vlage zraka ter uporabi minimalno vrednost upora rastlinske odeje ter dejansko upornost zraka.

V drugem koraku je stopnja dejanske evapotranspiracije določena z zmanjšanjem koreninskega odzema vode zaradi vodnega in /ali stresa slanosti ter zmanjšanjem zaradi maksimalnega toka vode  $E_{max}$  v zgornji plasti tal.  $ET_p$  ali referenčna evapotranspiracija ( $ET_0$ ) se lahko uporabita kot vhodni podatek za model.  $ET_p$  se razdeli na potencialno stopnjo transpiracije ( $T_p$ ) ter potencialno stopnjo evaporacije tal ( $E_p$ ), izračunani ali s pomočjo indeksa listne površine ( $LAI$ ) ali pokritosti tal  $SC$ , oboje je funkcija razvoja rastline:

$$E_p = (1 - SC)E_{p0} \quad \dots (36)$$

$$T_p = SC \cdot T_{p0} \quad \dots (37)$$

$$SC = e^{-K_{LAI} LAI} \quad \dots (38)$$

kjer je  $SC$  pokritost tal [ $m^2 m^{-2}$ ],  $E_{p0}$  je  $E_p$  mokrih tal [ $mm dan^{-1}$ ] ter  $T_{p0}$  transpiracija suhe rastline, ki popolnoma pokriva tla [ $mm dan^{-1}$ ].

Zmanjšanje  $E_p$  na dejansko stopnjo evaporacije tal ( $E_a$ ) je odvisno od maksimalnega toka vode  $E_{max}$  v zgornji plasti tal v skladu z Darcyjevim zakonom oz. je izračunana empirično po metodi Black in sod. (1969) oz. Boesten in Stroonsnijder (1986).

$$E_{max} = -2K_{1/2} \left( \frac{h_{am} - h_l^j - l_l}{l_l} \right) \quad \dots (39)$$

kjer je  $K$  hidravlična prevodnost [ $cm dan^{-1}$ ],  $h_{am}$  [ $cm$ ] je vodni potencial v ravnotežju z obstoječo relativno vlago zraka,  $h_l^j$  je iterativni korak v izračunu v navpični  $l$  koordinatni smeri, ki je pozitivna v višino in ima na površini tal vrednost 0.

SWAP je osnovan na rešitvi impliciranih končnih razlik nelinearne parcialne diferencialne enačbe za tok vode (Richards, 1931; Feddes, 1978; Van Dam in sod., 1997):

$$C_{ws}(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial l} \left[ K(\theta_w) \left( \frac{\partial h}{\partial l} + 1 \right) \right] - S(h) \quad \dots (40)$$

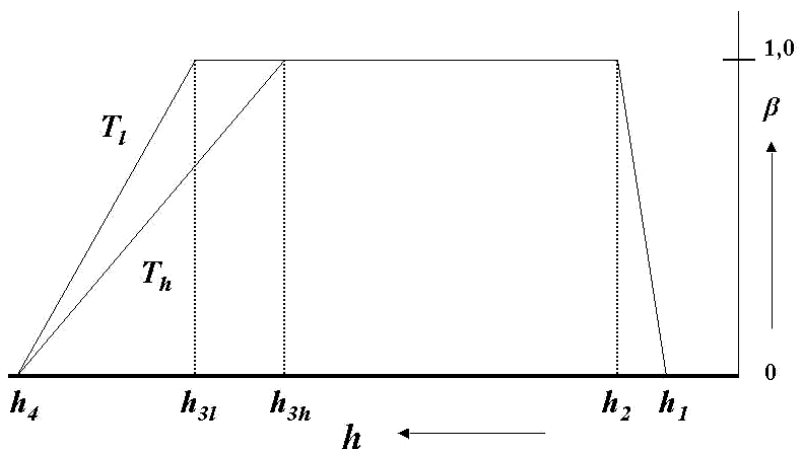
kjer je  $h$  vodni potencial [cm],  $C_{ws}(h)$  je diferencialna kapaciteta za vodo,  $K(\theta_w)$  je hidravlična prevodnost [cm dan<sup>-1</sup>] kot funkcija volumetrične vsebnosti vode  $\theta_w$ ,  $l$  je vertikalna koordinata, ki nakazuje globino pod površino tal [m],  $S(h)$  pa je ponor za odvzem vode s strani korenin [dan<sup>-1</sup>]. Feddes in sod. (1988) predpostavijo homogeno porazdelitev korenin v talnem profilu ter odvzem vode s strani korenin definira kot

$$S_{max} = \frac{T_p}{z_r}, \quad \dots (41)$$

kjer je  $S_{max}$  največji odvzem vode s strani korenin [dan<sup>-1</sup>],  $T_p$  je potencialna transpiracija [mm dan<sup>-1</sup>] ter  $z_r$  globina korenin [cm]. Integracija dejanske stopnje odvzema vode v območju korenin izrazi dejansko stopnjo transpiracije ( $T_a$ ). Ko razmere za odvzem vode niso optimalne, je  $S_{max}$  odvisen od celokupnega potenciala  $h$  in velja

$$S(h) = \beta(h)S_{max} \quad \dots (42)$$

kjer je  $\beta(h)$  brezdimenzijska rastlini specifična funkcija, odvisna od glavne komponente celokupnega potenciala pritiska t.j. matričnega potenciala (Feddes in sod., 1988). Pri točki  $h_1$  (tla so nasičena z vodo) ter  $h_4$  (pri TV) je  $S(h)$  enak 0. Med točkama  $h_2$  in  $h_3$  je  $S(h)$  največji. Vrednost točke  $h_3$  je odvisna od  $h_{atm}$  in se spreminja s  $T_p$  (slika 10).



Slika 10: Brezdimenzijska spremenljivka odvzema vode  $\beta$  odvisna od potenciala pritiska  $h$  (Feddes in sod., 1988).

Figure 10: Dimensionless sing-term variable  $\beta$  as a function of the absolute value of the pressure head  $h$  (Feddes et al., 1988).

Model ima tri možnosti za simulacijo rasti rastline: detajlni model (WOFOST, Dieten in sod., 1989), detajlni model za rast trave ter enostaven model. WOFOST izračuna energijo osončenja, ki jo rastlinska površina absorbira kot funkcijo prihajajočega osončenja ter  $LAI$ .

V modelu je začetek namakanja lahko določen v naprej (vhodna datoteka z določenimi datumi) ali pa se namakanje začne, ko je izpolnjen kriterij za začetek namakanja. Kriterij začetka namakanja je dinamična funkcija razvoja rastline.

V modelu smo uporabili nastavev dovoljen primanjkljaj lahko dostopne vode v območju korenin. Namakanje se aktivira kadarkoli je primanjkljaj vode v območju korenin večji kot frakcija  $f_2$  lahko dostopne količine vode v tleh:  $\theta_w - \theta_{h3} \leq f_2(\theta_{FC} - \theta_{h3})$ , kjer je  $\theta_w$  dejanska zaloga vode v območju korenin,  $\theta_{fc}$  zaloga vode v območju korenin pri poljski kapaciteti ( $h = 100$  cm) ter  $\theta_{h3}$  zaloga vode pri  $h = h_3$ , ko se koreninski odvzem vode zmanjša zaradi sušnega stresa.  $\theta_w$  izračunan z numerično integracijo vsebnosti vode v koreninskem sloju.

#### 3.4.1.1 Vhodni podatki

Za simulacijo z modelom so nekatere datoteke obvezne, druge izbirne. Minimalna kombinacija za pogon programa sestoji iz 5 datotek (izpisano poudarjeno, preglednica 21). Model zahteva dnevne meteorološke podatke, hidravlične lastnosti tal, robne pogoje za opis interakcije globlje ležečih horizontov ter površinskih vodnih sistemov (Kroes in sod., 1999).

Preglednica 21: Seznam in opis vhodnih datotek v model SWAP (Kroes in sod., 1999).

Table 21: List and description of input files for SWAP model (Kroes et al., 1999).

Tip vhodne datoteke	Opis vsebine datoteke	Ime datoteke	Obvezen	Izbiren
Splošne informacije	Simulacija in izbira vhodnih in izhodnih datotek	<b>Swap.key</b>	+	
Meteorologija	Dnevni podatki	<b>Bilje.yyy</b>	+	
	Podatki o posameznih padavinskih dogodkih	Biljeir.yyy		+
Namakanje	Določeno namakanje	Bilje.irg		+
	Izračun namakanja	Namak.cap		+
Rastlina	Kolobar	Breskev.cal		+
	Detajlni model za rast trave	Trava.crp		+
	Detajlni model	Breskev.crp		+
	Preprost model	BreskevS.crp		+
Opis tal	Voda v tleh	<b>Bilje.swa</b>	+	
	Hidravlične lastnosti tal	<b>Bilje.sol</b>	+	
	Osuševalni sistem: osnoven	Bilje.drb		+
	Osuševalni sistem: razširjen	Bilje.dre		+
	Robni pogoji	<b>Bilje.bbc</b>	+	
Toplota	Tok toplote	Bilje.hea		+
Snovi	Prenos snovi in preobrazba	Bilje.slt		+



### 3.4.1.2 Izhodni podatki

Izhodni podatki modela SWAP so letošnja vodna bilanca tal ter detajlna vodna bilanca po posameznih členih, vsebnost vode in energijsko stanje vode v tleh in potek rasti rastline s časovnim korakom od 1 do 36 dni. Primer izhodne datoteke je v Prilogi A.

### 3.4.1.3 Kalibracija SWAP

Pri kalibraciji modela SWAP smo preverili občutljivost modela na parametre v posameznih sklopih. Najprej smo preverili primernost modela za izračun hidravličnih lastnosti tal v vhodni datoteki Bilje.sol. Preverili smo občutljivost na parameter globine korenin v vhodnih datotekah BreskevS.crp (globina in gostota korenin) ter Bilje.swa (maksimalno dovoljena globina korenin).

## 3.4.2 Opis modela GLEAMS

Za napoved toka vode preko cone korenin (*RZ*) model uporablja metodo rotacije zaloge vode. Za izračun odtoka je vgrajena *SCS* (Soil Conservation Service) *CN* (Curve Number) metoda za računanje površinskega odtoka. Lastnosti tal so opisane s koeficientom *CN*, ki zajema vplive pedologije, rabe tal in predhodne vlažnosti zemljine (Brilly in Šraj, 2000). *RZ* se razdeli v (največ) pet profilov oz. 'skladišč' za kroženje vode ter je odvisna od tal in rastline. Izraz za izračun kroženja vode je (Knisel, 1980):

$$0 = \chi \left( I + \frac{ST}{\Delta t} \right) \text{ ter } \left( I + \frac{ST}{\Delta t} \right) > \theta_{fc} \quad \dots (43)$$

kjer je  $\chi$  koeficient skladiščenja – zadrževanja,  $I$  infiltracija [ $\text{cm dan}^{-1}$ ],  $ST$  volumen zadrževanja ter  $\Delta t$  interval kroženja [dan]. Če vtok ter shranjena vsebnost vode ne presežeta  $\theta_{fc}$ , do pronicanja ne pride. Voda se premika iz zgornje cone tal v *RZ* kot funkcija pozitivnih razlik v nasičeno medpovršinsko cono in *RZ* kot

$$q_s = C_s S_s^3 \cdot (S_s - S_p) \cdot f D_s, \text{ ter velja } S_s > S_p, \quad \dots (44)$$

kjer  $q_s$  je dnevni premik vode v *RZ*,  $C_s$  je koeficient (navadno 0,1),  $S_s$  je vsebnost vode pri nasičenju [ $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ] v površinski coni,  $S_p$  je vsebnost vode pri nasičenju v celotni *RZ* [ $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ],  $f$  poroznost ter  $D_s$  globina površinske cone [cm]. Enačba je analogija Darcyjevem zakonu, kjer je  $C_s S_s^3$  približek med prevodnostjo in nasičenostjo. Do pronicanja iz *RZ* pride, kot se preseže  $\theta_{fc}$  in je ocenjen kot dnevni presežek  $\theta_{fc}$ . Odvzem s strani korenin, ki se vrši je v površinski coni, je proporcionalen relativni globini korenin *RD*, ki se spreminja z *LAI* do maksimalne globine (Knisel, 1980).

Efektivna globina koreninjenja ( $RD_{eff}$ ) določi zalogo dostopne vode v *RZ* in velja za celo simulacijsko obdobje. S povečanjem  $RD_{eff}$  povečamo v simulaciji z modelom potencialno zalogo vode v tleh in višjo *ET* brez namakanja. Ocena mora upoštevati potencialno perkolacijo (pod  $RD_{eff}$ ) kot tudi površinski odtok. Pri tleh z enakimi vodnoretzijskimi lastnostmi bo izračun s plitvo  $RD_{eff}$  dal večji površinski odtok in manjšo globinsko pronicanje. Pri večjih  $RD_{eff}$  bo rezultat manjši odtok in manj perkolacije, odvisno od

količine in porazdelitve padavin. Za najboljšo oceno pronicanja, je potrebno več simulacij z modelom za najboljši približek  $RD_{eff}$  (Knisel, 1980). Opis tal zahteva opis profila – teksturno sestavo posameznega horizonta, vsebnost vode pri poljski kapaciteti in točki venenja, poroznost. Za oceno vodne bilance sta občutljiva parametra vsebnost vode pri poljski kapaciteti in poroznost.

GLEAMS evapotranspiracijo izračuna s Priestley Taylorjevim modelom oz. z modificirano Penman – Monteith enačbo. Penman – Monteithova metoda za oceno potencialne evapotranspiracije zahteva podatek o hitrosti vetra [ $\text{km dan}^{-1}$ ], minimalni in maksimalni temperaturi zraka [ $^{\circ}$ ], temperaturi rosišča [ $^{\circ}$ ] in padavinah [cm] (Jensen in sod., 1990). Temperaturo rosišča izračunamo na podlagi podatkov o relativni vlagi in povprečni temperaturi zraka. S pomočjo Clausius-Clapeyronove enačbe izračunamo nasičeni parni tlak pri določeni temperaturi zraka (Hočevar in Petkovšek, 1984):

$$E(T) = e_0 \cdot \exp \frac{L_i}{R_v} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \quad \dots (45)$$

kjer je  $T$  temperatura zraka,  $E(T)$  nasičen parni tlak pri temperaturi  $T$ ,  $T_0$  273,2 K,  $e_0$  6,1 mb – nasičen parni tlak pri temperaturi 273,2 K,  $L_i$  izparilna toplota za vodo 2,5 MJ  $\text{kg}^{-1}$ , ter  $R_v$  specifična plinska konstanta za vodno paro – 461 J  $\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Po izračunu  $ET_p$  je dejanska evaporacija tal  $E_s$  in  $T$  izračunana posebej. Evaporacija tal je izračunana z modificiranim modelom, ki ga je predstavil Ritchie (1972). V prvi stopnji evaparacije je dejanska evaparacija enaka potencialni evaparaciji, kar se izračuna po enačbi:

$$E_a = ET_p \cdot e^{-0.4LAI} \quad \dots (46)$$

V drugi stopnji evaparacije, je dejanska evaparacija izračunana po enačbi:

$$E_a = \varepsilon \left[ t^{0.5} - (t - I)^{0.5} \right] \quad \dots (47)$$

kjer je  $t$  število dni od druge stopnje začetka evaparacije ter  $\varepsilon$  parameter evaparacije tal, odvisen od vodno transmisivnih karakteristik tal. Vrednosti so med 3,3 do 5,5  $\text{mm dan}^{-0.5}$ . Ritchie (1972) je zbral  $\varepsilon$  vrednosti za različna tla. Transpiracija poljščin je izračunana na osnovi  $LAI$  ter v primeru omejene količine vode prilagojena na vsebnost dostopne vode v območju korenin. Ko je vrednost  $LAI < 3$ , je  $T$  izračunana po enačbi:

$$T = ET_p - E_a \quad \dots (48)$$

sicer pa po enačbi

$$T = \frac{ET_p \cdot LAI}{3} \quad \dots (49)$$

Ko voda v tleh postane omejujoč dejavnik za rast rastlin, se  $T$  izračunana po zgornji enačbi zmanjša za vsebnost rastlinam dostopne vode v območju korenin ( $ST$ ). Za koliko se  $T$

zmanjša, je odvisno od  $ST$ . Ko je  $ST \leq 0.25\theta_{fc}$ , kjer je  $\theta$  vsebnost vode v območju korenin pri poljski kapaciteti, se  $ET$  izračuna

$$T = \frac{T \cdot ST}{0.25\theta_{fc}}, \quad \dots (50)$$

kjer se  $ST$  izračuna po

$$ST = (\theta - \theta_{wp}) \cdot RD, \quad \dots (51)$$

kjer je  $RD$  globina korenin.  $\theta_{fc}$  izračunamo po enačbi:

$$\theta_{pk} = (\theta_{.33} - \theta_{wp}) \cdot RD, \quad \dots (52)$$

kjer je  $\theta_{33}$  vsebnost vode pri pritisku 33 kPa.

Pri modelu lahko simuliramo že izvajano namakanje tako, da v vhodno datoteko z dnevnimi padavinami dodamo količino vode, dodane z namakanjem. Če želimo simulirati potrebe po namakanju, potem moramo opredeliti efektivno globino korenin in kateri je največji dovoljeni primanjkljaj dostopne vode v tleh, ki je razlika med poljsko kapaciteto in točko venenja. Primanjkljaj je torej določen kot frakcija rastlinam dostopne vode.

#### 3.4.2.1 Vhodni podatki

Povzetek vseh vhodnih datotek je v tabeli. Nekatero datoteke so obvezne, druge izbirne. Minimalna kombinacija za pogon programa sestoji iz 3 datotek (izpisano poudarjeno, preglednica 22). Model zahteva mesečne meteorološke podatke, dnevne vrednosti padavin in temperature zraka za simulacijo snega, opis profila tal, opis topografije.

Preglednica 22: Opis in seznam vhodnih datotek za model GLEAMS (Knisel in sod., 1993).

Table 22: List and description of input files for GLEAMS model (Knisel et al., 1993).

Tip parametrov	Opis vsebine datoteke (kateri parametri)	Ime datoteke	Obvezen	Izbiren
Hidrološki parametri	Začetek in konec simulacije, mesečni meteorološki podatki, opis talnega profila, rastline, izbira izhodnih podatkov	<b>Bilje.par</b>	+	
Erozijski parametri	Opis topografije	<b>BiljeE.par</b>	+	
Parametri hranil	Čas, način, količina aplikacije dušika in/ali fosforja	BiljeN.par		+
Parametri pesticidov	Čas, način, količina aplikacije	BiljeP.par		+
Pomožne datoteke za izračun snega	Dnevni podatki za padavine	<b>Pad.dat</b>	+	
Meteorologija	Dnevni podatki temperature zraka	Tmp.dat		+

#### 3.4.2.2 Izhodni podatki

Izhodni podatki modela GLEAMS so lahko dnevne, mesečne ali letne vrednosti, parametrov vodne bilance – potencialne in dejanske  $ET$ ;  $E$  ter  $T$ , površinskega odtoka, pronicanja, erozije (kg spranih tal), količina spranih hranil oz. pesticidov. Primer izhodne datoteke je v Prilogi B.

#### 3.4.2.3 Kalibracija modela GLEAMS

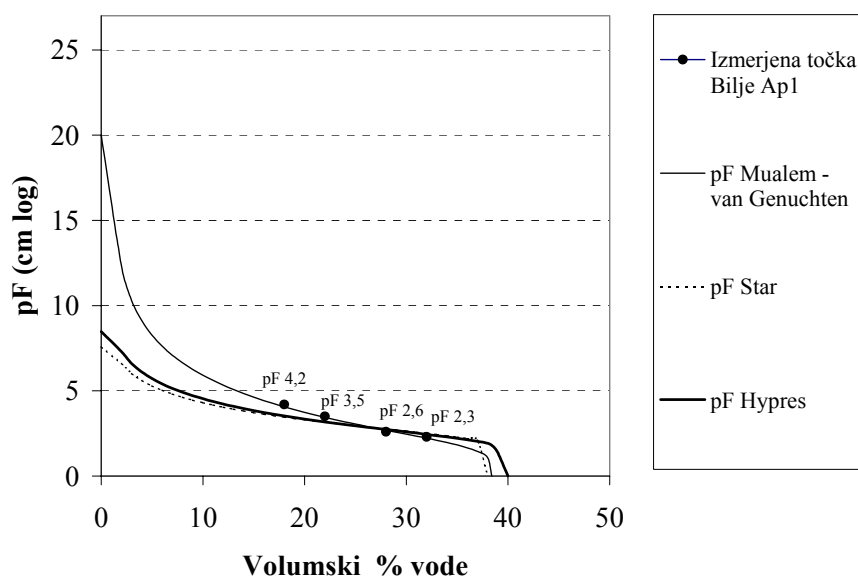
Model GLEAMS je že bil kalibriran in preverjen za spiranje nitratov na slovenska tla (Turk, 1995; Gale, 1999). Zato smo pri kalibraciji modela GLEAMS preverili občutljivost modela na parametre, ki opisujejo rast rastlin v vhodni datoteki za hidrološke parametre (Bilje.par). Preverili smo možnost uporabe modela za simulacijo rasti breskev (možnost simulacije rasti na gozdni površini) s spreminjanjem vrednosti  $LAI$ , na globino korenin in efektivno globino korenin.

## 4 REZULTATI

### 4.1 IZBIRA MODELA ZA IZRAČUN HIDRAVLIČNIH LASTNOSTI TAL

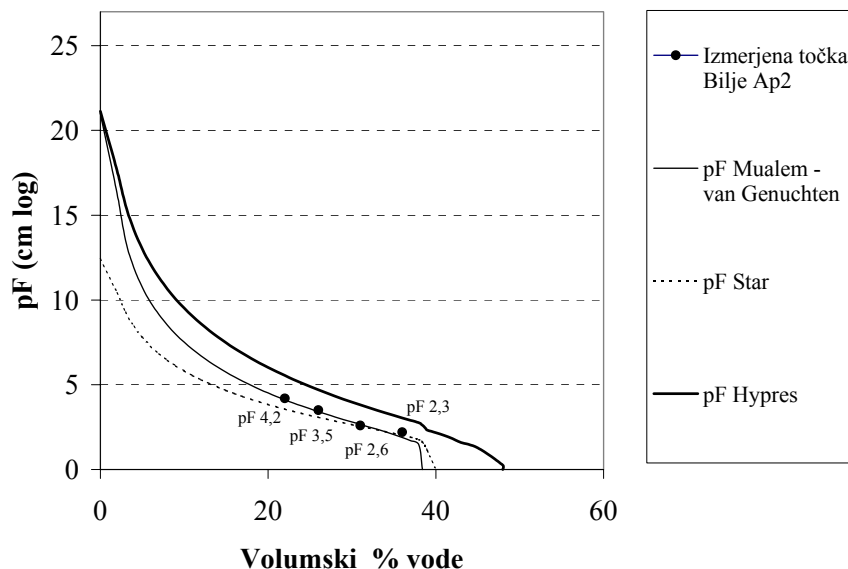
Za izračun hidravličnih lastnosti tal smo pri modelu SWAP izbirali med tabeliranimi Star in Hypres vrstami (Woesten in sod., 1999) ter analitičnimi pedotransfer funkcijami (Mualem in Van Genuchten, 1991).

Rezultati simulacije za meljasto glinasta tla so pokazali, da je za opis hidravličnih lastnosti tal najbolj primerna uporaba analitičnih pedotransfer funkcij. Izračune hidravličnih lastnosti tal, narejene z modeli, ki so vgrajeni v model SWAP, smo preverili za cel talni profil v poskusnem polju Bilje, ki je opisan v preglednici 18. Izračun smo primerjali z izmerjenimi vsebnostmi vode pri pF 2,3, pF 2,6, pF 3,5 ter pF 4,2 (Štampar in sod., 1995). Primerjava izmerjenih točk ter izračunanih funkcij  $h - \theta$  je pokazala ustreznost analitične pedotransfer funkcije po Mualem – Van Genuchtenu (Slike 9 – 12).



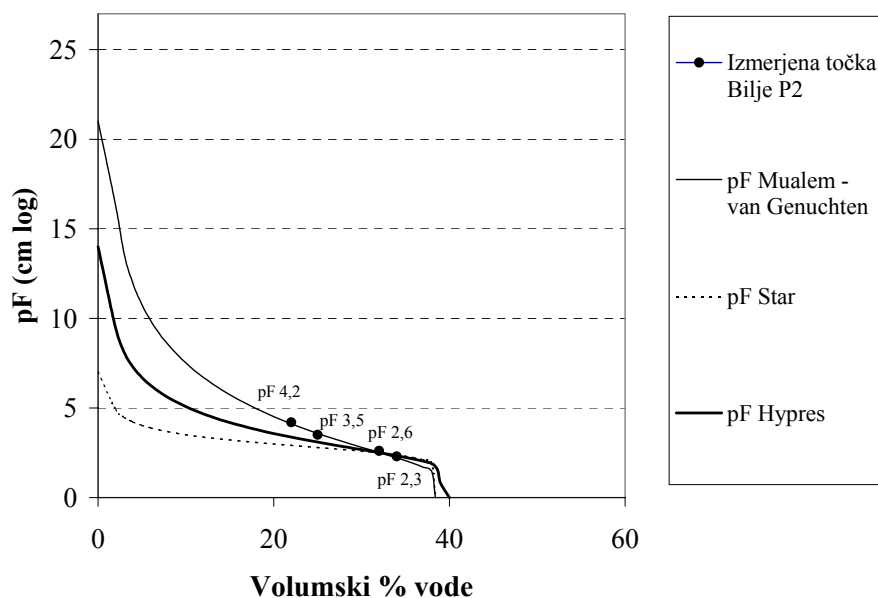
Slika 11: Rezultati primerjave simuliranih krivulj  $h - \theta$  s funkcijami Mualem – Van Genuchten, Star in Hypres ter merjenih pF vrednosti za horizont Ap1 v poskusnem nasadu Bilje.

Figure 11: Result comparison for simulated  $h - \theta$  curves obtained with Mualem – Van Genuchten functions, Star and Hypres series with measured pF values for Ap1 layer in experimental site Bilje.



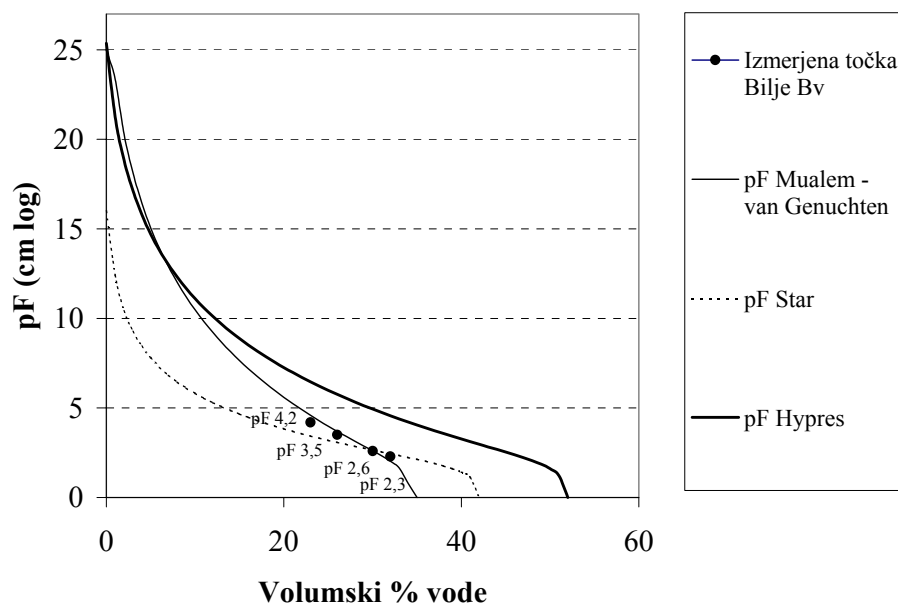
Slika 12: Rezultati primerjave simuliranih krivulj  $h - \theta$  s funkcijami Mualem – Van Genuchten, Star in Hypres ter merjenih pF vrednosti za horizont Ap2 v poskusnem nasadu Bilje.

Figure 12: Result comparison for simulated  $h - \theta$  curves obtained with Mualem – Van Genuchten functions, Star and Hypres series with measured pF values for Ap2 layer in experimental site Bilje.



Slika 13: Rezultati primerjave simuliranih krivulj  $h - \theta$  s funkcijami Mualem – Van Genuchten, Star in Hypres ter merjenih pF vrednosti za horizont P2 v poskusnem nasadu Bilje.

Figure 13: Result comparison for simulated  $h - \theta$  curves obtained with Mualem – Van Genuchten functions, Star and Hypres series with measured pF values for P2 layer in experimental site Bilje.



Slika 14: Primerjava simuliranih krivulj  $h - \theta$  s funkcijami Mualem – Van Genuchten, Star in Hypres ter merjenih pF vrednosti za horizont Bv v poskusnem nasadu Bilje.

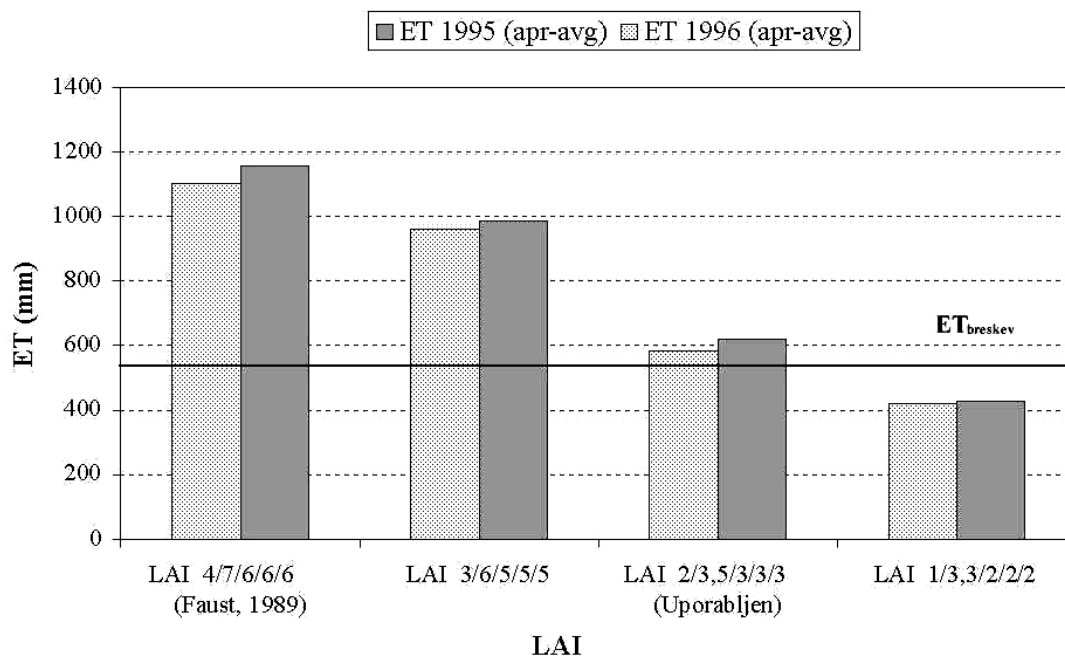
Figure 14: Comparison for simulated  $h - \theta$  curves obtained with Mualem – Van Genuchten functions, Star and Hypres series with measured pF values for Bv layer in experimental site Bilje.

## 4.2 KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA

Umerjanje in preveritev modelov GLEAMS in SWAP smo naredili za vsebnost vode v tleh. Modela smo kalibrirali z meritvami vsebnosti vode v tleh za nasad jablan v Ljubljani, Kmetijski inštitut Slovenije, za leti 1995 in 1996, za preveritev ali validacijo pa smo uporabili niz meritev vsebnosti vode v tleh v nasadu breskev za leto 2002 v Biljah.

### 4.2.1 Kalibracija

Pri kalibraciji modela GLEAMS smo preverili uporabe modela za simulacijo rasti breskev (možnost simulacije rasti na gozdni površini) s spreminjanjem vrednosti  $LAI$ , na globino korenin in efektivno globino korenin. Ob uporabi v literaturi navedenih vrednosti  $LAI$  (Faust, 1989) je bila dobljena  $ET$  breskev izrazito višja (+600 mm) kot pa so izračunane vrednosti  $ET_{breskev}$  z v literaturi najdene vrednosti letne  $k_c$  breskev (Faust, 1989; Girona in sod., 2002). Vhodno vrednost  $LAI$  smo zato prilagodili in pri simulaciji uporabili za polovico zmanjšano vrednost  $LAI$  2/3,5/3/3/3 ( $ET_{avg}$  650 mm) (slika 14).



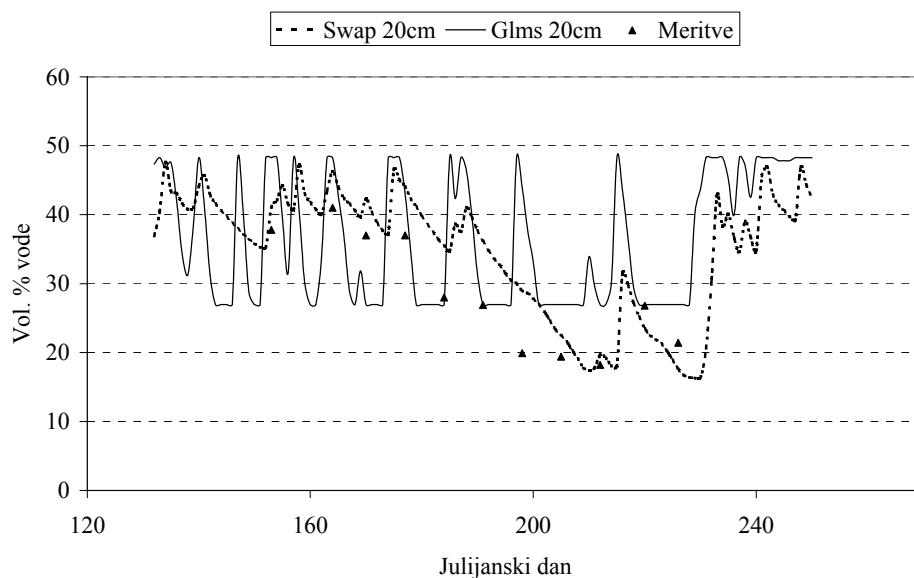
Slika 15: Primerjava izračuna  $ET$  (mm) z modelom GLEAMS v odvisnosti od  $LAI$  za leti 1995 in 1996 za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana.

Figure 15: Comparison of  $ET$  (mm) results calculated with GLEAMS model with respect to  $LAI$  for year 1995 and 1996 for silty loam soil on experimental site of apple orchard of Agricultural institute of Slovenia, Ljubljana.

Pri kalibraciji SWAP smo spreminjali parametre vhodne datoteke za opis talnega profila, da bi določili občutljivost na posamezne spremenljivke. Spreminjali smo globino profila, število razdelkov znotraj horizonta v talnem profilu ter maksimalno dovoljeno globino korenin. Število razdelkov znotraj horizonta je imelo vpliv na čas računanja, ne pa tudi na rezultat kalibracije izračunanih in merjenih vsebnosti vode v tleh ( $\Delta \pm 0,02$  vol. % vode).

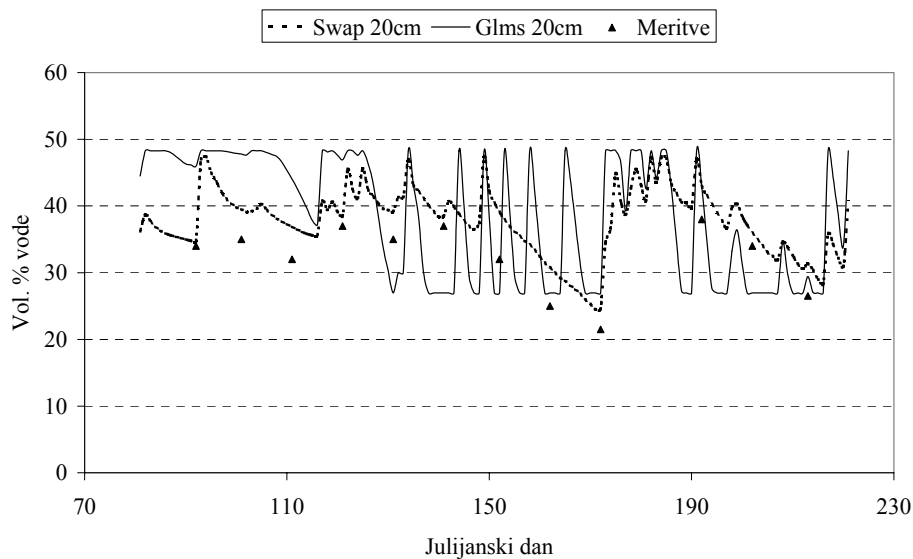
Na slikah so prikazani rezultati vsebnosti vode v tleh. Za model GLEAMS je značilna nihajoča slika poteka vsebnosti vode v talnem profilu (Sliki 16 in 17), kar je posledica enodnevnega cikla za izračun vodne bilance tal znotraj modela (En. 41).





Slika 16: Rezultati vsebnosti vode na 20 cm globine kalibriranih modelov GLEAMS in SWAP ter primerjava z meritvami vode v tleh na 20 cm globine za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana, KIS, 1995.

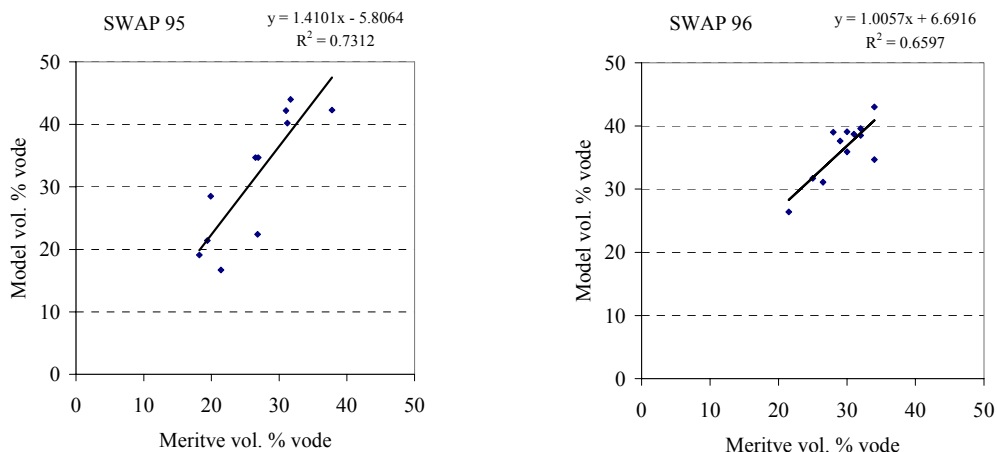
Figure 16: Soil moisture content on 20 cm depth as computed with calibrated SWAP and GLEAMS model and comparison with soil moisture measurements at 20 cm depth for silty loam soil on experimental site of apple orchard of Agricultural institute of Slovenia, Ljubljana, 1995.



Slika 17: Rezultati vsebnosti vode na 20 cm globine kalibriranih modelov GLEAMS in SWAP ter primerjava z meritvami vode v tleh na 20 cm globine za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana, 1996.

Figure 17: Soil moisture content on 20 cm depth as computed with calibrated SWAP and GLEAMS model and comparison with soil moisture measurements at 20 cm depth for silty loam soil on experimental site of apple orchard of Agricultural institute of Slovenia, Ljubljana, 1996.

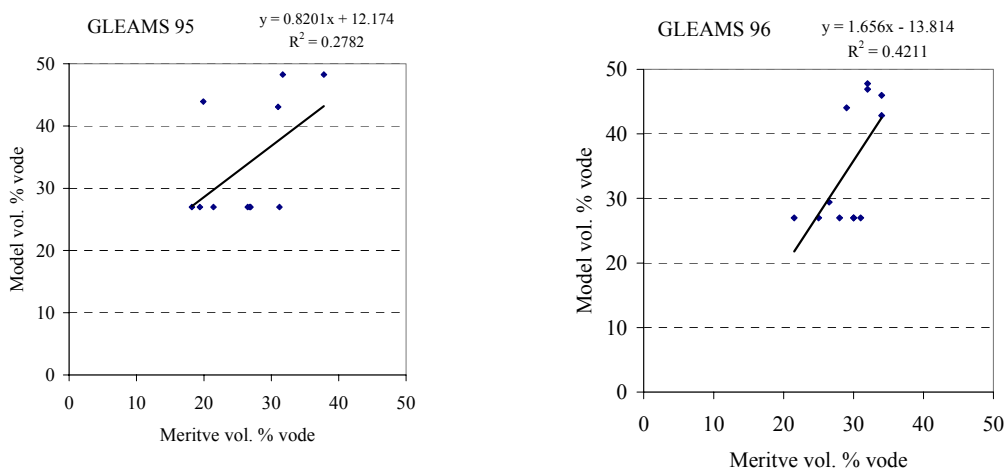
Linearna korelacija gravimetričnih meritev in rezultatov modela SWAP (Slika 18) za vsebnost vode v meljasto ilovnatih tleh v nasadu jablan je dala dobre rezultate za kalibrirni leti 1995 ( $r^2$  0,73) ter 1996 ( $r^2$  0,66).



Slika 18: Primerjava rezultatov umerjenega modela SWAP in meritev vsebnosti vode v tleh za leti 1995 in 1996 za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana.

Figure 18: Results of calibrated SWAP model and soil water measurement comparison for years 1995 and 1996 for silty loam soil on experimental site of apple orchard of Agricultural institute of Slovenia, Ljubljana.

Linearna korelacija meritev in simuliranih vrednosti pri modelu GLEAMS pokaže zelo slabe rezultate za kalibrirni leti 1995 in 1996 ( $r^2$  0,28 in 0,42) (Slika 19). Rezultat lahko razložimo s tem, da je model namenjen oceni relativnih in ne absolutnih razlik.



Slika 19: Primerjava rezultatov umerjenega modela GLEAMS in meritev vsebnosti vode za leti 1995 in 1996 za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana.

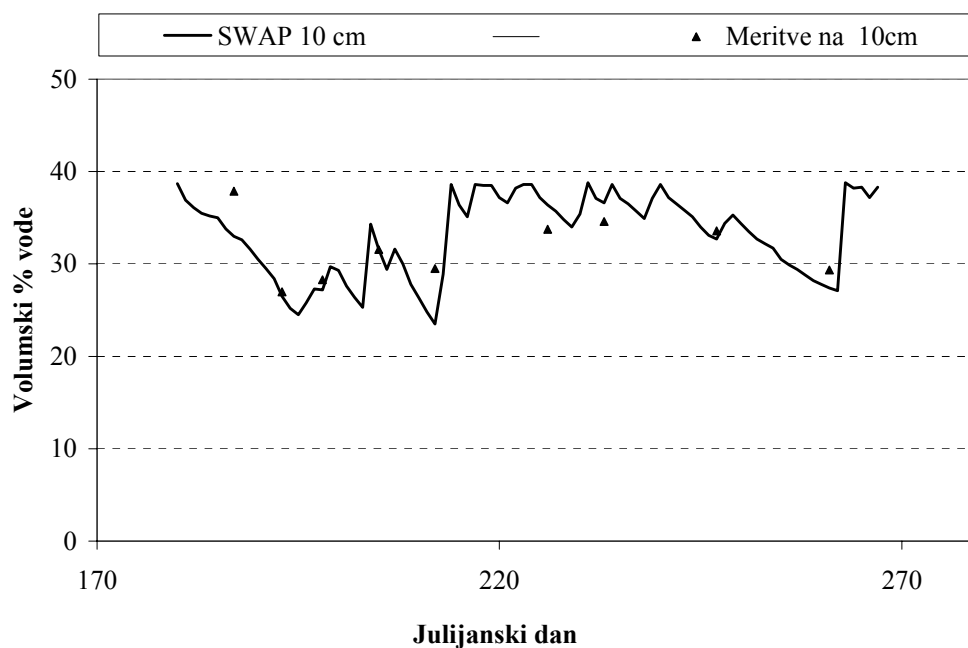
Figure 19: Results of calibrated GLEAMS model and soil water measurement comparison for years 1995 and 1996 for silty loam soil on experimental site of apple orchard of Agricultural institute of Slovenia, Ljubljana.

#### 4.2.2 Validacija

Pri validaciji modelov smo uporabili meritve vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® v poskusnem nasadu breskev in nektarin v Biljah v poletnem obdobju (4.7. 2002 – 18.9.2002 oz. 185 – 261 JD). Meritve so potekale v profilu na razmaku 10 cm do globine 60 cm.

Vsebnost vode v opazovanem obdobju je model SWAP prikazal zadovoljivo v vseh merjenih plasteh profila znotraj nasada breskev. V globljih plasteh profila (20, 30, 40, 50 in 60 cm) je prišlo do manjšega odstopanja – prenapovedi vrednosti vsebnosti vode v tleh v suhem obdobju (prva polovica opazovanega obdobja) ter do pod napovedi vrednosti vode v tleh v mokrem obdobju (druga polovica opazovanega obdobja).

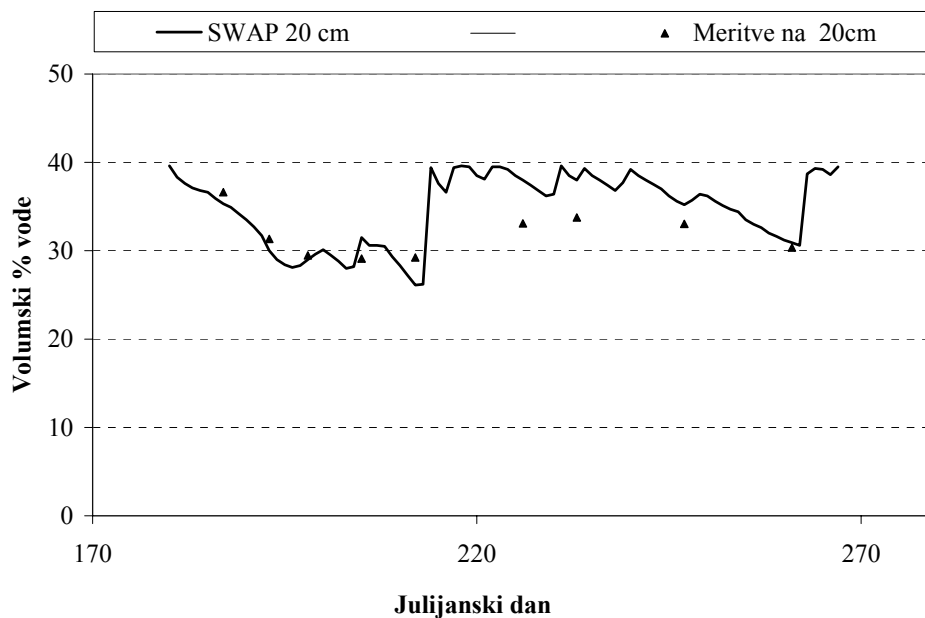
Odstopanja posameznih meritev od napovedi so bila v razponu  $\pm 3$  volumskih % vlage (Slika 20 – 25).



Slika 20: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 10 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002.

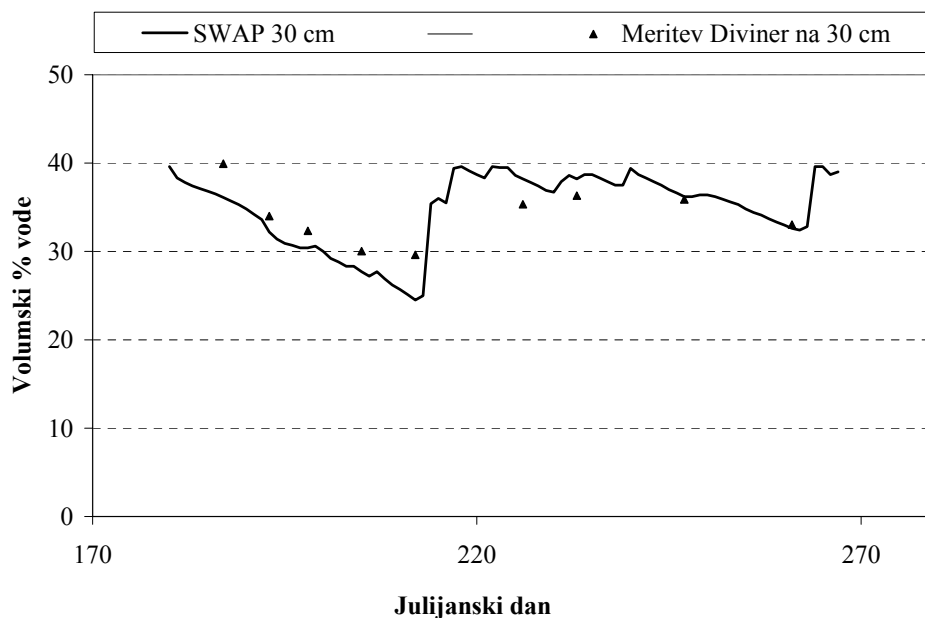
Figure 20: Results of SWAP model and soil water measurements comparison for 10 cm depth for Bilje years in observed period 19.6.2002 – 17.10.2002.

Zaradi slabih rezultatov modela GLEAMS pri kalibraciji smo validacijo na dnevne meritve vsebnosti vode naredili samo za model SWAP.



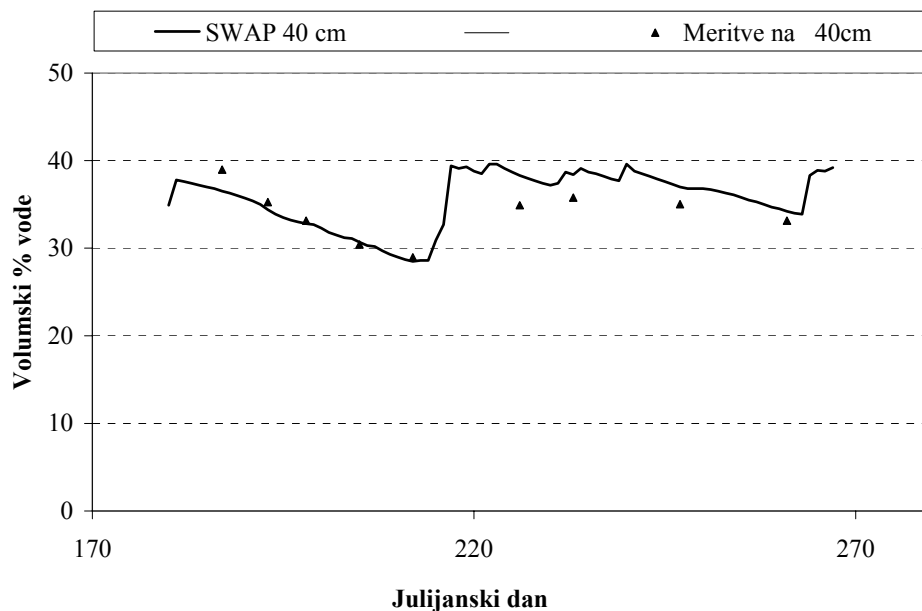
Slika 21: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 20 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002.

Figure 21: Results of SWAP model and soil water measurements comparison for 20 cm depth for Bilje years in observed period 19.6.2002 – 17.10.2002.



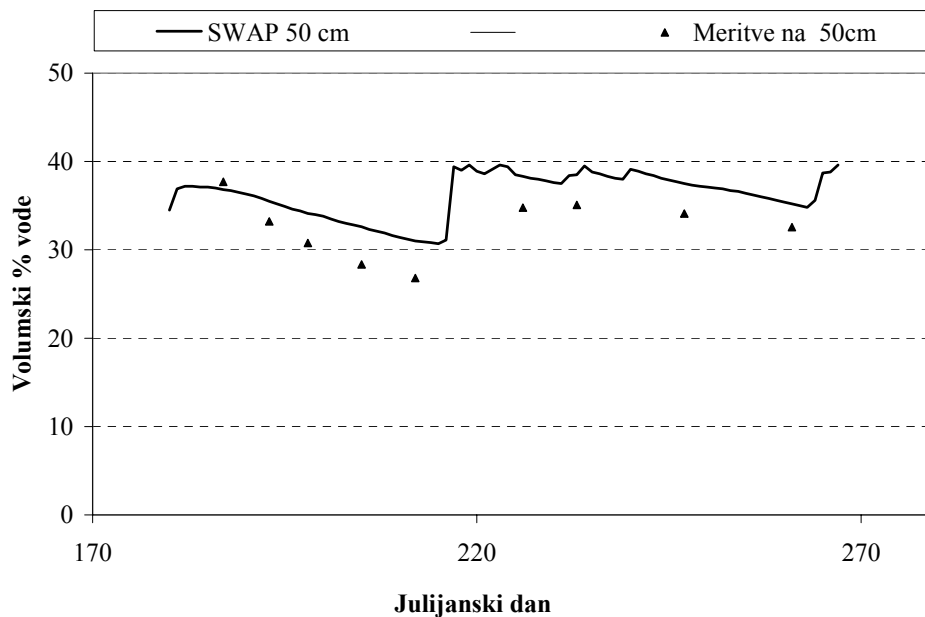
Slika 22: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 30 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002.

Figure 22: Results of SWAP model and soil water measurements comparison for 30 cm depth for Bilje years in observed period 19.6.2002 – 17.10.2002.



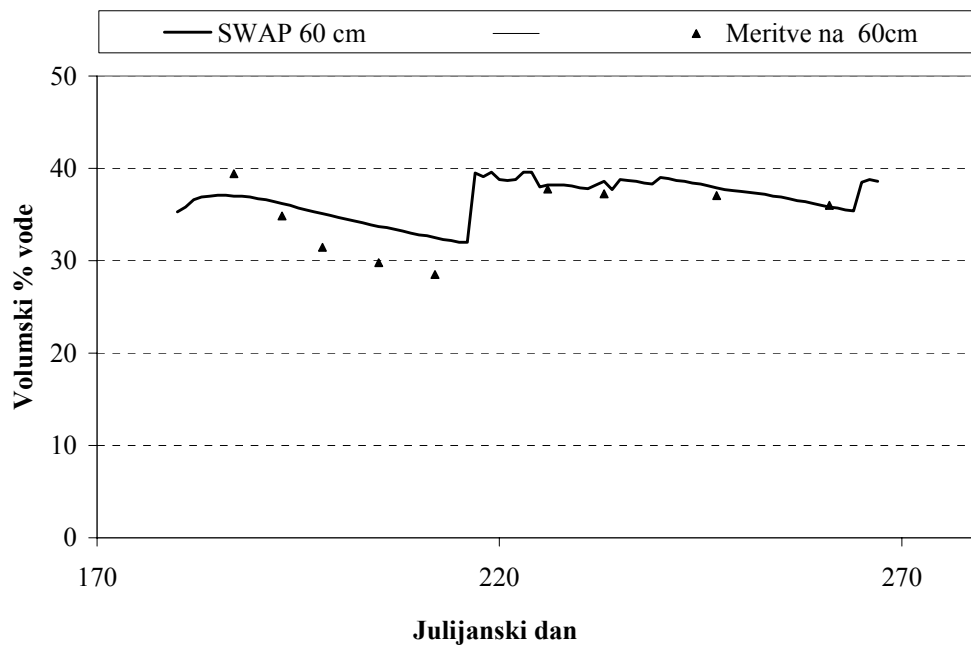
Slika 23: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 40 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002.

Figure 23: Results of SWAP model and soil water measurements comparison for 40 cm depth for Bilje years in observed period 19.6.2002 – 17.10.2002.



Slika 24: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 50 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002.

Figure 24: Results of SWAP model and soil water measurements comparison for 50 cm depth for Bilje years in observed period 19.6.2002 – 17.10.2002.



Slika 25: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 60 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002.

Figure 25: Results of SWAP model and soil water measurements comparison for 60 cm depth for Bilje years in observed period 19.6.2002 – 17.10.2002.

### 4.3 ČLENI VODNE BILANCE V OBDOBJU 1961 – 1990

Legenda za interpretacijo oznak pedoloških profilov (PP) in pedokartografskih enot (PKE) je v prilogi C, grafični prikaz globine po posameznih PP/PKE, uporabljenih v izračunu oz. po teksturnih razredih uporabljenih talnih profilov, je v prilogi E.

Na slikah, kjer smo za prikaz podatkov v opazovanem obdobju 1961 – 1990 uporabili okvir z ročaji (npr. primanjkljaj, *ET*, itd.) v odvisnosti od globine tal [cm], x os ni v skali, temveč so navedene oznake globin uporabljeni talnih profilov.

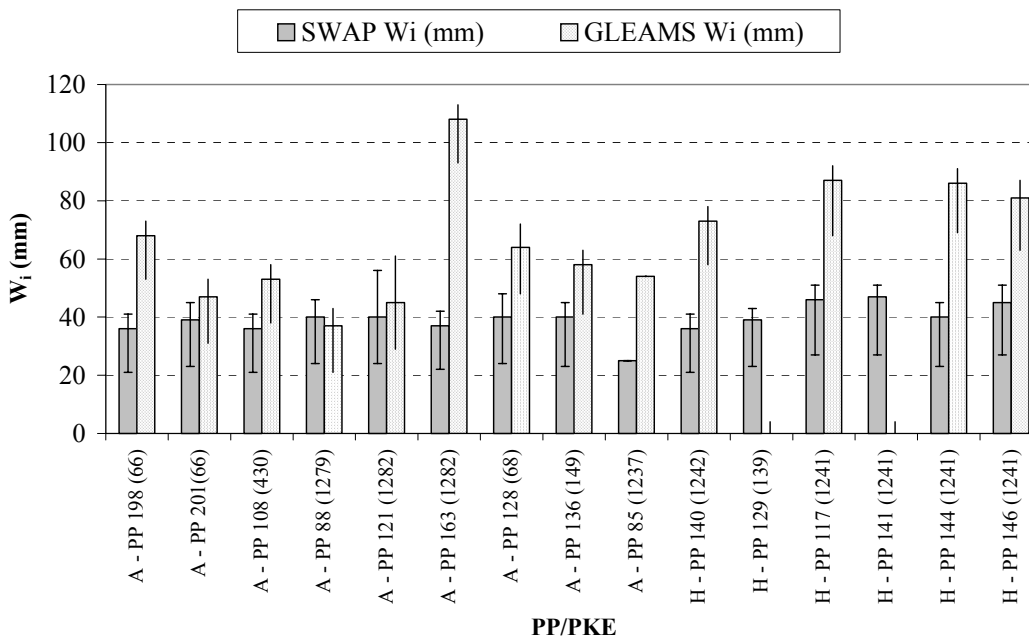
#### 4.3.1 Primanjkljaj vode v tleh glede na padavine

Primanjkljaj vode v tleh je bil definiran kot tista količina vode, ki smo jo dodali do poljske kapacitete, kadarkoli je količina vode v tleh padla pod 50% poljske kapacitete v vegetacijskem obdobju.

Zaradi obsežnosti rezultatov smo izračune letnega primanjkljaja v mm za izbrane profile oddelka avtomorfnih in hidromorfnih tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 prikazali v prilogah F in G (model SWAP) in prilogah H in I (model GLEAMS).

Model SWAP izračuna nižje količine dodane vode  $W_i$  v talni profil v posameznem namakalnem dogodku kot model GLEAMS (slika 25). Pri modelu SWAP se vrednosti  $W_i$  med avtomorfnimi in hidromorfnimi tlemi ne razlikujejo zelo (36 mm – 40 mm). Nižja  $W_i$  (mm) je v primeru distričnih rjavih tal PP 85/ PKE 1237 (25 mm, slika 25), nekoliko višja pa pri hidromorfnih obrečnih rjavih tleh 45 – 47 mm (PP117, 141 in 146/ PKE 1241, slika 26).

Pri modelu GLEAMS je  $W_i$  (mm) višja pri vseh opazovanih profilih, izrazito višja pri avtomorfnih v primeru PP 163/ PKE 1282 (108 mm) ter PP 198/ PKE 66 (67 mm).



Slika 26: Količina dodane vode  $W_i$  (mm) v posameznem namakalnem dogodku za model SWAP in GLEAMS v obdobju 1961–1990.

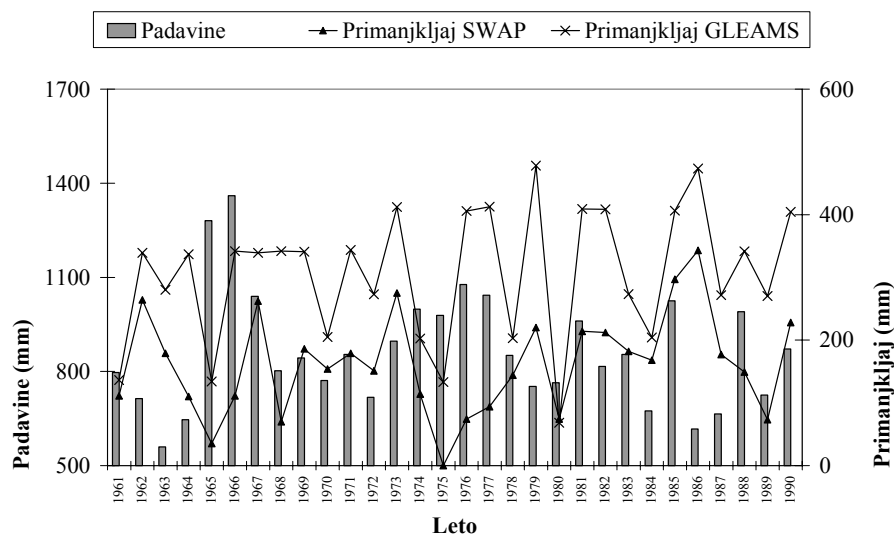
Figure 26: Applied water ration  $W_i$  (mm) for irrigation event calculated with model SWAP and model GLEAMS for period 1961–1990.

Primerjali smo skupni primanjkljaj v vegetacijskem obdobju na posameznih pedoloških profilih s padavinami v vegetacijskem obdobju v letih 1961 – 1990. Padavine v vegetacijskem obdobju imajo v letih 1961 – 1990 dva vrhova in to prvega v letih 1965 – 1968 ter malo manjšega v letih 1974 – 1978. V zadnji dekadi obravnavanega osnovnega niza podatkov izstopa sušno obdobje v letih 1986 ter 1988 (Slike 27 – 41).

V obravnavanem obdobju 1961 – 1990 so rezultati izračuna primanjkljaja vode v tleh z modeloma SWAP in GLEAMS pokazali, da bil primanjkljaj na hidromorfni tleh v povprečju nižji kot na avtomorfni tleh (Slike 27 – 41).

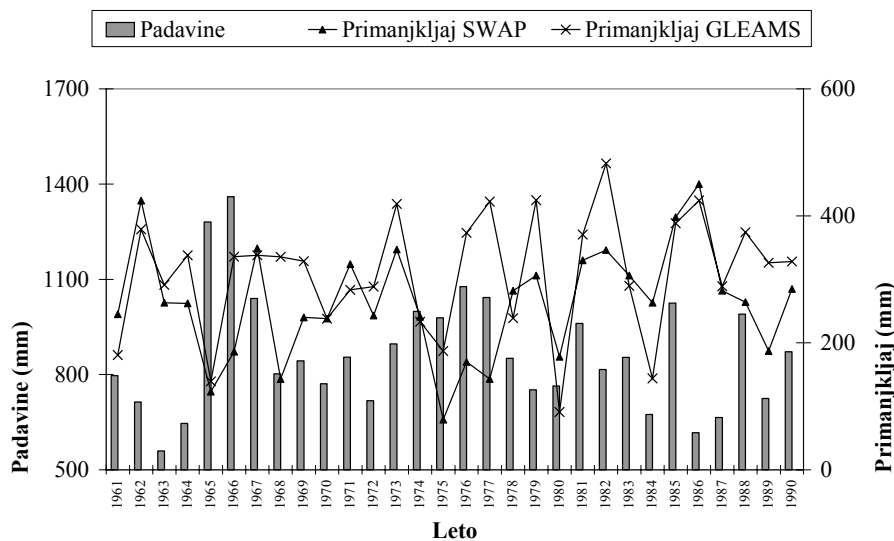
Model SWAP oceni nižji primanjkljaj pri PP 198/ PKE 66 v primerjavi z modelom GLEAMS, v letu 1975 pa primanjkljaja ne izračuna (Slika 27). Pri PP 201/ PKE 66 pa je izračun primanjkljaja skladen (Slika 28). Povprečni primanjkljaj za evtrična rjava tla na ledenodobnem produ in pesku v obdobju 1961 – 1990 je 162 mm (0 – 343 mm) za PP 198/ PKE 66 oz. 263 mm (79 mm – 450 mm) za PP 201/ PKE 66 (Prilogi F in H).





Slika 27: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 198 znotraj pedokartografske enote 66 (evtrična rjava tla na ledenodobnem karbonatnem produ in peskih, na nasutinah rek in rečnem vršaju, tip 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

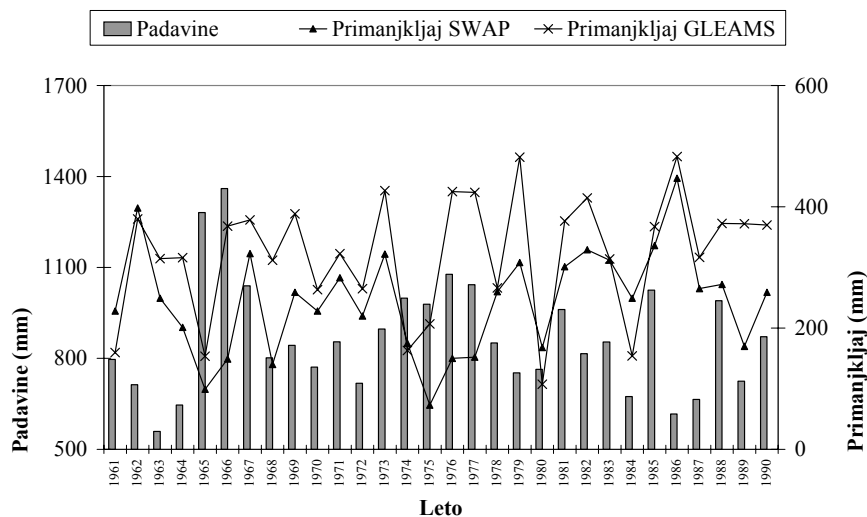
Figure 27: Water shortage (mm) for soil profile 198 (eutric cambisol on glacial sand and gravel 66) and precipitation for period 1961 – 1990.



Slika 28: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 201 znotraj pedokartografske enote 66 (evtrična rjava tla na ledenodobnem karbonatnem produ in peskih, na nasutinah rek in rečnem vršaju, tip 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

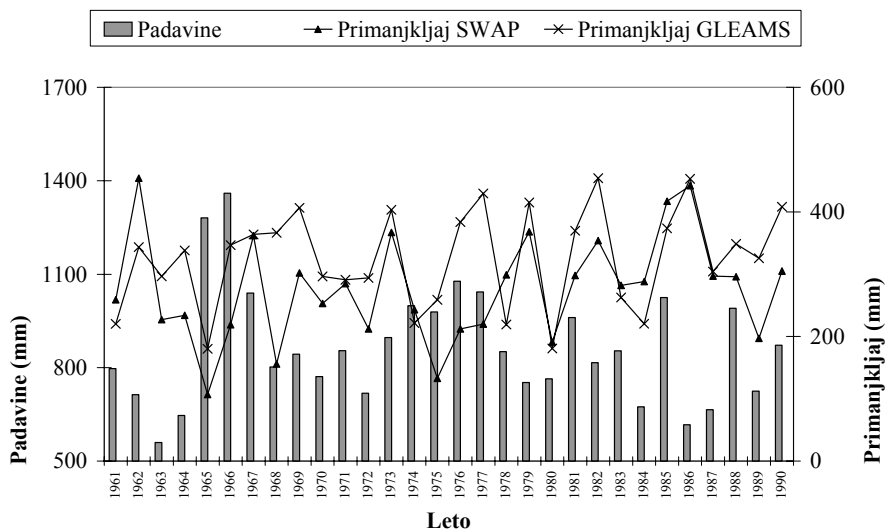
Figure 28: Water shortage (mm) for soil profile 201 (eutric cambisol on glacial sand and gravel 66) and precipitation for period 1961 – 1990.

Povprečni primanjkljaj v obdobju 1961 – 1990 za evtrična rjava tla na flišu, antropogena, je bil 244 mm (73 mm – 447 mm) za PP 108/ PKE 430 ter 276 mm (107 mm – 454 mm) za PP 88/ PKE 1279 (Prilogi F in H). Rezultati izračuna z modelom SWAP so v primerjavi z rezultati modela GLEAMS nekoliko nižji, kažejo podoben odziv na padavine v vegetacijskem obdobju (Sliki 29 in 30).



Slika 29: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 108 znotraj pedokartografske enote 430 (rigolana tla, vitisol) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 29: Water shortage (mm) for soil profile 108 (vitisol 430) and precipitation for period 1961 – 1990.

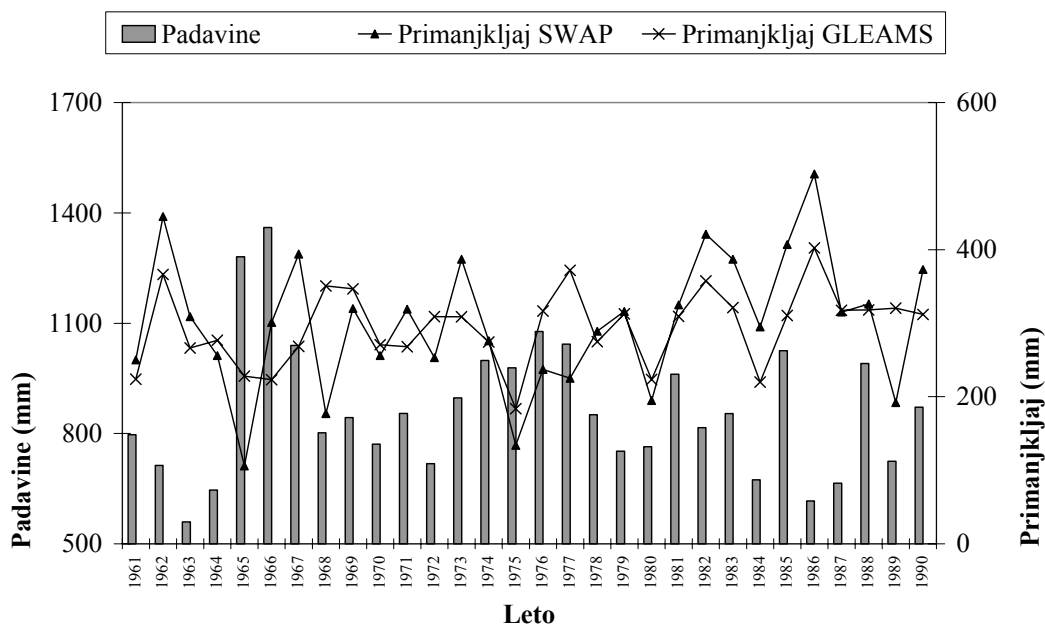


Slika 30: Primanjkljaj vode (mm) za talni profil 88 znotraj pedokartografske enote 1279 (evtrična rjava tla na eocenskem flišu, tip 60%, evtrična rjava na eocenskem flišu, antropogena 40%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 30: Water shortage (mm) for soil profile 88 (Eutric Cambisol on flysh 1297) and precipitation for period 1961 – 1990.

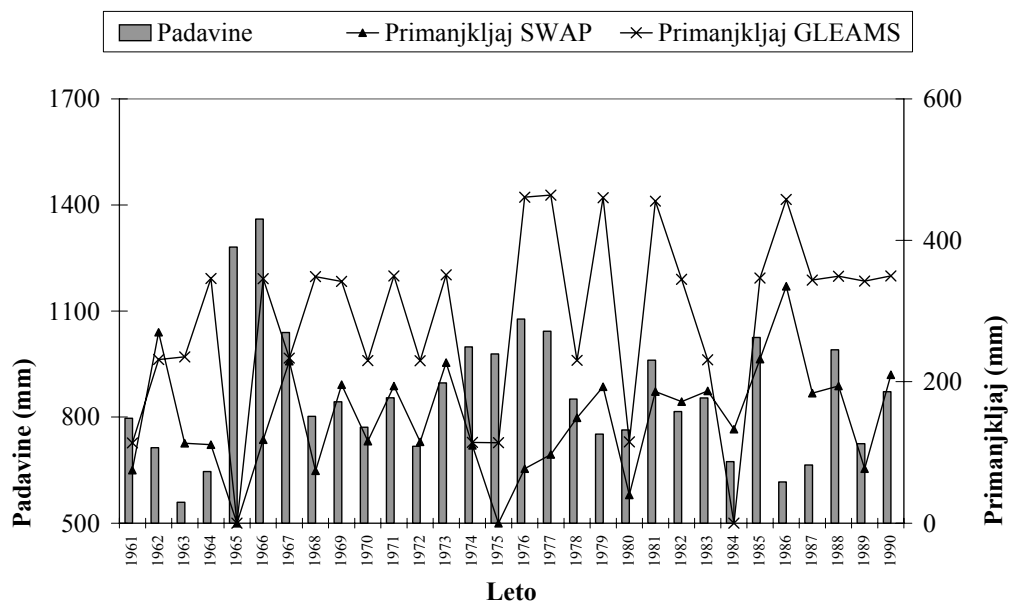
Primanjkljaj vode za evtrična rjava tla na eocenskem flišu v obdobju 1961 – 1990 je bil 300 mm (106 mm – 503 mm) izračunan z modelom SWAP oz. 295 mm (184 mm – 402 mm) izračunan z modelom GLEAMS za PP 121/ PKE 1282 oz. 147 mm (0 – 335 mm) izračunan z modelom SWAP oz. 284 mm (0 – 464 mm) izračunan z modelom GLEAMS za PP 163/ PKE 1282 (Sliki 31 in 32, prilogi F in H).

Izračun primanjkljaja modelov je bil pri PP 121/ PKE 1282 skladen. Pri PP 163/ PKE 1282 pa so bili rezultati izračuna z modelom GLEAMS izrazito višji, medtem ko model SWAP dveh letih primanjkljaja ne napove (1965 in 1975). Model GLEAMS primanjkljaja ne napove za leto 1984 (Sliki 31 in 32).



Slika 31: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 121 (znotraj pedokartografske enote 1282 (evtrična rjava tla na eocenskem flišu, psevdoglejena 70%, evtrična rjava tla na eocenskem flišu, koluvalna 30%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

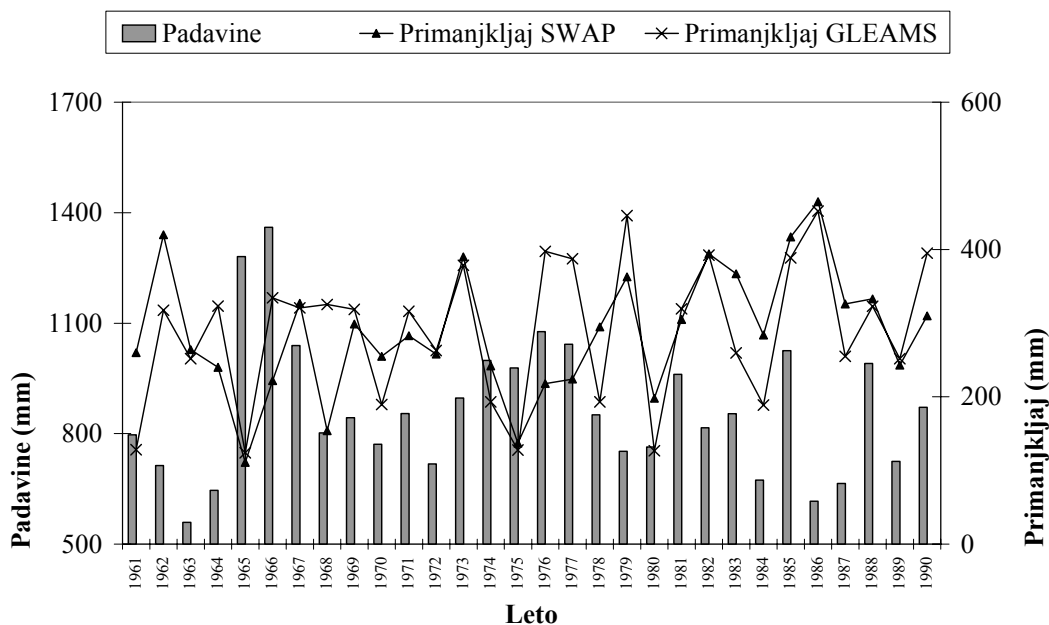
Figure 31: Water shortage (mm) for soil profile 121 (eutric cambisols on eocen flysh 1282) and precipitation for period 1961 – 1990



Slika 32: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 163 znotraj pedokartografske enote 1282 (evtrična rjava tla na eocenskem flišu, psevdoglejena 70%, evtrična rjava tla na eocenskem flišu, koluvialna 30%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 32: Water shortage (mm) for soil profile 163 (eutric cambisols on eocen flysh 1282) and precipitation for observed period 1961 – 1990.

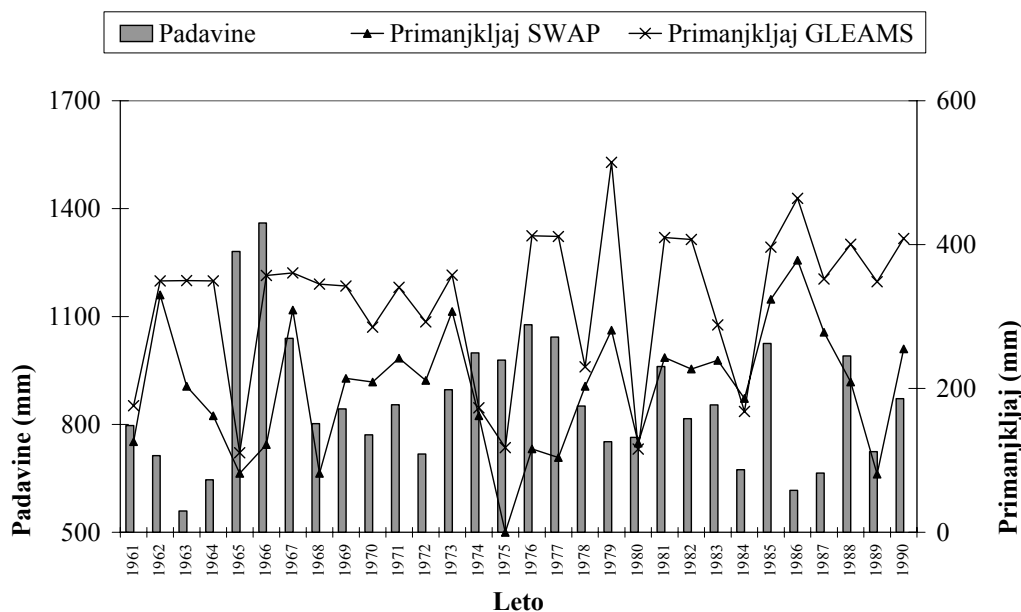
Povprečen primanjkljaj na evtričnih rjavih tleh na aluviju z apnenim gruščem PP 128/ PKE 68 je bil v letih 1961 – 1990 287 mm (111 mm – 465 mm), izračunan z modelom SWAP, oz. 290 mm (124 mm – 452 mm), izračunan z modelom GLEAMS (Slika 33, prilogi F in H).



Slika 33: Primanjkljaj vode (mm) za talni profil 128 znotraj pedološke kartografske enote 68 (evtrična rjava tla na ledenodobnem prdu in peskih, na nasutinah rek in rečnem vršaju, srednje globoka 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 33: Water shortage (mm) for soil profile 128 (eutric cambisols on glacial sand and gravel 68) for observed period 1961 – 1990.

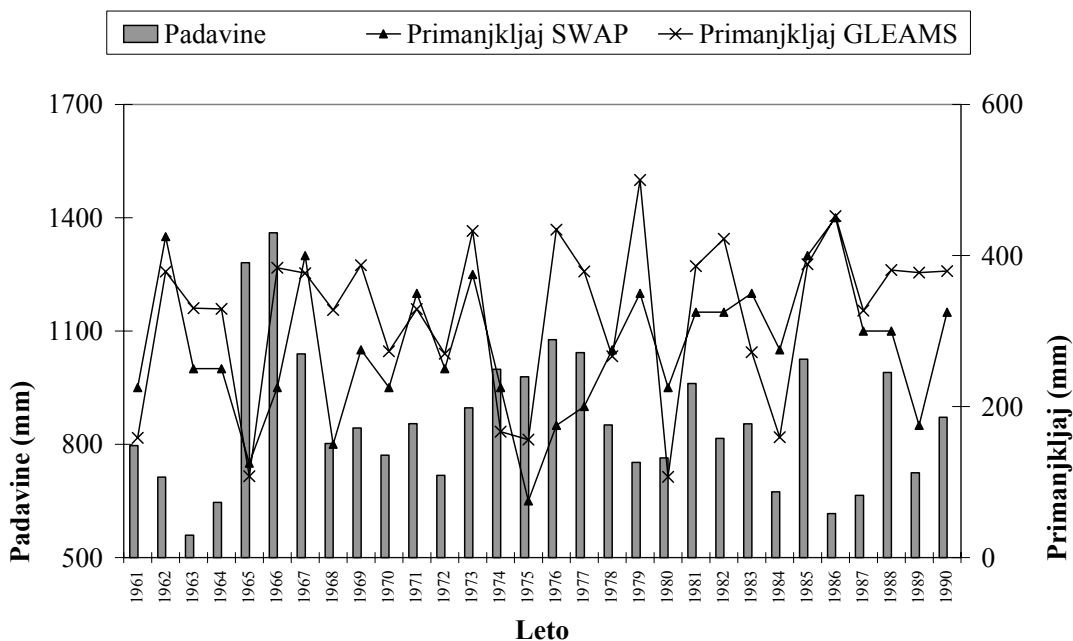
Povprečen primanjkljaj za evtrična rjava tla na flišu z apnenim gruščem PP 136/ PKE 149 v letih 1961 – 1990 je bil izračunan z modelom SWAP 200 mm (0 – 378 mm), in 321 mm (111 mm – 514 mm), izračunan z modelom GLEAMS (Slika 33, prilogi F in H). Rezultati izračuna primanjkljaja so pri modelu GLEAMS višji od rezultatov modela SWAP (Slika 34), kateri v letu 1975 primanjkljaja ne izračuna.



Slika 34: Primanjkljaj vode (mm) za talni profil 136 znotraj pedokartografske enote 149 (evtrična rjava na flišu in laporju s primesjo apnenih breč, tip 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 34: Water shortage (mm) for soil profile 136 (eutric cambisols on flysh and marl 149) and precipitation for observed period 1961 – 1990.

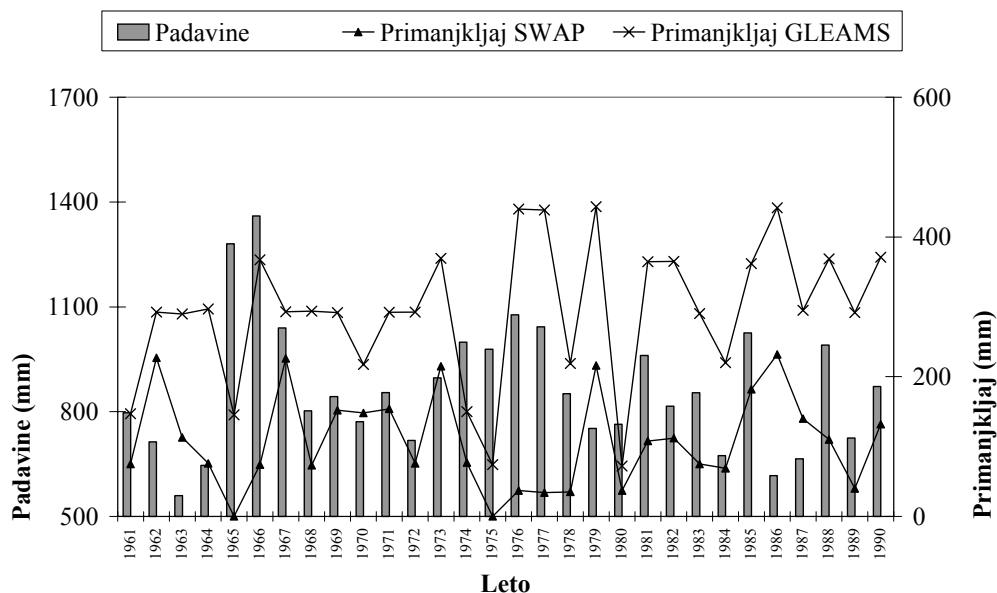
Povprečen primanjkljaj za distrična tla PP 85/ PKE 1237 v letih 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP, je bil 276 mm (75 mm – 450 mm) oz. 321 mm (107 mm – 500 mm), izračunan z modelom GLEAMS (Slika 35, prilogi F in H).



Slika 35: Primanjkljaj vode (mm) za talni profil 85 znotraj pedokartografske enote 1237 (distrična rjava tla na nekarbonatem flišu - dekalificiranem laporju izprana 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 35: Water shortage (mm) for soil profile 85 (Distric Cambisols on non-calcareous flysch 1237) and precipitation for observed period 1961 – 1990.

Povprečni primanjkljaj vode za hipoglejena tla (PP 140/ PKE 1242) izračunan z modelom SWAP je bil v obdobju 1961 – 1990 108 mm (0 – 232 mm) oz. 293 mm (72 mm – 443 mm), izračunan z modelom GLEAMS. Primerjava rezultatov izračuna primanjkljaja za obravnavano obdobje 1961 – 1990 med modeloma SWAP in GLEAMS pokaže, da so rezultati pri modelu GLEAMS višji (Slika 36, prilogi G in I).

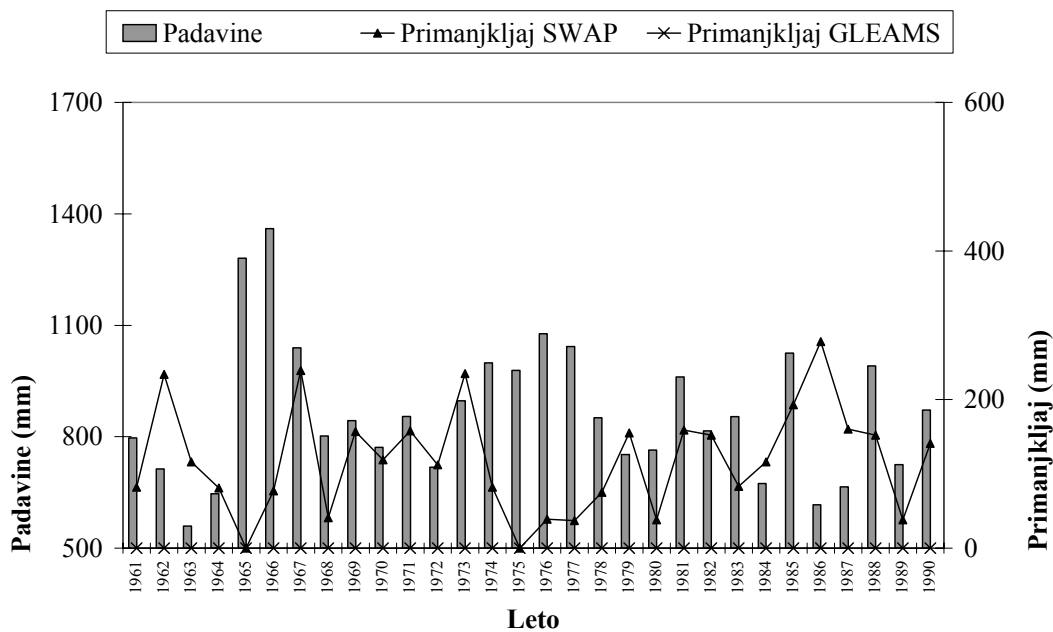


Slika 36: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 140 znotraj pedokartografske enote 1242 (hipoglej, evtričen mineralen, zmerno močan 60%, hipoglej evtričen mineralen srednje močan 40%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 36: Water shortage (mm) for soil profile 140 (gleyed soil 1242) and precipitation for observed period 1961 – 1990.



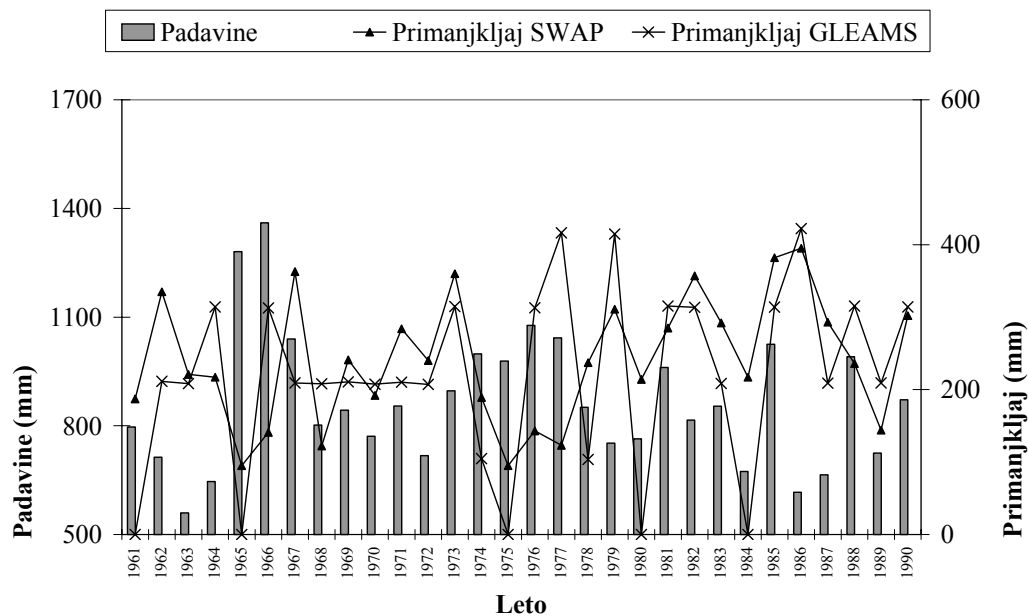
Povprečen primanjkljaj vode za obrečna rjava tla PP 129/ PKE 139, izračunan z modelom SWAP je bil 118 mm (0 – 278 mm), medtem ko model GLEAMS primanjkljaja ne izračuna (Slika 37, prilogi G in I).



Slika 37: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 129 znotraj pedokartografske enote 139 (rjava obrečna tla, globoko oglejena, tip 100%, obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 37: Water shortage (mm) for soil profile 129 (139 cambic fluvisol) and precipitation for observed period 1961 – 1990.

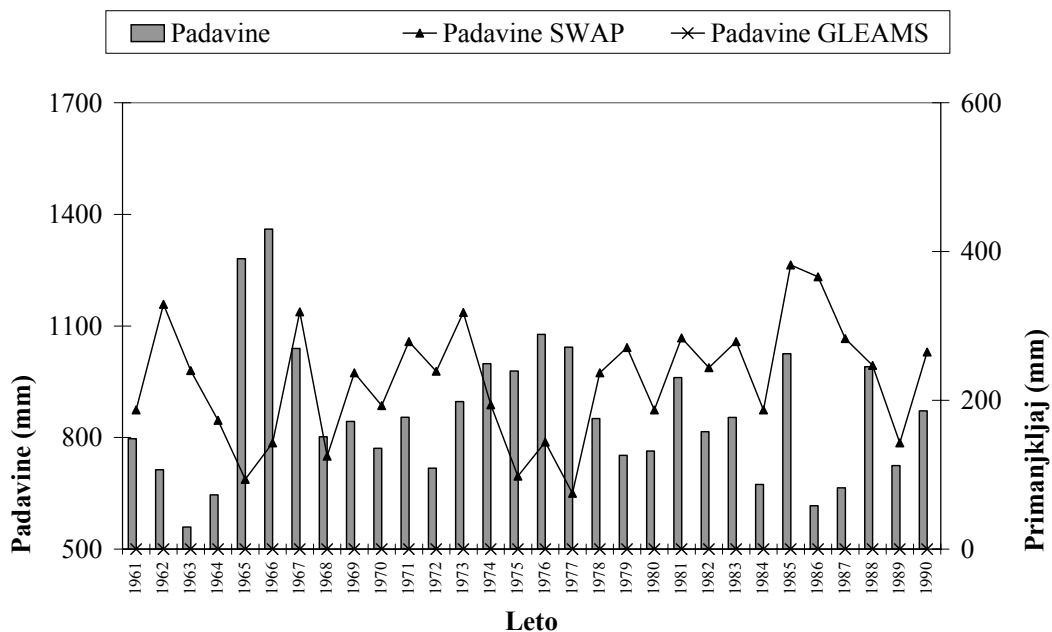
Povprečni primanjkljaj za obrečna rjava tla PP 117/ PKE 1241 v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP, je bil 240 mm (95 mm – 395 mm) oz. 220 mm (0 – 422mm), izračunan z modelom GLEAMS. Model GLEAMS ni izračunal primanjkljaja v letih 1961, 1965, 1975, 1980 in 1984 (Slika 38, prilogi G in I).



Slika 38: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 117 znotraj pedokartografske enote 1241 (obrečna evtrična globoko oglejena 80%, evtrična globoka 20%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 38: Water shortage (mm) for soil profile 117 (cambic fluvisols 1241) and precipitation for observed period 1961 – 1990.

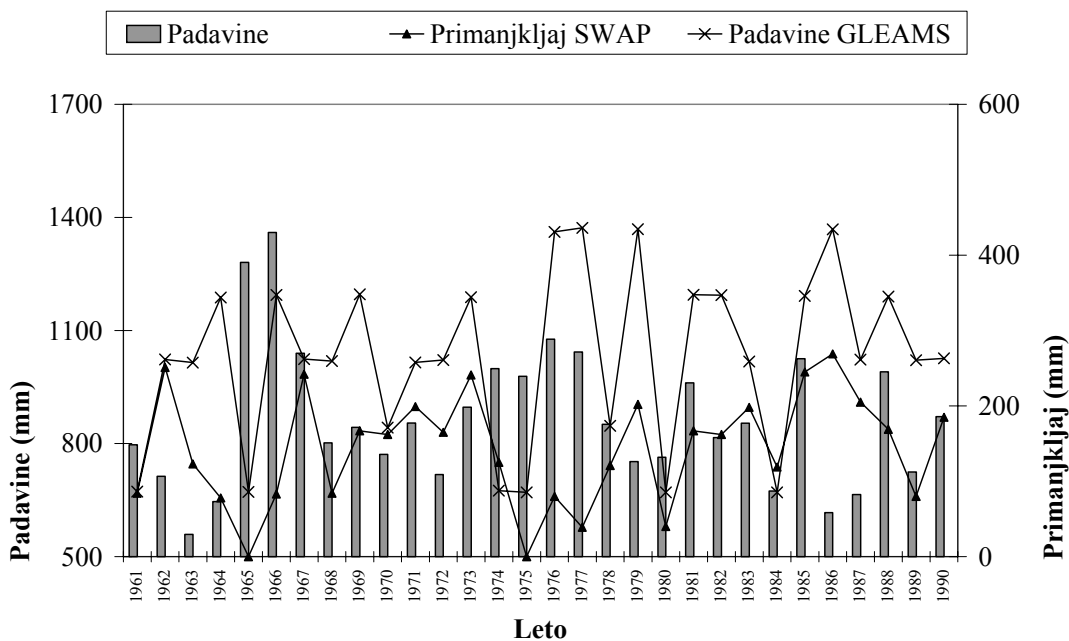
Povprečen primanjkljaj vode za obrečna rjava tla PP 141/ PKE 1241 izračunan z modelom SWAP, je bil 225 mm (75 mm – 382 mm), medtem ko model GLEAMS primanjkljaja ne izračuna (Slika 39, prilogi G in I).



Slika 39: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 141 znotraj pedokartografske enote 1241 (obrečna evtrična globoko oglejena 80%, evtrična globoka 20%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 39: Water shortage (mm) for soil profile 141 (cambic fluvisols 1241) and precipitation for observed period 1961 – 1990.

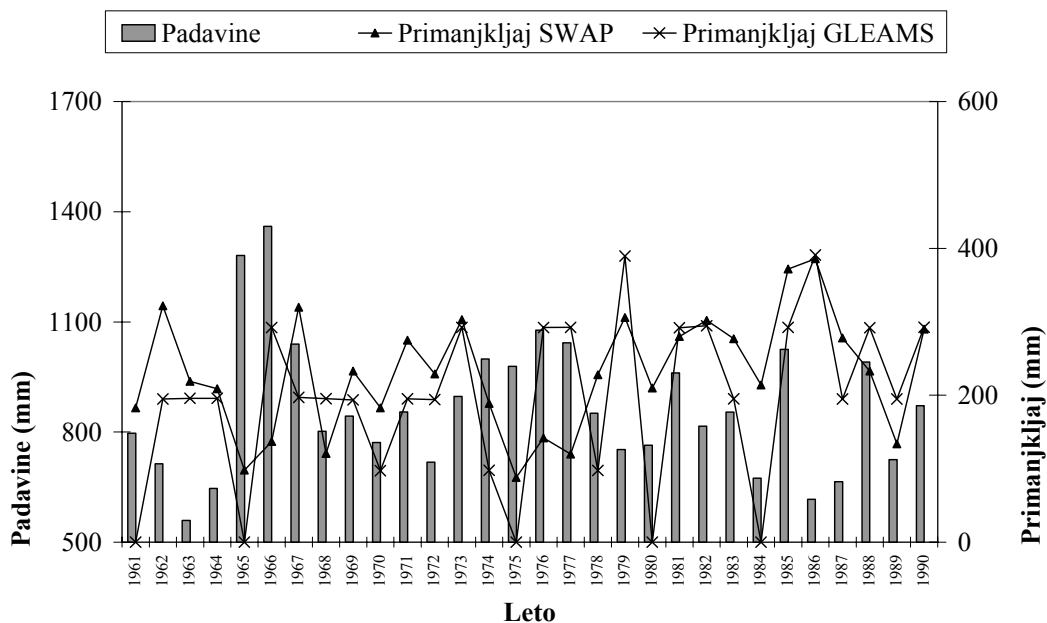
Povprečen primanjkljaj vode za obrečna rjava tla PP 144/ PKE 1241, izračunan z modelom SWAP, je bil 143 mm (0 – 269 mm) oz. 266 mm (85 mm – 436 mm), izračunan z modelom GLEAMS (slika 40, prilogi G in I).



Slika 40: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 144 znotraj pedokartografske enote 1241 (obrečna evtrična globoko oglejena 80%, evtrična globoka 20%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 40: Water shortage (mm) for soil profile 144 (cambic fluvisols 1241) and precipitation for observed period 1961 – 1990.

Povprečni primanjkljaj za obrečna rjava tla PP 146/ PKE 1241 v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP, je bil 229 mm (88 mm – 396 mm) oz. 195 mm (0 – 391 mm), izračunan z modelom GLEAMS. Model GLEAMS ni izračunal primanjkljaja v letih 1961, 1965, 1975, 1980 in 1984 (Slika 41, prilogi G in I).

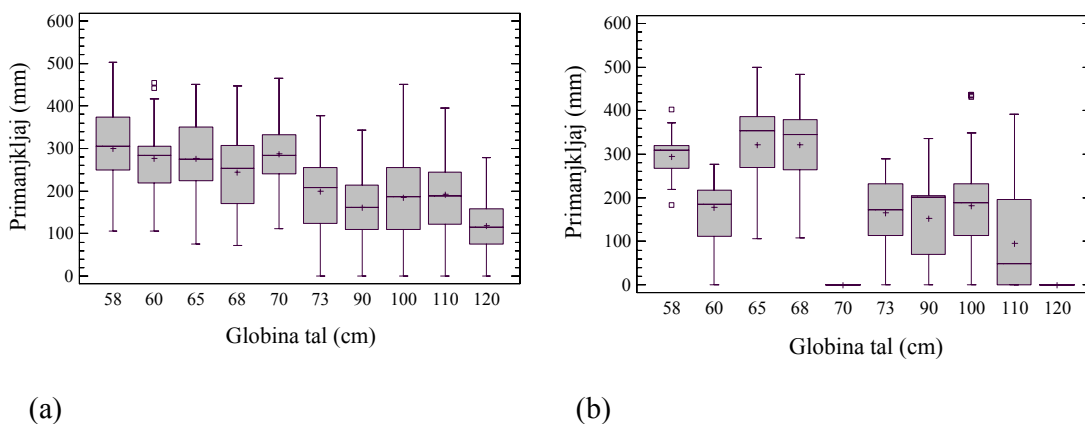


Slika 41: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 146 znotraj pedokartografske enote 1241 (obrečna evtrična globoko oglejena 80%, evtrična globoka 20%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.

Figure 41: Water shortage (mm) for soil profile 146 (cambic fluvisols 1241) and precipitation for observed period 1961 – 1990.

### 4.3.2 Primanjkljaj vode glede na globino in PP/PKE

Primerjali smo vpliv globine obravnavanih talnih profilov na izračun pomanjkanja vode v obravnavanem obdobju 1961 – 1990. Pri izračunu z modelom SWAP je primanjkljaj na opazovanih profilih z globinami  $\leq 70$  cm višji (220 mm – 300 mm) kot na opazovanih profilih z globinami  $> 70$  cm, kjer je povprečen primanjkljaj od 120 – 210 mm (Slika 41a). Rezultati modela GLEAMS so med globinami opazovanih profilov zelo različni, v primeru treh globin (70 cm, 110 ter 120 cm) pa primanjkljaj ne nastopi (Slika 42b).

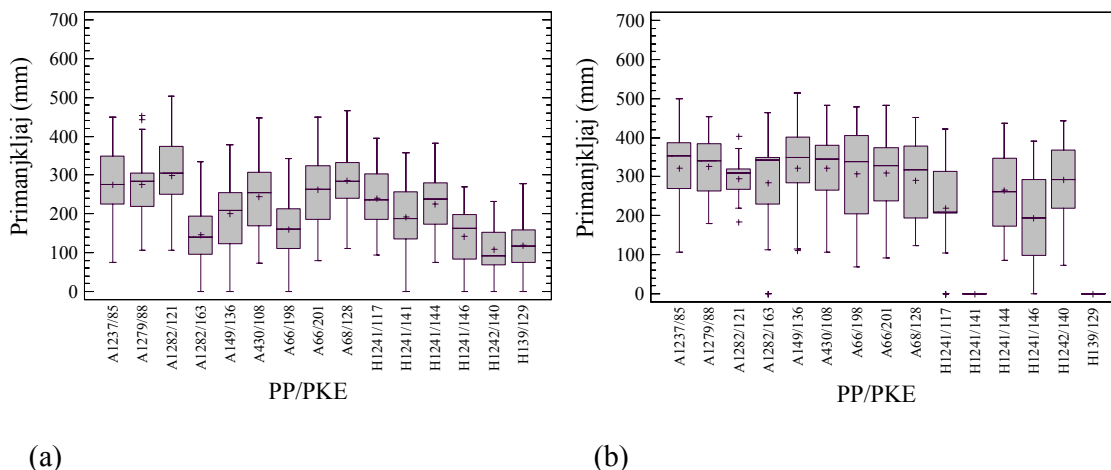


Slika 42: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) v obravnavanem obdobju 1961 – 1990 glede na globino tal za model SWAP in model GLEAMS.

Figure 42: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to profile depth calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

Primerjava izračuna primanjkljaja pri modelu SWAP glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto pokaže, da sta imela pri avtomorfni tleh PP 198/ PKE 66 ter PP 163/ PKE 1282 nižji primanjkljaj, pri hidromorfni pa je bil najnižji primanjkljaj pri PP 140/ PKE 1242, PP 129/ PKE 139 in PP 146/ PKE 1241 (Slika 43a).

Rezultati izračuna primanjkljaja pri modelu GLEAMS glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto pokaže, da je interval pomanjkanja med PP izenačen. Zelo ozek interval med minimalno in maksimalno vrednostjo primanjkljaja ima PP 121/ PKE 1282 (Slika 41b). Pri hidromorfni tleh se pri modelu GLEAMS primanjkljaj dvakrat ne pojavi in sicer pri PP 129/ PKE 139 in PP 141/ PKE 1241 (Slika 43b).

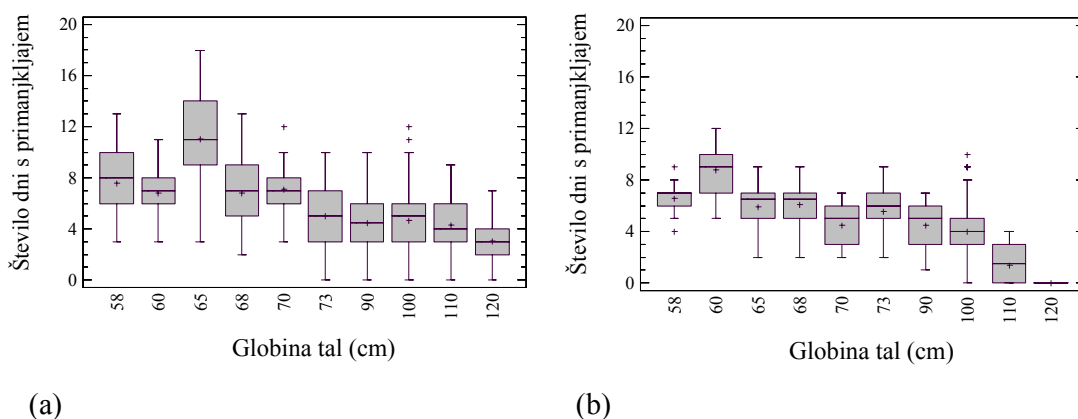


Slika 43: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) v obravnavanem obdobju 1961 – 1990 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto, izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

Figure 43: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil profile and soil cartographic unit calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

Primanjkljaj vode v tleh se pri izračunu z modelom SWAP na avtomorfnih tleh pojavi v povprečju 5 do 11 dni na leto, največkrat na PP 85/ PKE 1237. Na hidromorfnih tleh se pojavi v povprečju od 3 do 5 dni na leto (od 0 do največ 9 dni na leto, slika 44 a).

Primanjkljaj vode v tleh se pri izračunu z modelom GLEAMS na avtomorfnih tleh pojavi v povprečju 2 do 9 dni na leto, največkrat na PP 85/ PKE 1237. Na hidromorfnih tleh se pojavi v povprečju od 0 do 4 dni na leto (od 0 do največ 6 dni na leto, slika 44 b).



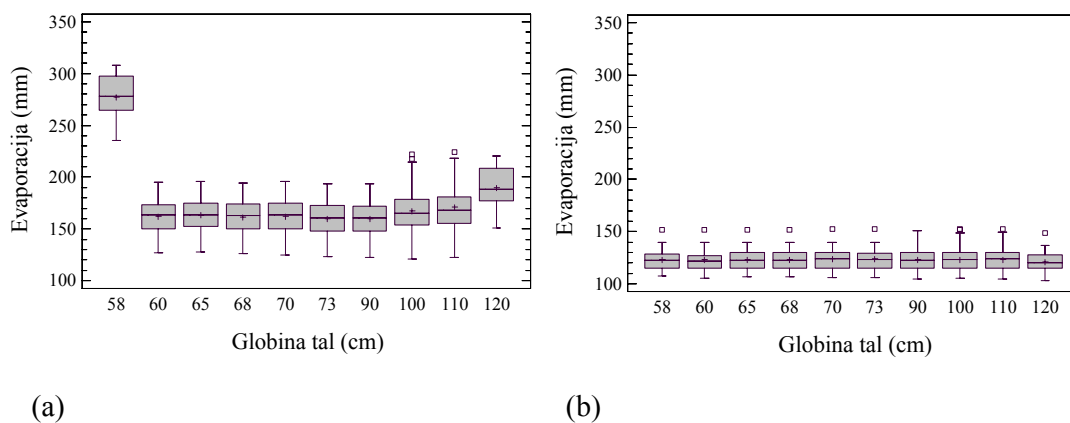
Slika 44: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem vode v tleh v obdobju 1961 – 1990 glede na globino tal, izračunan z modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

Figure 44: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil profile calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

### 4.3.3 Evapotranspiracija

Pri izračunu  $ET$  se pokaže vpliv različne računske strukture, še posebej pri izračunu transpiracije (Slike 47 – 48). Model SWAP izračuna  $ET$  v dveh korakih, najprej  $ET$  evaporacijo tal in transpiracijo posebej. Model SWAP izračuna dejansko  $E_a$  glede na razvoj rastline (En. 36).

Vrednosti  $E$  tal pri modelu SWAP med različnimi globinami tal ne odstopajo veliko, izjema je globina 58 cm pripadajočega PP 121/ PKE 1282 (Slika 45a). Višje vrednosti pokažejo tudi globine 100, 110 in 120 cm (Slika 45a). Model GLEAMS dobljeno  $ET$  glede na funkcijo razvoja  $LAI$  razdeli na  $E_a$  tal in  $T_a$  (En. 43), vrednosti z GLEAMSom izračunane  $E_a$  tal se med globinami talnih profilov ne razlikujejo (Slika 45b).



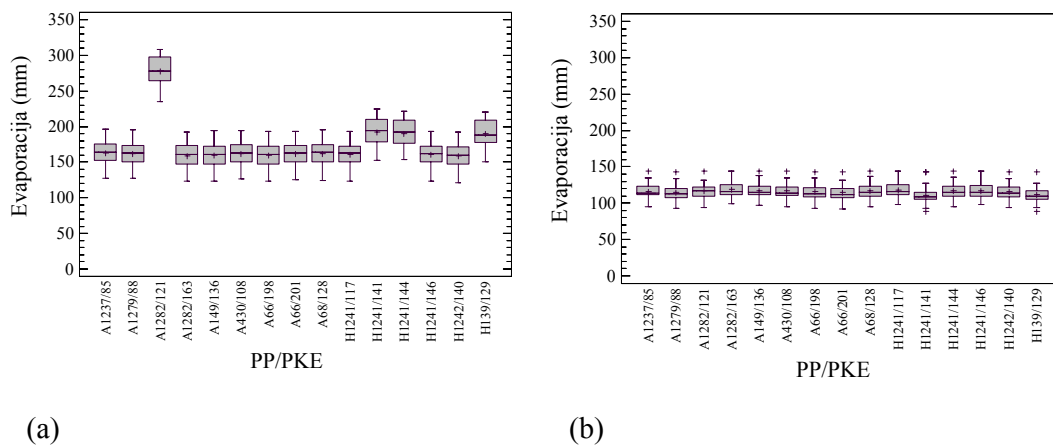
Slika 45: Evaporacija tal (mm) glede na globino talnega profila (cm) v obdobju 1961 – 1990 izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.

Figure 45: Soil evaporation (mm) with respect to soil profile depth (cm) for period 1961 – 1990 obtained with (a) model SWAP and (b) model GLEAMS.

Primerjava izračuna  $E_a$  pri modelu SWAP pokaže, da višji rezultat pri PP 121/ PKE 1282 avtomorfnih tal (280 mm), pri hidromorfnih pa pri PP 140/ PKE 1242, PP 129/ PKE 139 in PP 146/ PKE 1241 (190 mm) (Slika 46a).

Izračun  $E_a$  pri modelu GLEAMS je enak pri vseh izbranih pedoloških profilih pedokartografskih enot, s povprečno vrednostjo 130 mm (Slika 46b)

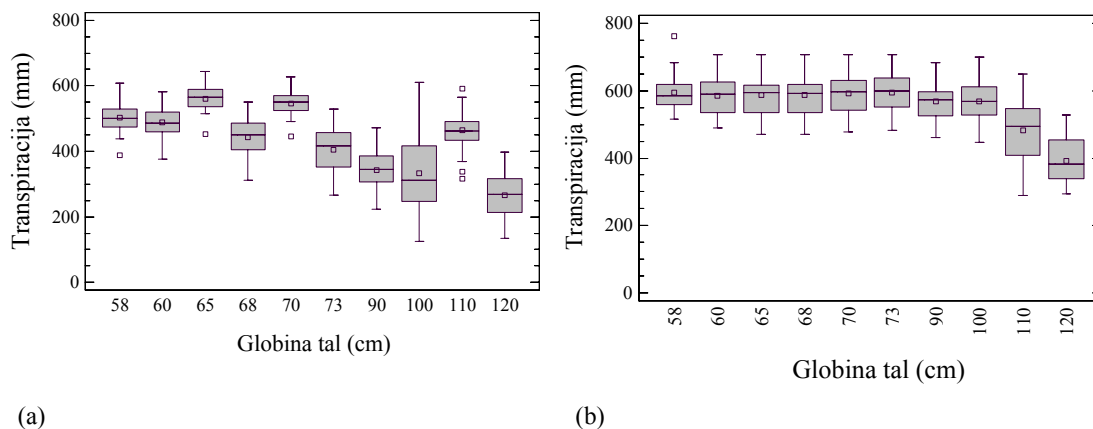




Slika 46: Evaporacija (mm) glede na PKE v obdobju 1961 – 1990 izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.

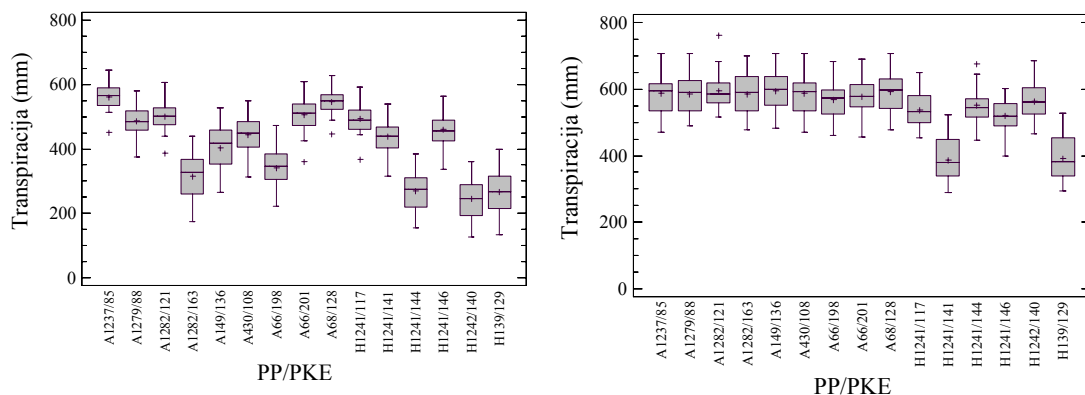
Figure 46: Soil evaporation (mm) with respect to soil pedocartographic unit for period 1961 – 1990 obtained with (a) model SWAP and (b) model GLEAMS.

Izračuni transpiracije pri modelu SWAP so različni tako pri globinah talnih profilov kot tudi med PKE. Velike razlike med rezultati pri izračunu  $T$  pri modelu SWAP izražajo povezanost parametra  $T$  s hidravličnimi lastnostmi tal, kar so uporabili pri inverznem določanju hidravličnih lastnosti s pomočjo znanih členov vodne bilance tal (Jhorar in sod, 2002). Vrednosti  $T$ , izračunane z modelom GLEAMS, med globinami talnih profilov oz. PKE ne pokažejo razlik, nekoliko nižje so pri globljih talnih profilih (110 in 120 cm), t.j. pripadnim rjavim obrečnim tlem (PKE 139 in PKE 1241) (Sliki 47 – 48).



Slika 47: Transpiracija (mm) glede na globino talnega profila (cm) v obdobju 1961 – 1990 izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.

Figure 47: Transpiration (mm) with respect to soil profile depth (cm) for period 1961 – 1990 obtained with (a) model SWAP and (b) model GLEAMS.



(a)

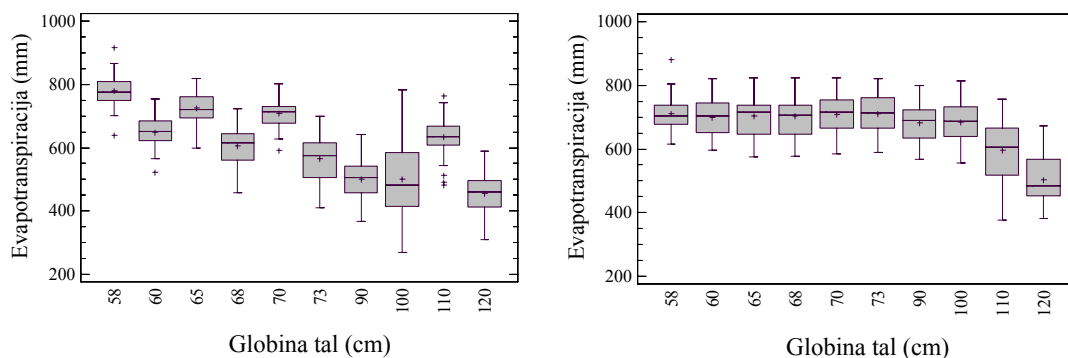
(b)

Slika 48: Transpiracija (mm) glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.

Figure 48: Transpiration (mm) with respect to soil profile and soil pedocartographic unit for period 1961 – 1990 obtained with (a) model SWAP and (b) model GLEAMS.

Vrednosti *ET* so seštevek prej opisanih členov *E* in *T*. Primerjava rezultatov *ET* modela GLEAMS pokaže nižjo stopnjo *ET* pri talnih profilih globokih 110 in 120 cm. Primerjava rezultatov *ET* modela SWAP glede na globino talnih profilov pokaže, da imajo globlja tla nekoliko nižjo stopnjo *ET* (Slika 49a).

Pri modelu GLEAMS so izračune vrednosti *ET* za rjava obrečna tla PP 129/ PKE 139 in PP 141/ PKE 1241 nižje kot pri modelu SWAP (Slika 49b).



(a)

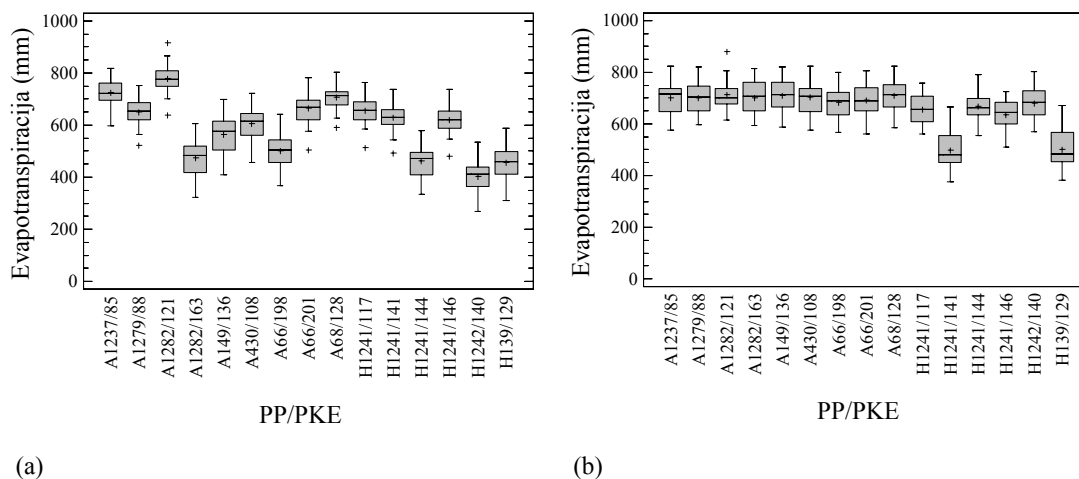
(b)

Slika 49: Evapotranspiracija (mm) glede na globino talnega profila v obdobju 1961 – 1990, izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.

Figure 49: Evapotranspiration (mm) with respect to soil profile depth (cm) for period 1961 – 1990 obtained with (a) model SWAP and (b) model GLEAMS.

Evapotranspiracija, izračunana z modelom SWAP, je bila najnižja pri uporabljenih PP 163/ PKE 1282 in PP 198/ PKE 66 avtomorfnih tal, pri hidromorfnih pa pri PP 140/ PKE 1242 in PP 129/ PKE 139 avtomorfnih tal (Slika 50a).

Izračuni evapotranspiracije pri modelu GLEAMS so bili med uporabljenimi pedološkimi profili izenačeni (620 mm), nižja *ET* (430 mm) je bila v primeru PP 129/ PKE 139 in PP 141/ PKE 1241 (Slika 50b).

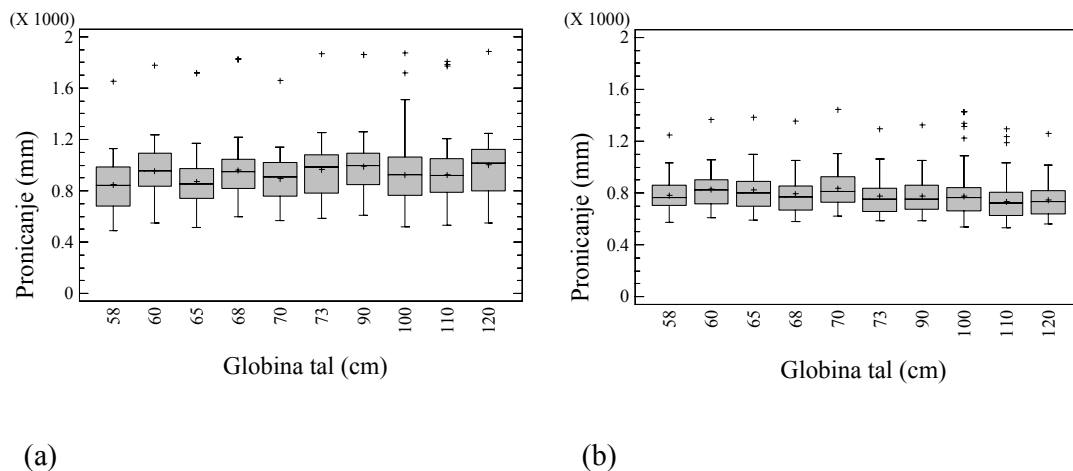


Slika 50: Evapotranspiracija (mm) v obdobju 1961 – 1990 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto, izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.

Figure 50: Evapotranspiration (mm) with respect to soil profile and soil pedocartographic unit for period 1961 – 1990 obtained with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

#### 4.3.4 Pronicanje

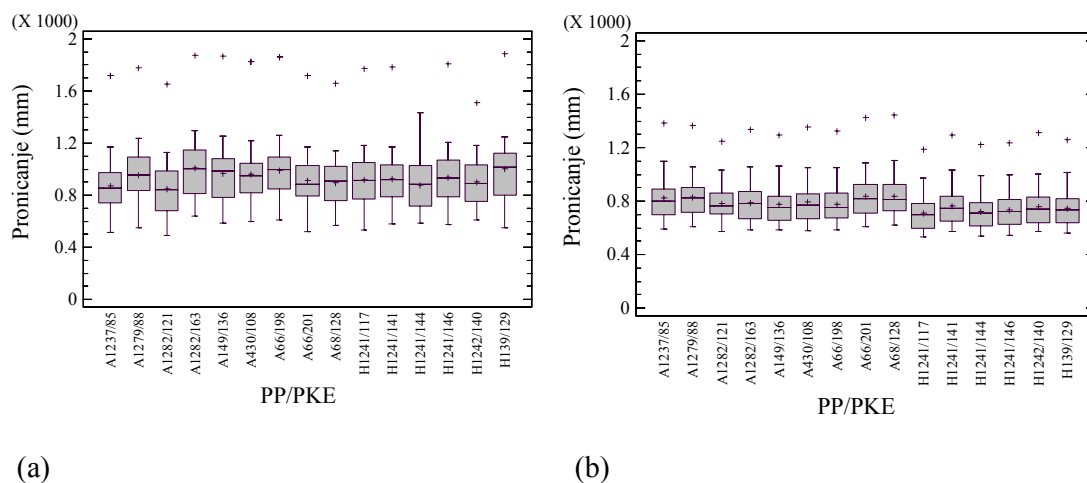
Pronicanje predstavlja tisti del vode, katerega tla niso sposobna zadržati ter odteče v podtalnico. Rezultati med modeloma so tu izenačeni, pri modelu SWAP in GLEAMS se v letu 1965 pojavi zelo veliko pronicanja, vendar pri modelu SWAP nekoliko več kot pri modelu GLEAMS (Sliki 51 – 52). Povprečna vrednost pronicanja je bila pri modelu SWAP 800 – 900 mm, pri modelu GLEAMS pa 700 – 800 mm.



Slika 51: Pronicanje (mm) glede na globino talnega profila v obdobju 1961 – 1990, izračunano z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.

Figure 51: Deep percolation (mm) with respect to soil depth for 1961 – 1990 period calculated with with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

Primerjava količine pronicanja glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto prav tako ne pokaže večjih odstopanj tako med posameznimi talnih profilov kot med izračuni obeh modelov (Slika 52).



Slika 52: Pronicanje (mm) glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunano z modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

Figure 52: Deep percolation (mm) with respect to soil profile and soil pedocartographic unit for 1961 – 1990 period obtained with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

#### 4.3.5 Odtok

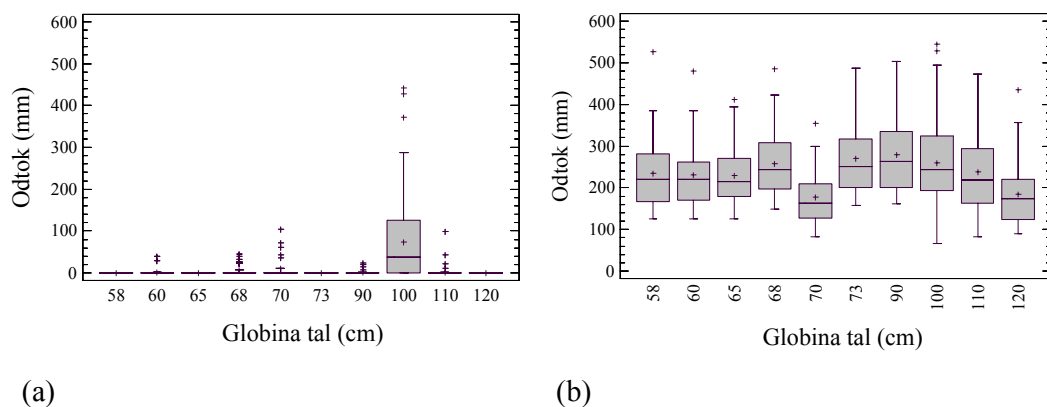
Izračun površinskega odtoka se med modeloma SWAP in GLEAMS od vseh členov vodne bilance obravnavanih v tem delu najbolj razlikujejo.

Pri modelu SWAP se odtok pojavi vsako leto pri pedoloških profilih globine 100 cm, posamezni dogodki pa tudi pri pedoloških profilih globin 60 cm, 68 cm, 90 cm ter 110. Pri modelu GLEAMS je povprečen odtok 200 mm, nekoliko nižji je odtok pri talnem profilu globin 70 cm in 120 cm (slika 53).

Medtem, ko se pri modelu SWAP odtok pojavi zelo redko – v primeru hidromorfnihi-hipoogolejenih tal PP 140/ PKE 1242 in rjavih obrečnih PP 144/ PKE 1241, model GLEAMS izračuna odtok pri vseh opazovanih PP (Sliki 53 – 54).

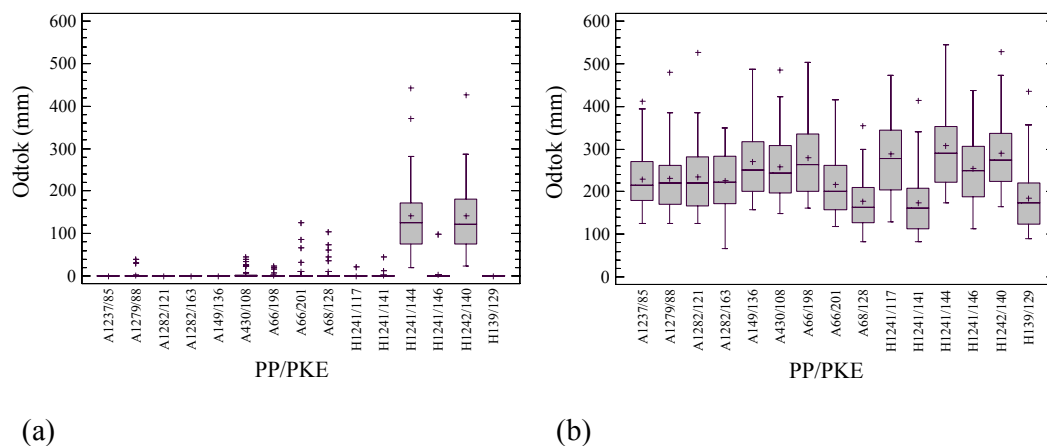
Posamezni dogodki odtoka, kot izračunano z modelom SWAP, se pojavijo tudi pri evtričnih rjavih tleh na ledenodobnem produ in peskih PP 198, 201/ PKE 66, evtričnih rjavih tleh na aluviju z gruščem PP 128/ PKE 68, evtričnih rjavih tleh na flišu in antropogenih PP 88 PKE 1279, PP 108/ PKE 430 (Sliki 53 – 54).

Vzrok v razliki rezultatov med modeloma je računski struktura samih modelov. Model SWAP izračuna odtok, ko potencialni tok v tla preseže maksimalno stopnjo infiltracije in nasičeno hidravlično prevodnost. Model GLEAMS izračuna odtok, če je presežena skladiščna sposobnost profila, katerega globino določa efektivna globina korenin.



Slika 53: Odtok (mm) v obdobju 1961 – 1990 glede na globino talnega profila, izračunan z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.

Figure 53: Runoff (mm) with respect to soil depth for 1961 – 1990 period obtained with model SWAP and model GLEAMS.



Slika 54: Odtok (mm) glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.

Figure 54: Runoff (mm) with respect to soil pedocartographic unit for 1961 – 1990 period calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

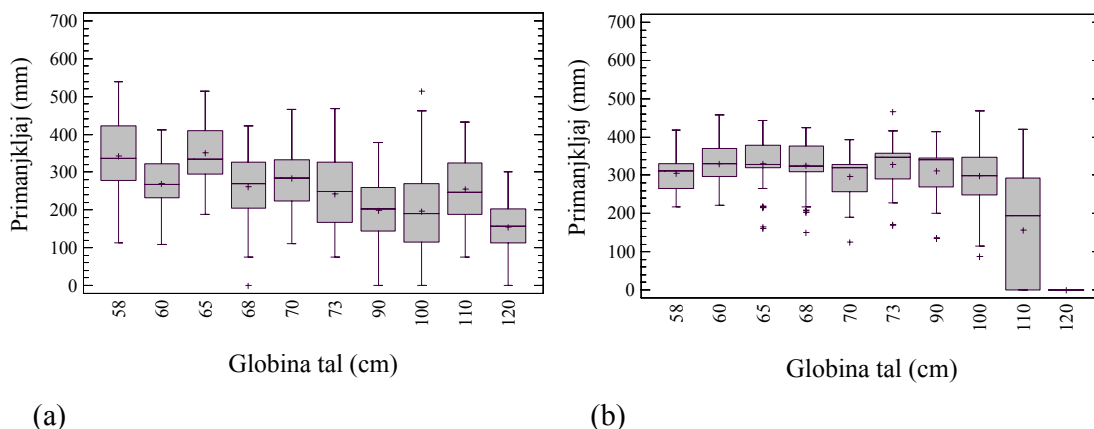
#### 4.4 SIMULACIJA SCENARIJEV KLIMATSKIH SPREMEMB

Občutljivost izbranih pedoloških profilov v Vipavski dolini na spremembe temperatur zraka ter količine in variabilnosti padavin smo preverili s scenariji klimatskih sprememb, ki so opisani v poglavju 3.3. Preverili smo za koliko sta se glede na uporabljen scenarij povečala primanjkljaj vode v tleh [mm] ter pogostost pojava primanjkljaja v tleh (število dni, ko se je pojavil primanjkljaj 50% PK).

##### 4.4.1 Scenarij 1

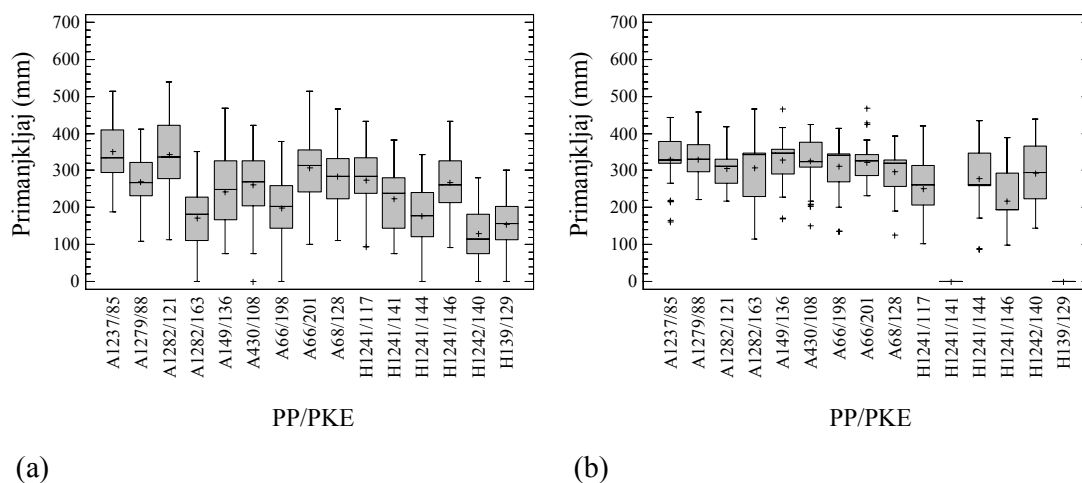
Izračun z modeloma SWAP in GLEAMS je pokazal, da bo povečanje temperature zraka za 1,5°C ter 10% zmanjšanje padavin vplivalo na povečan primanjkljaj v tleh. Povprečen primanjkljaj pri opazovanih PP avtomorfni tal je bil 297 – 329 mm, kar je za 0 – 79 mm več kot pri osnovnem nizu podatkov (model SWAP) oz. 0– 292 mm, kar je več za 8 – 23 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfni tal se je primanjkljaj pri scenariju 1 povečal za 21 – 123 mm (model SWAP) oz. 0 – 31 mm (model GLEAMS) (Sliki 55 in 56).

Primerjava rezultatov modela GLEAMS pri obdobju 1961 – 1990 ter scenarija 1 pokaže, da se je pri scenariju dvignila vrednost najmanjšega primanjkljaja (Slika b in b).



Slika 55: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode v tleh glede na globino tal pri scenariju 1 glede na globino tal v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

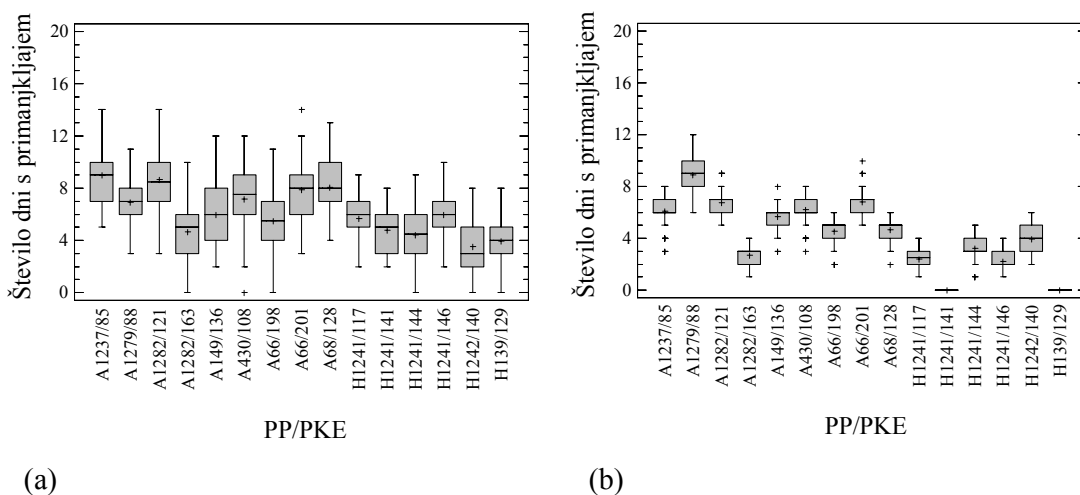
Figure 55: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil profile calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



Slika 56: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 1 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 56: Box and whisker plot for water shortage with respect to soil profile and soil pedocartographic unit in period 1961 – 1990 calculated with model SWAP (a) and GLEAMS (b).

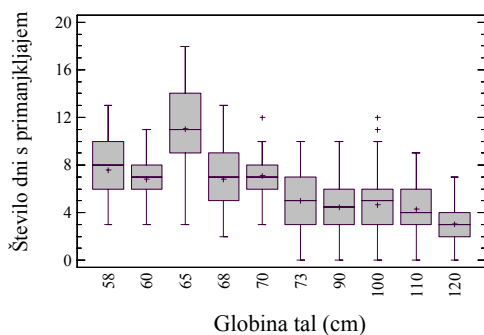
Povečanje temperature zraka za 1,5°C in zmanjšanje količine padavin za 10% je imelo majhen vpliv na pogostost pojava pomanjkanja vode v tleh. Pri modelu SWAP se je primanjkljaj pojavil od nič do dva dni bolj pogosto tako pri avtomorfnih kot pri hidromorfnih tleh, pri modelu GLEAMS pa od nič do en dan bolj pogosto (Sliki 57 in 58).



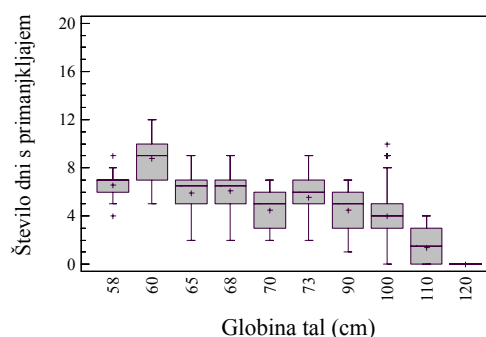
Slika 57: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 1 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 57: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for Scenario 1 with respect to soil profile and soil pedocartographic unit in period 1961 – 1990 calculated with model SWAP (a) and GLEAMS (b).





(a)



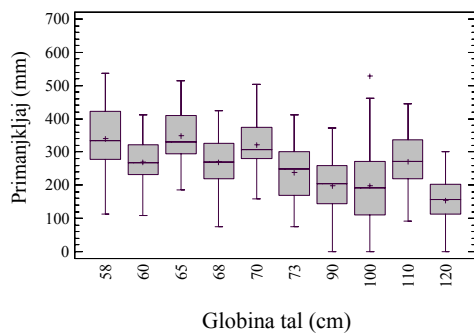
(b)

Slika 58: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 1 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

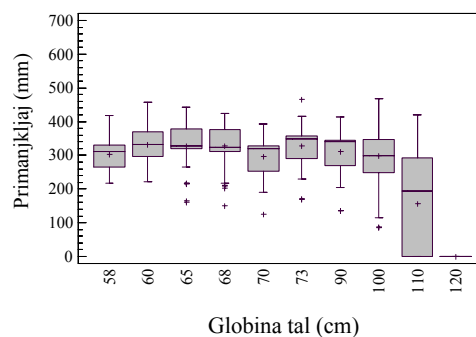
Figure 58: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for scenario 1 in period 1961 – 1990 with respect to soil depth calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

#### 4.4.2 Scenarij 2

Izračuni z modeloma SWAP in GLEAMS pri scenariju 2, kjer smo temperaturo zraka povečali za 1,5°C, padavine v obdobju april – september zmanjšali za 10 % in v obdobju oktober – marec povečali za 10%, so pokazali, da se bo primanjkljaj v tleh pri opazovanih PP avtomorfnih tal povečal za 24 – 77 mm (model SWAP) oz. 8 – 23 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je primanjkljaj pri scenariju 2 povečal za 28 – 122 mm (model SWAP) oz. 0 – 31 mm (model GLEAMS) (Sliki 59 in 60).



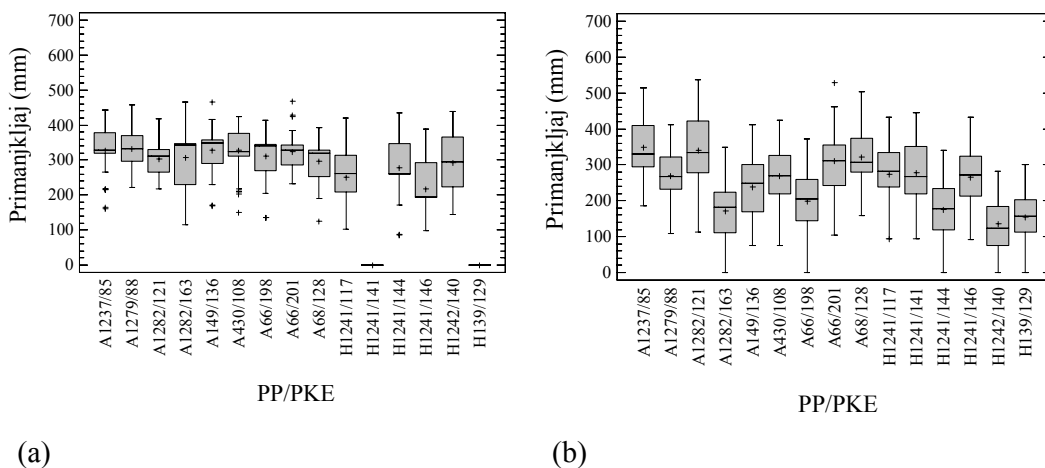
(a)



(b)

Slika 59: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode v tleh glede na globino tal pri scenariju 2 glede na pedokartografsko enoto izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

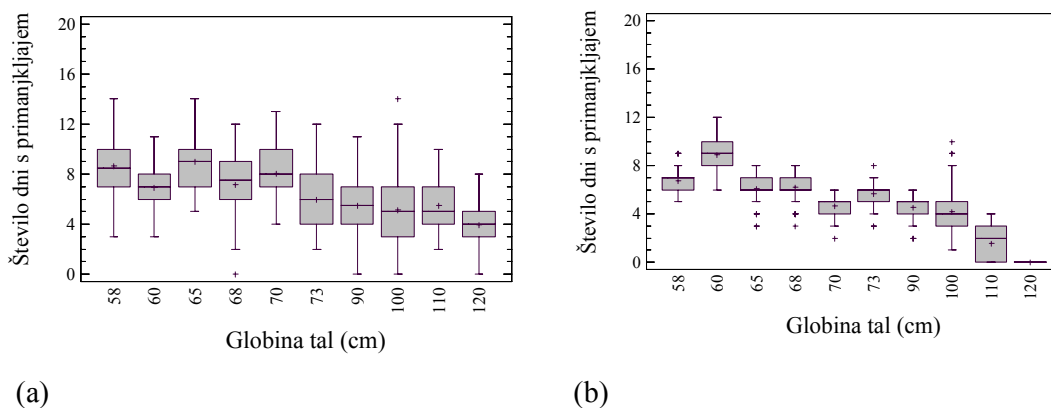
Figure 59: Box and whisker plot for water shortage with respect to soil depth in observed period 1961 – 1990 calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



Slika 60: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 2 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

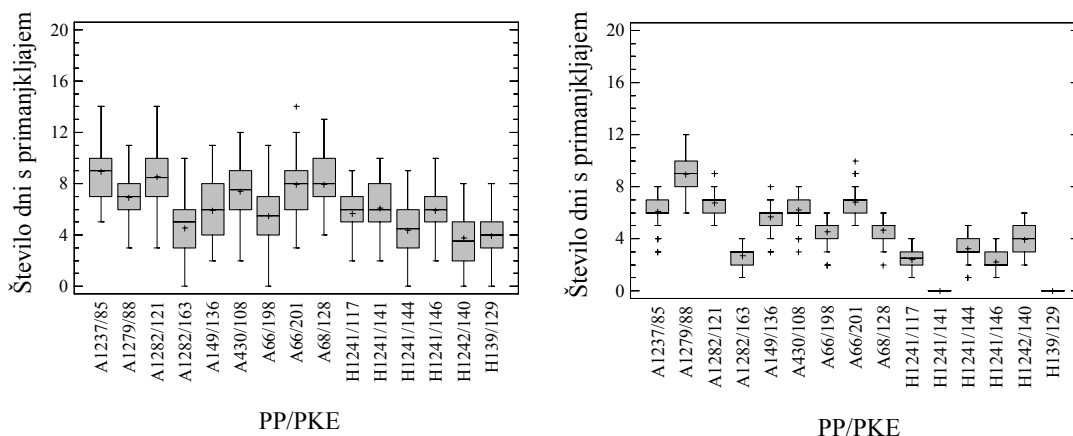
Figure 60: Box and whisker plot for water shortage with scenario 2 in observed period 1961 – 1990 with respect to soil profile and soil pedocartographic unit in period 1961 – 1990 with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

Pri scenariju 2 se je pri modelu SWAP primanjkljaj pojavil od nič do dva dni bolj pogosto kot pri baznem nizu tako pri avtomorfnih kot pri hidromorfnih tleh, pri modelu GLEAMS pa od nič do en dan bolj pogosto (Sliki 61 in 62).



Slika 61: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 2 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

Figure 61: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for scenario 2 in period 1961 – 1990 with respect to soil depth with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



(a)

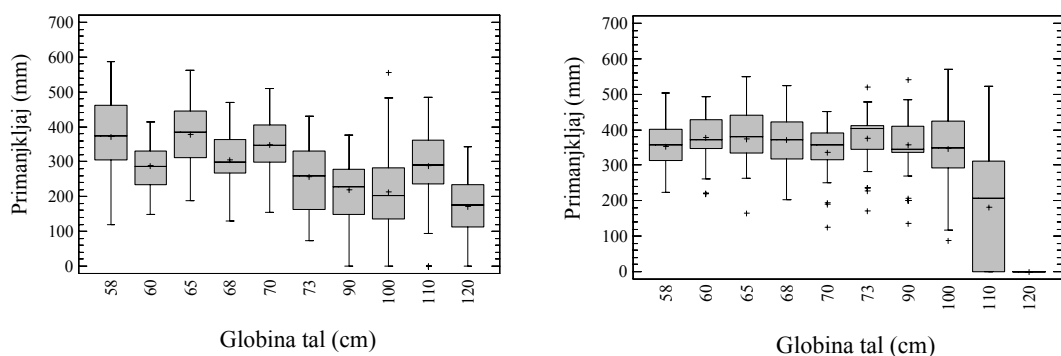
(b)

Slika 62: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 2 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 62: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for Scenario 2 with respect to soil profile and soil pedocartographic unit in period 1961 – 1990 calculated with model SWAP (a) and GLEAMS (b).

#### 4.4.3 Scenarij 3

Izračuni za scenarij 3 z modeloma SWAP in GLEAMS so pokazali, da bo napovedano povečanje temperature zraka za 3°C ter 10% zmanjšanje padavin vplivalo na povečan primanjkljaj v tleh, in sicer pri opazovanih PP avtomorfnih tal za 15 – 105 mm (model SWAP) oz. 47 – 77 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je primanjkljaj pri scenariju 3 povečal za 44 – 124 mm (model SWAP) oz. 0 – 73 mm (model GLEAMS) (Sliki 63 in 64).

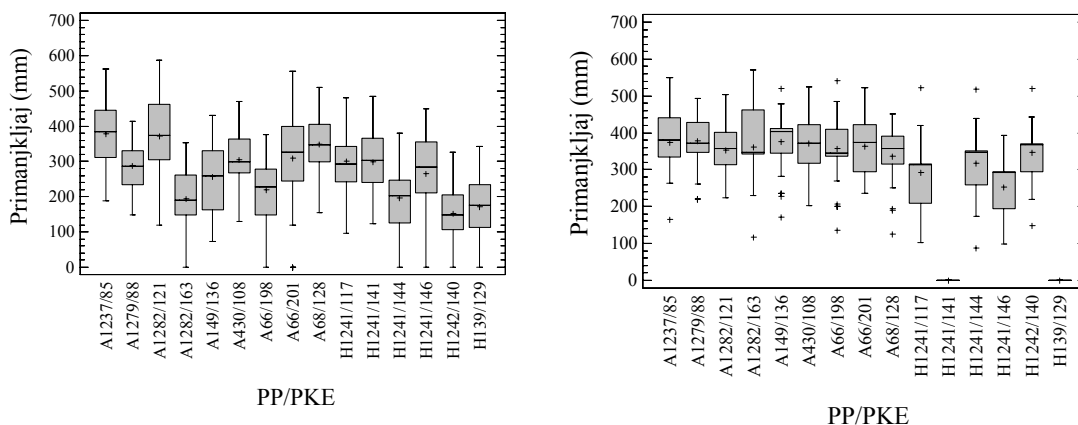


(a)

(b)

Slika 63: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 3 glede na globino v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 63: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil depth calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



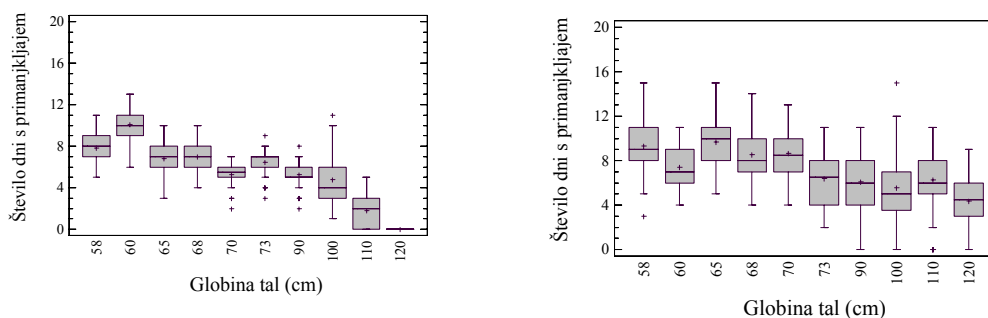
(a)

(b)

Slika 64: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 3 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 64: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil profile calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

Pri scenariju 3 se je pri modelu SWAP primanjkljaj pojavil od en do dva dni bolj pogosto kot pri baznem nizu tako pri avtomorfnih kot pri hidromorfnih tleh, pri modelu GLEAMS pa do en dan bolj pogosto (Sliki 65 in 66).

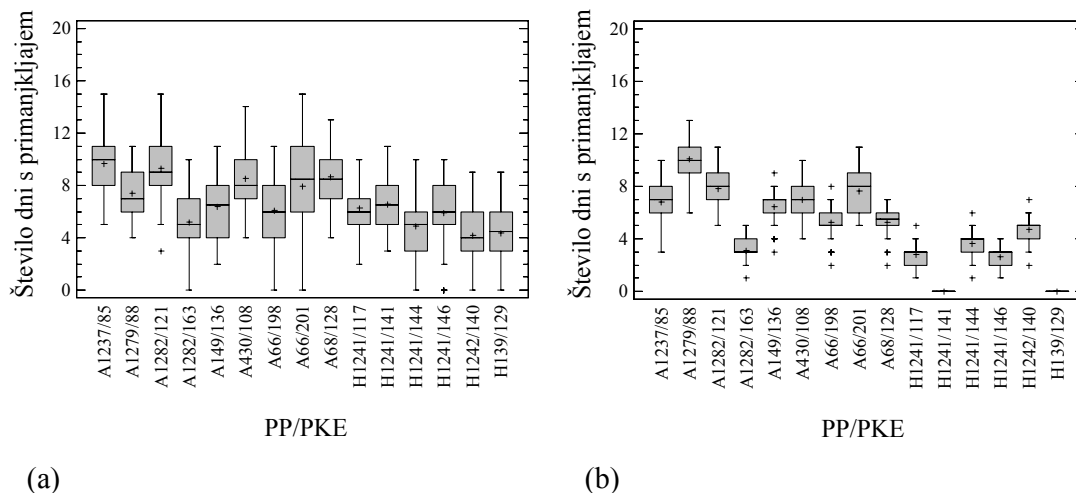


(a)

(b)

Slika 65: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 3 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

Figure 65: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for scenario 3 in period 1961 – 1990 with respect to soil depth with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

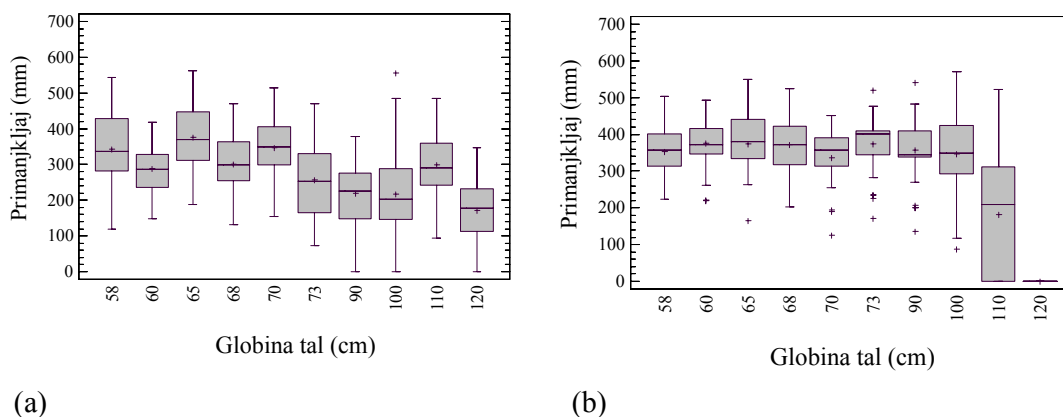


Slika 66: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 3 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 66: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for Scenario 3 with respect to soil profile and soil pedocartographic unit in period 1961 – 1990 calculated with model SWAP (a) and GLEAMS (b).

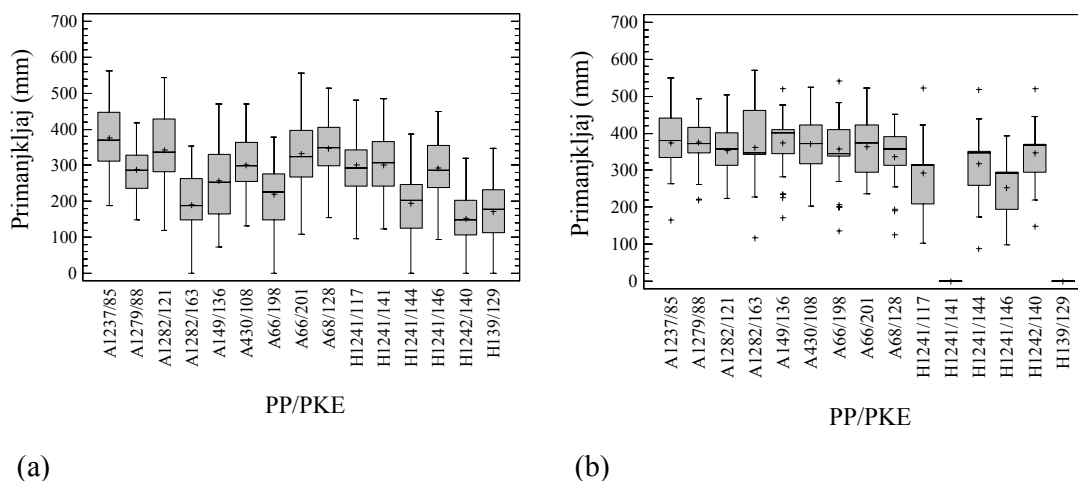
#### 4.4.4 Scenarij 4

Izračuni z modeloma SWAP in GLEAMS pri scenariju 4, kjer smo temperaturo zraka povečali 3°C, padavine v obdobju april – september zmanjšali za 10 % in v obdobju oktober – marec povečali za 10%, so pokazali, da se bo primanjkljaj v tleh pri opazovanih PP avtomorfnih tal povečal za 12 – 65 (105) mm (model SWAP) oz. 49 – 77 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je primanjkljaj pri scenariju 4 povečal za 43 – 149 mm (model SWAP) oz. 53 – 74 mm (model GLEAMS) (Sliki 67 in 68).



Slika 67: Okvir z ročaji za število dni, ko se je pojavil primanjkljaj vode v tleh pri scenariju 4 glede na pedokartografsko enoto.

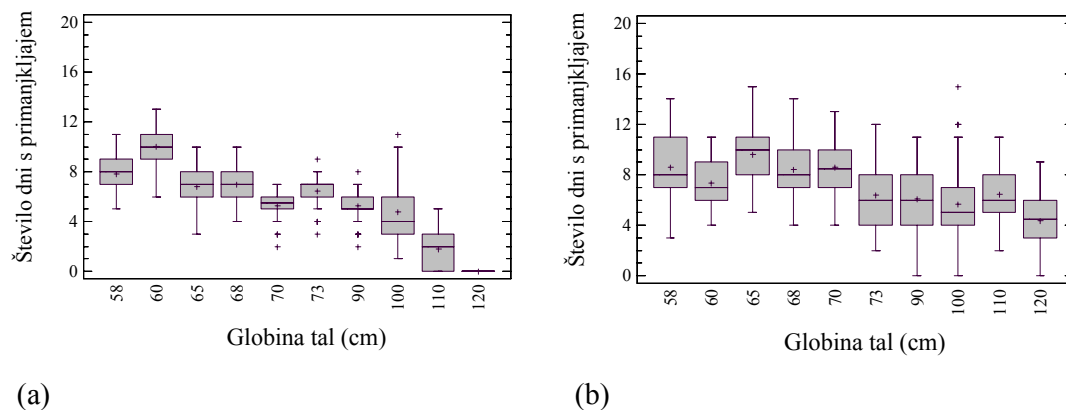
Figure 67: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil profile calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



Slika 68: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 4 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

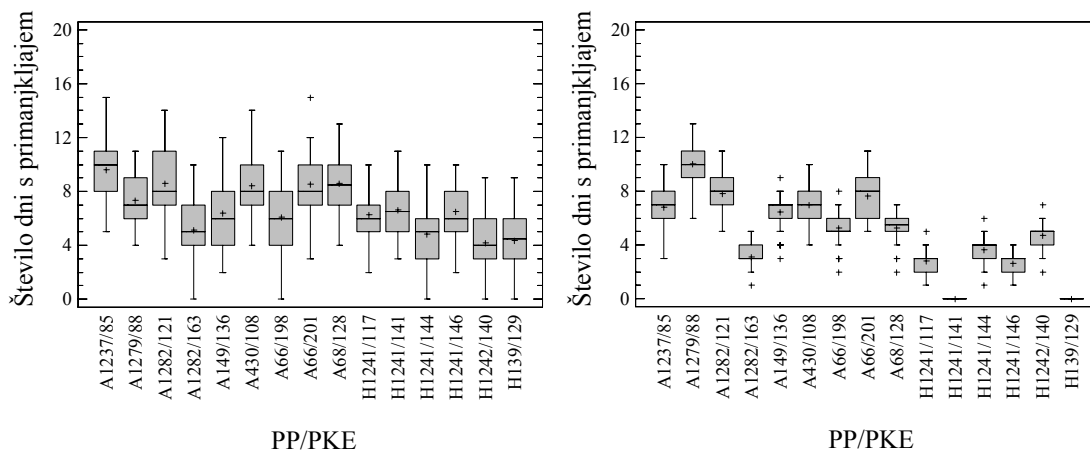
Figure 68: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil profile calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

Pri scenariju 4 se je pri modelu SWAP primanjkljaj pojavil od en do dva dni bolj pogosto kot pri baznem nizu, tako pri avtomorfnih kot pri hidromorfnih tleh, pri modelu GLEAMS pa do en dan bolj pogosto (Sliki 69 in 71).



Slika 69: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 4 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

Figure 69: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for scenario 4 in period 1961 – 1990 with respect to soil depth calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



(a)

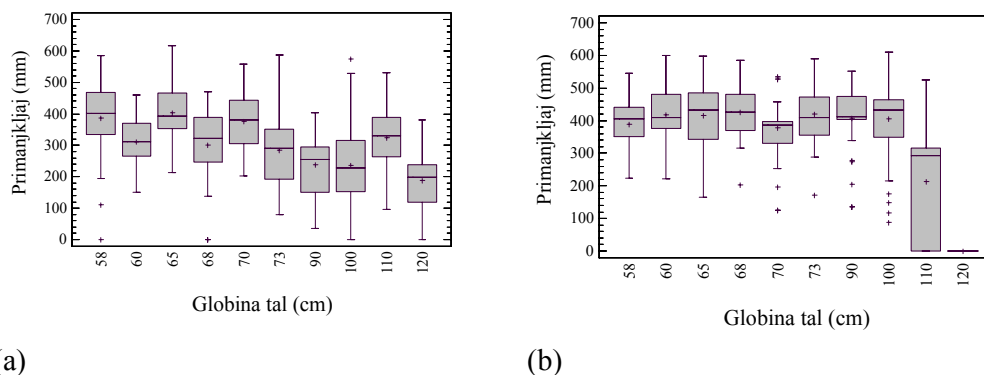
(b)

Slika 70: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 4 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 70: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for Scenario 4 with respect to soil profile and soil pedocartographic unit in period 1961 – 1990 calculated with model SWAP (a) and GLEAMS (b).

#### 4.4.5 Scenarij 5

Pri scenariju 5 so izračuni z modeloma SWAP in GLEAMS pokazali, da bo povečanje temperature zraka za 4,5°C ter 10% zmanjšanje padavin vplivalo na povečan primanjkljaj v tleh in sicer pri opazovanih PP avtomorfni tal za 38 – 96 mm (model SWAP) oz. 89 – 145 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfni tal se je primanjkljaj pri scenariju 5 povečal za 54 – 175 mm (model SWAP) oz. 0 – 130 mm (model GLEAMS) (Sliki 71 in 72).

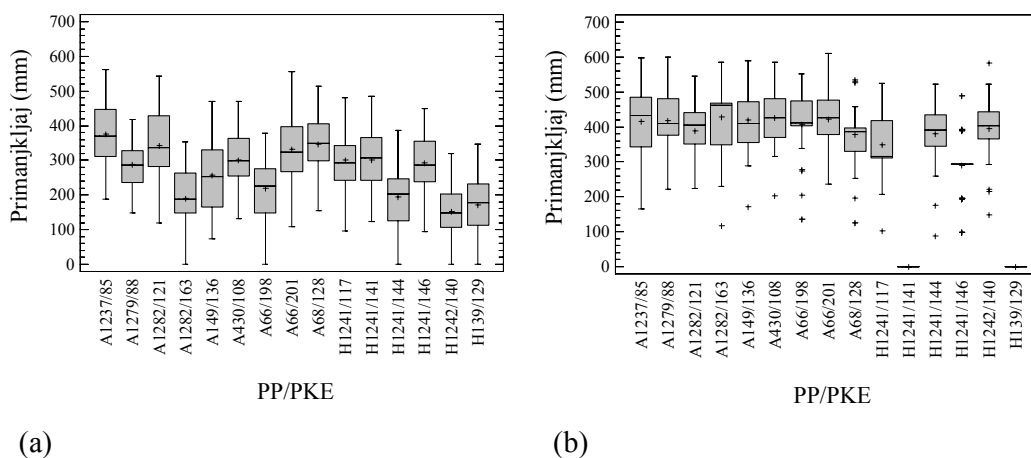


(a)

(b)

Slika 71: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 5 glede na pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

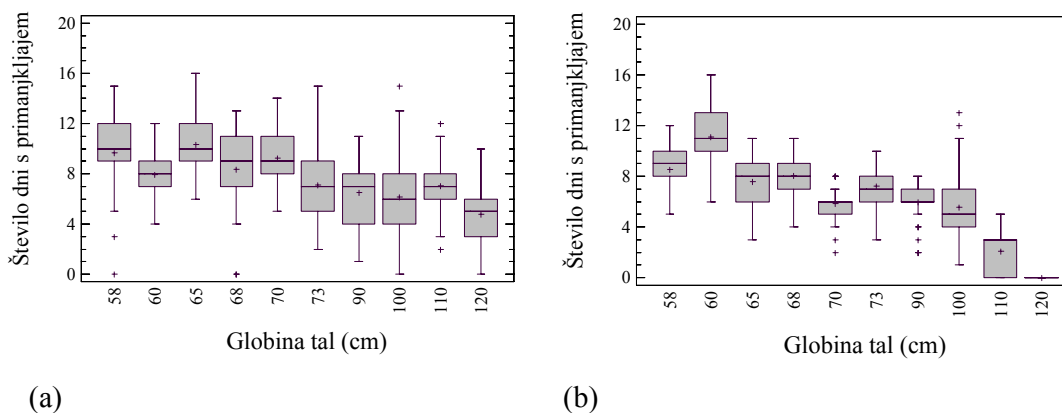
Figure 71: Box and whisker plot for water shortage (mm) in observed period 1961 – 1990 with respect to soil depth with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



Slika 72: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 5 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 72 Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil profile calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

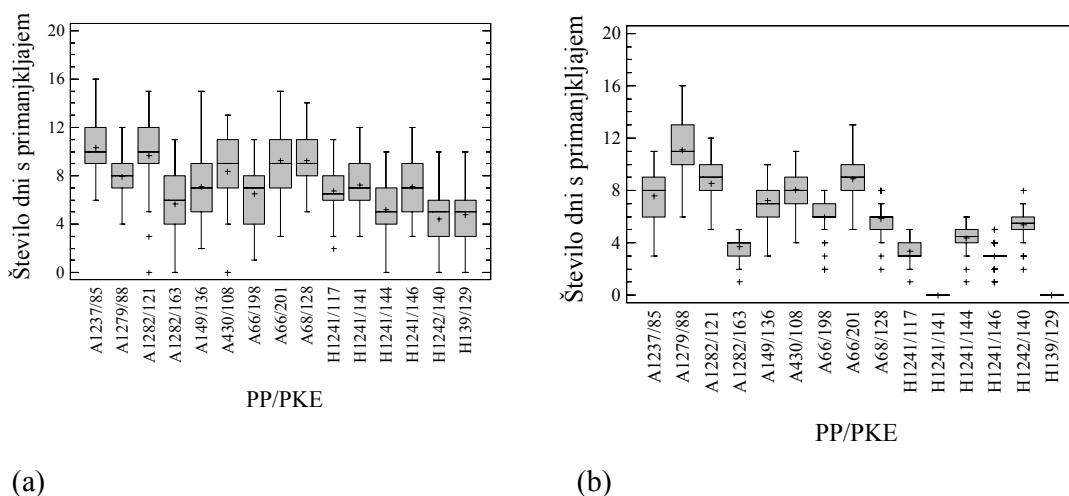
Pri scenariju 5 se je pri modelu SWAP primanjkljaj pojavil od en do dva dni bolj pogosto kot pri baznem nizu pri avtomorfnih, pri hidromorfnih tleh pa od en do štiri dni bolj pogosto. Pri modelu GLEAMS se je primanjkljaj pojavil pri avtomorfnih tleh do en dan bolj pogosto, pri hidromorfnih pa od en do dva dni bolj pogosto (Sliki 73 in 74).



Slika 73: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 5 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

Figure 73: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for scenario 5 in period 1961 – 1990 with respect to soil depth with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



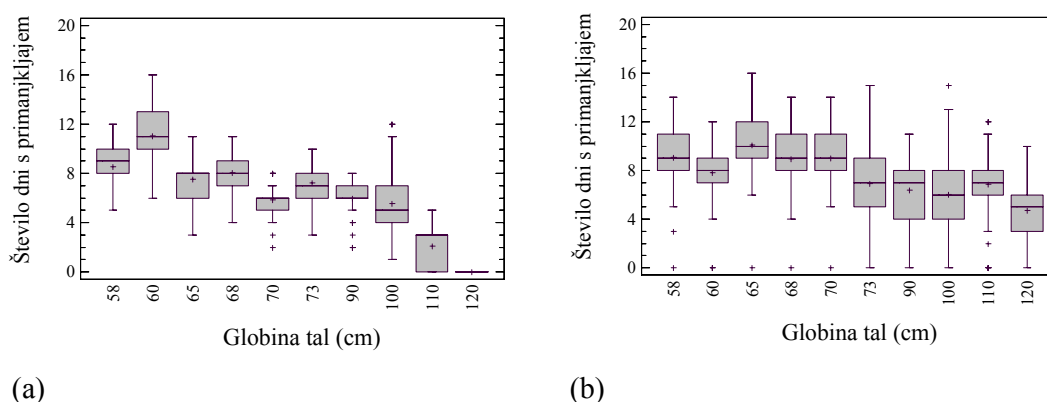


Slika 74: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 5 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 74: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for Scenario 5 with respect to soil profile and soil pedocartographic unit in period 1961 – 1990 calculated with model SWAP (a) and GLEAMS (b).

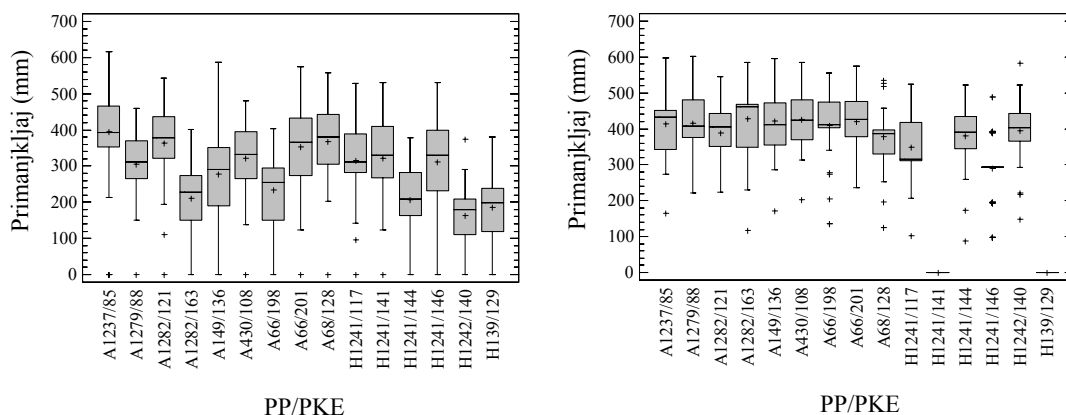
#### 4.4.6 Scenarij 6

Pri scenariju 6, kjer smo temperaturo zraka povečali za 4,5°C, padavine v obdobju april – september zmanjšali za 10 % in v obdobju oktober – marec povečali za 10%, so izračuni z modeloma SWAP in GLEAMS pokazali, da se bo primanjkljaj v tleh pri opazovanih PP avtomorfnih tal povečal za 31– 87 mm (model SWAP) oz. 88 – 144 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je primanjkljaj pri scenariju 1 povečal za 55 – 168 mm (model SWAP) oz. 0 – 130 mm (model GLEAMS) (Sliki 75 in 76).



Slika 75: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 6 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

Figure 75: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for scenario 6 in period 1961 – 1990 with respect to soil depth with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



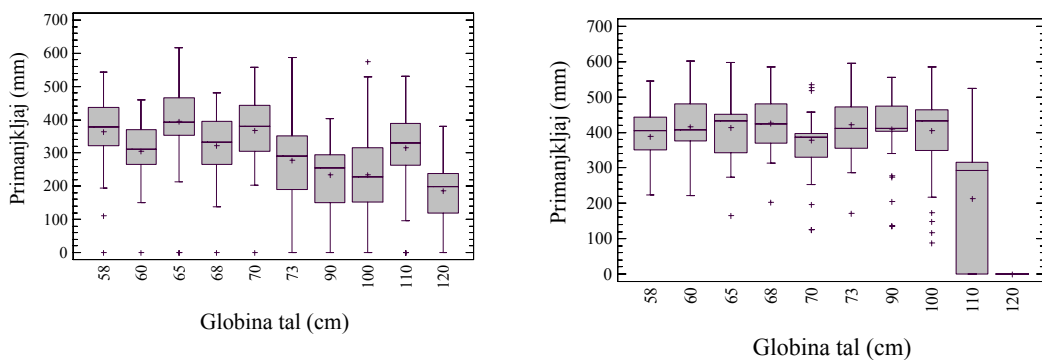
(a)

(b)

Slika 76. Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 6 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 76: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil pedocartographic unit with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).

Pri scenariju 6 se je pri modelu SWAP primanjkljaj pojavil v povprečju od en do dva dni bolj pogosto kot pri baznem nizu pri avtomorfnih, pri hidromorfnih tleh pa od nič do tri dni bolj pogosto. Pri modelu GLEAMS se je primanjkljaj pojavil pri avtomorfnih tleh do en dan bolj pogosto, pri hidromorfnih od en do dva dni bolj pogosto (Sliki 76 in 77).

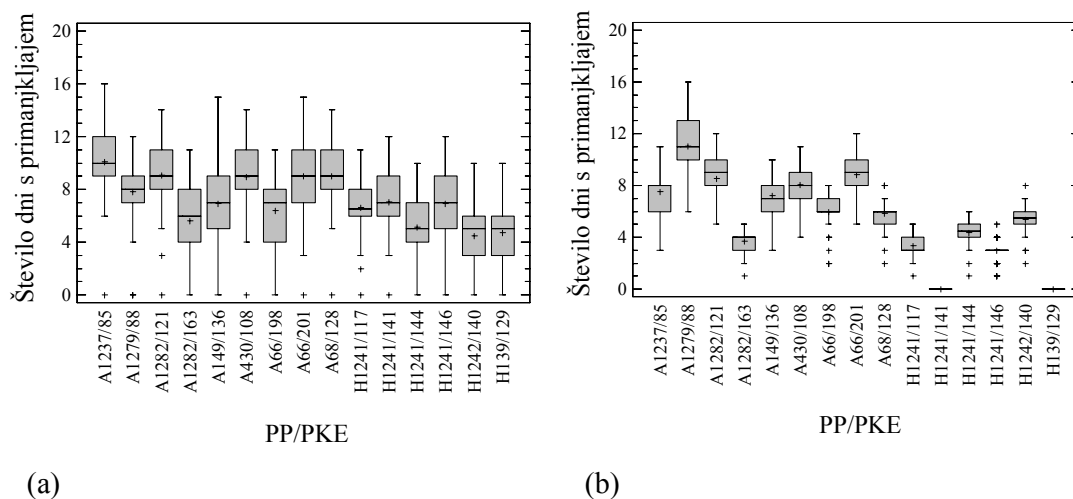


(a)

(b)

Slika 77: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode v tleh pri scenariju 6 glede na globino tal v obdobju 1961 – 1990, izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).

Figure 77: Box and whisker plot for water shortage in observed period 1961 – 1990 with respect to soil pedocartographic unit calculated with model SWAP (a) and model GLEAMS (b).



Slika 78: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 6 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).

Figure 78: Box and whisker plot for no. of days with water shortage for Scenario 6 with respect to soil profile and soil pedocartographic unit in period 1961 – 1990 calculated with model SWAP (a) and GLEAMS (b).

#### 4.4.7 Odziv na scenarije klimatskih sprememb med izbranimi profili

Na opazovanih profilih iz oddelka avtomorfni tal se je pri modelu SWAP primanjkljaj vode pri scenariju 1 in 2 (1,5°C) pri evtričnih rjavih tleh na aluviju z apnenim gruščem povečal za 20 %, pri evtričnih rjavih tleh na flišu od 15 – 20 % ter pri evtričnih rjavih tleh na produ in pesku za 20 %. Sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ).

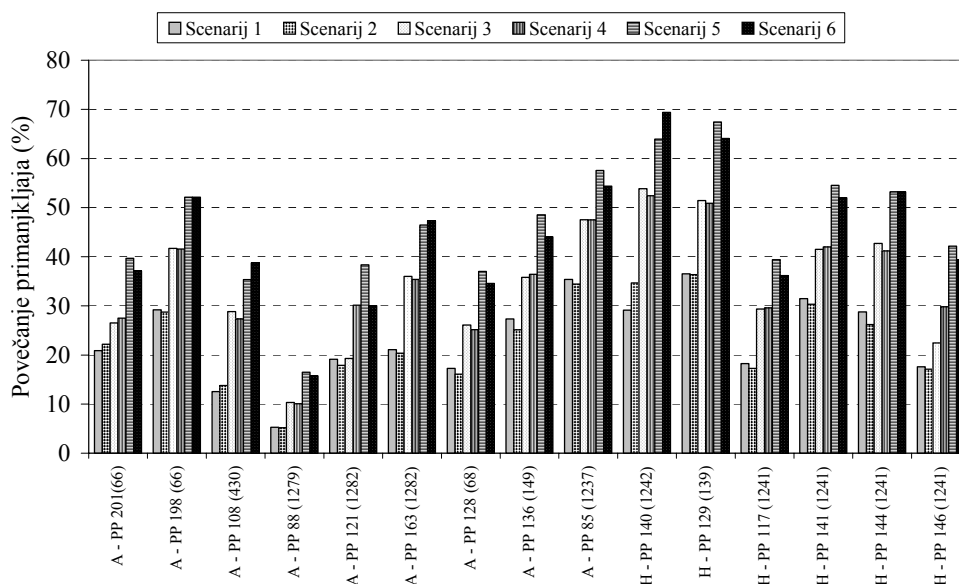
Ob spremembi temperature zraka za 3°C pri scenariju 3 in 4 se je primanjkljaj vode povečal za 40 – 45 %, sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ).

Ob spremembi temperature zraka za 4,5°C pri scenariju 5 in 6 se je primanjkljaj vode povečal za 50 – 70 %. Pri tej spremembi temperature zraka je imela sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh večji vpliv ( $\Delta \pm 5\%$ ).

Izbrani PP iz oddelka hidromorfni tal so se v primerjavi s tistimi iz oddelka avtomorfni tal izkazali za bolj občutljive na napovedano povečanje temperature zraka. Na opazovanih PP hidromorfni tal se je pri modelu SWAP primanjkljaj vode povečal pri scenariju 1 in 2 (1,5°C) za 25 – 35 %, sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ).

Ob spremembi temperature zraka za 3°C pri scenariju 3 in 4 se je primanjkljaj vode na hidromorfni tleh povečal za 40 – 45 %, sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ).

Ob spremembi temperature zraka za 4,5°C pri scenariju 5 in 6 se je primanjkljaj vode na hidromorfni tleh povečal za 50 – 70 %. Pri tej spremembi temperature je imela sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh večji vpliv ( $\Delta \pm 5\%$ ).



Slika 79: Povečanje primanjkljaja vode izbranih profilov tal za model SWAP.

Figure 79: Water shortage for the soil profiles for model SWAP.

Na opazovanih profilih iz oddelka avtomorfni tal se je pri modelu GLEAMS primanjkljaj vode pri scenariju 1 in 2 (povečanje temperature zraka za 1,5°C) pri evtričnih rjavih tleh na aluviju z apnenim gruščem povečal za 10 – 16 %. Med posameznimi PKE ni bilo velikih razlik. Sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ).

Ob spremembi temperature zraka za 3°C pri scenariju 3 in 4 se je primanjkljaj vode povečal za 30 – 45 %, sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ).

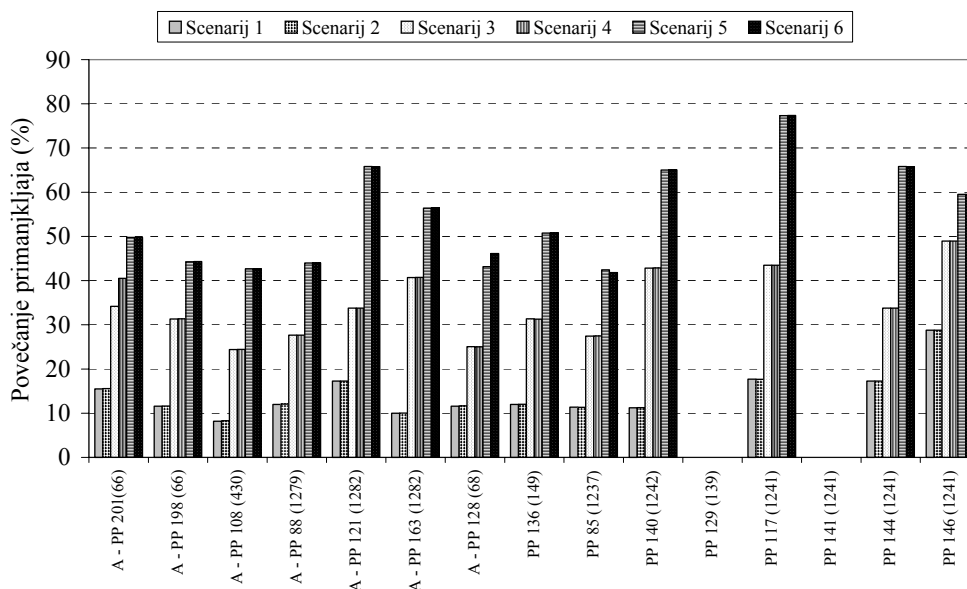
Ob spremembi temperature zraka za 4,5°C pri scenariju 5 in 6 se je primanjkljaj vode povečal za 50 – 70 %. Pri tej spremembi temperature zraka je imela sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh večji vpliv ( $\Delta \pm 5\%$ ).

Izbrani PP iz oddelka hidromorfni tal so se v primerjavi s tistimi iz oddelka avtomorfni tal izkazali za bolj razgibano občutljive na napovedano povečanje temperature zraka. Na opazovanih PP hidromorfni tal se je pri modelu GLEAMS primanjkljaj vode povečal pri scenariju 1 in 2 (povečanje temperature zraka za 1,5°C) za 0 – 18 %. Kjer model ni napovedal primanjkljaja pri referenčnem nizu podatkov (PP 129/ PKE 139 ter PP 141/ PKE 1241), se situacija tudi ob uporabljenih scenarijih ni spremenila. Največjo odzivnost na scenarija 1 in 2 (povečanje temperature zraka za 1,5°C) je pokazal profil 117.

Sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ).

Ob spremembi temperature zraka za  $3^{\circ}\text{C}$  pri scenariju 3 in 4 se je primanjkljaj vode na hidromorfni tleh povečal za 31 % (PP 144) oz. 42 % (PP 117, 146, 140), sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ).

Ob spremembi temperature zraka za  $4,5^{\circ}\text{C}$  pri scenariju 5 in 6 se je primanjkljaj vode na hidromorfni tleh povečal za 57 – 77 %. Pri tej spremembi temperature je imela sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh večji vpliv ( $\Delta \pm 5\%$ ).



Slika 80: Povečanje primanjkljaja vode izbranih profilov tal za model GLEAMS.

Figure 80: Water shortage for the soil profiles for model GLEAMS.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Pri reševanju naravnih procesov se poslužujemo fizičnih in analognih modelov, meritev na terenu ter matematičnih modelov. Slabost fizičnih modelov so dolgotrajnost in težava pri pridobivanju intaktnega vzorca ter kot posledica tega veliki stroški. Enako je z analognimi modeli, kjer poskušamo naravne procese nadomestiti s procesi, ki imajo enake učinke kot naravni (Čenčur – Curk, 2002). Numerični simulacijski modeli toka vode in prenosa snovi v nenasičenih tleh so pomembna orodja za okoljske raziskave. Mnoga nerešena vprašanja, ki zadevajo prenos snovi in tok vode blizu površine tal, so zaradi heterogenosti tal, nelinearnosti fizikalnih lastnosti tal ter neizenačenega odvzema vode s strani korenin in hitrega spreminjanja robnih pogojev lahko rešena zgolj numerično (Li in sod., 2001).

Za račun vodne bilance in vpliva obdobj s primanjkljajem vode v tleh na kmetijsko pridelavo in potrebe po namakanju smo uporabili 2D numerični model SWAP (Soil – Water – Atmosphere – Plant), ki omogoča večletno simulacijo medsebojnih vplivov znotraj sistema tla – voda – rastlina – atmosfera (Van Dam in sod., 1997) ter model GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems), ki omogoča vrednotenje zapletenih medsebojnih vplivov med talnimi horizonti, podnebnimi dejavniki in hranili (Knisel in sod., 1993). Potrebe po namakanju breskev in nektarin v Vipavski dolini smo določili ob uporabi meteoroloških podatkov, meritvah vsebnosti vode v tleh in podatkov o nekaterih fizikalnih lastnostih talnih profilov ter primerjalno preverili primernost izbranih računalniških modelov za oceno.

Za oblikovanje vhodnih datotek in opis hidravličnih lastnosti tal je bila potrebna uporaba modelov za izračun gostote tal in hidravličnih lastnosti tal. Atributni podatki pedološke karte imajo podatke o globini in teksturni klasifikaciji posameznih horizontov ter vsebnosti organske snovi (CPVO, 2002).

Za izračun gostote tal je bilo potrebno uporabiti Saxtonov model (Saxton in sod., 1986), ki je bil preizkušen za slovenska tla (Ruprecht, 1999). Za izračun hidravličnih lastnosti tal ter značilnih točk na desorpcijski krivulji, katere smo potrebovali kot vhodne podatke v modela pa Mualem – Van Genuchtenov analitični model za izračun krivulje  $h - \theta - K$ . Meritve hidravličnih lastnosti tal so zamudne in drage, zato so bili razviti številni modeli za izračun le-teh na osnovi nekaterih ostalih pedoloških podatkov (Van Genuchten in sod., 1991; Woesten in sod., 2001). Model SWAP nudi izbiro med tabeliranimi Star in Hypres vrstami (Woesten in sod., 1999) ter analitičnimi pedotransfer funkcijami (Mualem in Van Genuchten, 1994).

Primerjava rezultatov meritev pF vrednosti za izbrane točke (pF 2,3, pF 2,6, pF 3,5 in pF 4,2) za tla v Sadjarskem poskusnem nasadu Bilje z izračunom PTF oz. tabeliranih Hypres in Star vrst za meljasto glinasta tla (Preglednica 18) je pokazala, da je za opis hidravličnih lastnosti izbranih tal najbolj primerna uporaba analitičnih pedotransfer funkcij (Slike 11 – 14).

Z matematičnimi modeli lahko zmanjšamo število meritev na nekem območju tako, da opravimo meritve le v značilnih točkah, ki služijo za verifikacijo in umerjanje modela. Šele ko je model umerjen in verificiran, ga lahko uporabljamo za napovedovanje procesov (Rajar, 1997). Pri kalibraciji modela GLEAMS se je izkazalo, da model ob upoštevanju vrednosti  $LAI$  (4/7/6/6/6) po posameznih fazah razvoja, kot jih najdemo v literaturi (Faust, 1989), izračuna izrazito višje vrednosti  $ET$  (20 mm/dan), kot jih je najti v literaturi (do 5 mm/dan) (Natalie in sod., 1984; Faust, 1989; Girona in sod., 2002). Zato smo vrednost  $LAI$  umerili na  $ET_{\text{breskev}}$ , katero smo izračunali s koeficientom rastline  $k_c$  za obdobje april – avgust (Natalie in sod., 1984) in  $ET_0$ . Ustrezno vrednost  $ET_{\text{breskev}}$  za obdobje april – avgust smo dobili ob polovični vrednosti  $LAI$  iz literature: 2/3,5/3/3/3 (Slika 25).

Za preveritev, kako model izračuna vsebnost vode v tleh, smo za primerjavo uporabili gravimetrične meritve vsebnosti vode v tleh poskusnega nasada jablan v Ljubljani (ARSO, 2002). Kalibracija modelov SWAP in GLEAMS je pokazala, da je SWAP občutljiv na globino korenin in globino talnega profila. Kljub temu, da SWAP omogoča dober in na prvi pogled fleksibilen opis porazdelitve korenin v profilu s pomočjo funkcije gostote korenin, so rezultati kalibracije pokazali, da je najvplivnejši dejavnik pri odvzemu vode globina korenin. Linearna korelacija gravimetričnih meritev in rezultatov modela SWAP za vsebnost vode v meljasto ilovnatih tleh v nasadu jablan je dala dobre rezultate za leti kalibracije 1995 ( $r^2$  0,73) ter 1996 ( $r^2$  0,66) (Slika 18). Linearna korelacija meritev in simuliranih vrednosti pri modelu GLEAMS da zelo slabe rezultate za leti kalibracije ( $r^2$  0,28 in 0,42, slika 19). Rezultat lahko razložimo s tem, da je model GLEAMS namenjen oceni relativnih razlik in ne absolutnih vrednosti. Uporabnost modela GLEAMS kot orodja za oceno relativnih razlik različne obdelave tal sta potrdil tudi Knisel in Turtuola, 2000.

Spreminjali smo parametre vhodne datoteke za opis talnega profila, da bi določili občutljivost na posamezne spremenljivke. Spreminjali smo globino profila tal, število razdelkov znotraj horizonta v talnem profilu ter maksimalno dovoljeno globino korenin. Število razdelkov znotraj horizonta je imelo vpliv na čas računanja, ni pa značilno vplivalo na rezultat vsebnosti vode v tleh ( $\Delta \pm 0,02$  vol. % vode). Najbolj občutljiv dejavnik pri modelu SWAP so parametri za opis fizikalnih lastnosti tal (Van Dam in Feddes, 2000), na izračun vsebnosti vode v tleh pa sta najbolj vplivali globina tal in globina korenin.

Z že umerjenim modelom SWAP smo simulirali vodno bilanco za tla v nasadu breskev in nektarin v sadjarskem poskusnem centru Bilje v Vipavski dolini za leto 2002. Validacija modelov na neodvisnem nizu podatkov, ki so bili izmerjeni za potrebe naloge v Vipavski dolini, je pokazala, da je SWAP zelo natančno prikazal variabilnost vsebnosti vode v talnem profilu nasada breskev v Biljah, v Vipavski dolini v poletnem obdobju (4.7.2002 – 18.9.2002). Meritve so potekale v profilu na razmaku 10 cm do globine 60 cm. Ujemanje variabilnosti vsebnosti vode v opazovanem obdobju je model SWAP prikazal zadovoljivo v vseh merjenih plasteh profila znotraj nasada breskev (Slike 20 – 25). V globjih plasteh (20, 30, 40, 50 in 60 cm) je prišlo do manjšega odstopanja – napovedi višjih vrednosti vsebnosti vode od meritev v tleh v suhem obdobju (prva polovica opazovanega obdobja) ter do napovedi manjših vrednosti vode od meritev v tleh v mokrem obdobju (druga

polovica opazovanega obdobja). Odstopanja posameznih meritev od napovedi so bila v razponu  $\pm 3$  volumskih % vlage.

Pri namakanju naj bi bila v enem obroku oz. zalivanju dodana tolikšna količina vode, kolikor jo tla lahko zadržijo do globine, kamor sega glavna masa korenin. Z modelom SWAP je za določitev optimalne izrabe vode pri namakanju moč uporabiti različne pristope (Sarwar in sod., 2001). Model predvideva možnost začetka namakanja z že določenimi – nespremenljivimi datumi namakanja ali pa uravnava obroke namakanja glede na dinamično funkcijo stopnje razvoja rasti. Za oceno potreb po namakanju smo izbrali dovoljen primanjkljaj lahko dostopne vode v območju korenin, in sicer 50% poljske kapacitete. Model SWAP namakanje aktivira, kadarkoli je primanjkljaj vode v območju korenin večji kot frakcija  $f_2$  lahko dostopne količine vode v tleh ( $f_2=0,50$ ). Enak kriterij za izračun namakanja smo uporabili tudi v modelu GLEAMS.

V obravnavanem obdobju 1961 – 1990 so rezultati izračuna primanjkljaja vode v tleh z modeloma SWAP in GLEAMS pokazali, da je bil primanjkljaj na hidromorfni tleh v povprečju nižji kot na avtomorfni tleh.

Model SWAP izračuna nižji primanjkljaj pri PP 198/ PKE 66 v primerjavi z modelom GLEAMS, v letu 1975 pa primanjkljaja ne izračuna (Slika 27). Pri PP 201/ PKE 66 pa je izračun primanjkljaja skladen (Slika 28). Povprečni primanjkljaj za evtrična rjava tla na ledenodobnem produ in pesku v obdobju 1961 – 1990 je 162 mm (0 – 343 mm) za PP 198/ PKE 66 oz. 263 mm (79 mm – 450 mm) za PP 201/ PKE 66 (Prilogi F in H).

Povprečni primanjkljaj v obdobju 1961 – 1990 za evtrična rjava tla na flišu, antropogena, je bil 244 mm (73 mm – 447 mm) za PP 108/ PKE 430 ter 276 mm (107 mm – 454 mm) za PP 88/ PKE 1279 (Prilogi F in H). Izračun modelov SWAP in GLEAMS je skladen (Sliki 29 in 30).

Primanjkljaj vode za evtrična rjava tla na eocenskem flišu v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP, je bil 300 mm (106 mm – 503 mm) oz. 295 mm (184 mm – 402 mm), izračunan z modelom GLEAMS za PP 121/ PKE 1282. Primanjkljaj vode za PP 163/ PKE 1282 je bil 147 mm (0 – 335 mm), izračunan z modelom SWAP, oz. 284 mm (0 – 464 mm), izračunan z modelom GLEAMS (Sliki 31 in 32, prilogi F in H).

Izračun primanjkljaja vode v tleh je bil pri PP 121/ PKE 1282 med modeloma skladen. Pri PP 163/ PKE 1282 pa so bili rezultati izračuna z modelom GLEAMS izrazito višji, medtem ko model SWAP dveh letih primanjkljaja ne napove (1965 in 1975). Model GLEAMS primanjkljaja ne napove za leto 1984 (Sliki 31 in 32).

Povprečen primanjkljaj na evtričnih rjavih tleh na aluviju z apnenim gruščem PP 128 /PKE 68 je bil v letih 1961 – 1990 287 mm (111 mm – 465 mm), izračunan z modelom SWAP, oz. 290 mm (124 mm – 452 mm), izračunan z modelom GLEAMS (Slika 33, prilogi F in H).

Povprečen primanjkljaj za evtrična rjava tla na flišu z apnenim gruščem PP 136/ PKE 149 v letih 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP, je bil 200 mm (0 – 378 mm) in 321 mm



(111 mm – 514 mm) izračunan z modelom GLEAMS (Slika 34, prilogi F in H). Izračun pri modelu GLEAMS je višji od izračuna modela SWAP (Slika 34).

Povprečen primanjkljaj za distrična tla PP 85/ PKE 1237 v letih 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP, je bil 276 mm (75 mm – 450 mm) oz. 321 mm (107 mm – 500 mm) izračunan z modelom GLEAMS (Slika 35, prilogi F in H).

Povprečni primanjkljaj vode za hipoglejena tla (PP 140/ PKE 1242), izračunan z modelom SWAP, je bil v obdobju 1961 – 1990 108 mm (0 – 232 mm) oz. 293 mm (72 – 443) izračunan z modelom GLEAMS. Primerjava rezultatov izračuna primanjkljaja za obravnavano obdobje 1961 – 1990 med modeloma SWAP in GLEAMS pokaže, da so rezultati pri modelu GLEAMS višji (Slika 36, prilogi G in I).

Povprečen primanjkljaj vode za obrečna rjava tla PP 129/ PKE 139, izračunan z modelom SWAP je bil 118 mm (0 – 278 mm), medtem ko model GLEAMS primanjkljaja ne izračuna (Slika 37, prilogi G in I).

Povprečen primanjkljaj vode za obrečna rjava tla PP 141/ PKE 1241, izračunan z modelom SWAP je bil 225 mm (75 mm – 382 mm), medtem ko model GLEAMS primanjkljaja ne izračuna (Slika 39, prilogi G in I).

Povprečen primanjkljaj vode za obrečna rjava tla PP 144/ PKE 1241, izračunan z modelom SWAP je bil 143 mm (0 – 269 mm) oz. 266 mm (85 mm – 436 mm) izračunan z modelom GLEAMS (slika 40, prilogi G in I).

Povprečni primanjkljaj za obrečna rjava tla PP 146/ PKE 1241 v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP, je bil 229 mm (88 mm – 396 mm) oz. 195 mm (0 – 391 mm) izračunan z modelom GLEAMS. Model GLEAMS ni izračunal primanjkljaja v letih 1961, 1965, 1975, 1980 in 1984 (slika 41, prilogi G in I).

Primerjava globine obravnavanih pedoloških profilov in števila dni, ko se je pojavil primanjkljaj vode v tleh v obravnavanem obdobju, je pokazala najmanjši pojav primanjkljaja v globokih tleh (Slika 42). Primanjkljaj vode v tleh se pri izračunu z modelom SWAP na avtomorfnih tleh pojavi v povprečju 5 do 11 dni na leto, največkrat na PP 85/ PKE 1237. Na hidromorfnih tleh se pojavi v povprečju od 3 do 5 dni na leto (od 0 do največ 9 dni na leto). Primanjkljaj vode v tleh se pri izračunu z modelom GLEAMS na avtomorfnih tleh pojavi v povprečju 2 do 9 dni na leto, največkrat na PP 85/ PKE 1237 (Slika 44). Na hidromorfnih tleh se pojavi v povprečju od 0 do 4 dni na leto (od 0 do največ 6 dni na leto). Izrazito je odstopanje v številu dni za globino 65 cm. To lahko razložimo s tem, da je omenjena globina opis profila PP 85/ PKE 1237, lahkih distričnih tal, katerih teksturni razred je peščena ilovica. Takšna tla imajo manjše zadrževalne sposobnosti in primanjkljaj vode v tleh se je pojavil večkrat, čeravno ne količinsko.

Pri izračunih *ET* se pokaže vpliv različne računske sheme, še posebej pri izračunu transpiracije (Slike 45 – 48). Model SWAP izračuna *ET* v dveh korakih, najprej *ET*, nato evaporacijo tal in transpiracijo posebej. Model SWAP izračuna dejansko *E* glede na razvoj rastline (En. 36). Vrednosti *E* tal pri modelu SWAP med različnimi globinami tal ne

odstopajo veliko, izjema je globina 58 cm pripadajočega PP 121/ PKE 1282 (Slika 45a). Višje vrednosti pokažejo tudi globine 100, 110 in 120 cm (Slika 45a). Model GLEAMS dobljeno  $ET$  glede na funkcijo razvoja  $LAI$  razdeli na  $E$  tal in  $T$  (En. 43), rezultati z GLEAMSom izračunane  $E$  tal se med globinami talnih profilov ne razlikujejo (Slika 45b).

Rezultati izračuna transpiracije pri modelu SWAP so različni tako pri globinah talnih profilov kot tudi med PKE. Velike razlike med rezultati pri izračunu  $T$  pri modelu SWAP izražajo povezanost parametra  $T$  s hidravličnimi lastnostmi tal, kar so uporabili pri inverznem določanju hidravličnih lastnosti s pomočjo znanih členov vodne bilance tal (Jhorar in sod, 2002).

Vrednosti  $T$  pri modelu GLEAMS se med globinami talnih profilov oz. PKE ne razlikujejo, nekoliko nižje so pri globjih talnih profilih (110 in 120 cm), t.j. pripadnim rjavim obrečnim tlem (PKE 139 in PKE 1241) (Slike 46 – 47).

Metoda spremembe trenutnega stanja se uporablja pogosto (Arnell, 1999; Savabi in Stockle, 2001), izidi pa so obravnavani kot občutljivostna analiza pod izbranim podnebjem in ne kot napoved (Xu, 1999). Za spremembo podatkov je bil izbran razkorak  $1,5^{\circ}\text{C}$ , pri čemer smo povečali osnoven niz podatkov za dnevno temperaturo zraka za  $1,5^{\circ}\text{C}$ ,  $3^{\circ}\text{C}$  in  $4,5^{\circ}\text{C}$ . Za padavine so upošteevane napovedane spremembe v sezoni. Uporabljen je bil scenarij, kjer so bile dnevne količine padavin zmanjšane za 10% preko celega leta ter mešan scenarij, kjer so bile padavine v obdobju april – september zmanjšane za 10 %, v obdobju oktober – marec pa povečane za 10% (Arnell, 1999; IPCC, 2001).

Izračun z modeloma SWAP in GLEAMS je pokazal, da ima povišanje temperature zraka bistveno večji vpliv na izračun potreb po namakanju kot zmanjšanje padavin. Pri uporabi metode spremembe trenutnega stanja sta Savali in Stockle, 2001 z modelom WEPP (Water Erosion Prediction Program) ob povečanju temperature zraka za  $1,6^{\circ}\text{C}$  dobila 5% zmanjšanje vsebnosti vode v tleh, ob povečanju temperature zraka za  $2,8^{\circ}\text{C}$  pa zmanjšanje vsebnosti vode za – 10%.

Izračun z modeloma SWAP in GLEAMS so pokazali, da bo napovedano povečanje temperature zraka za  $1,5^{\circ}\text{C}$  ter 10% zmanjšanje padavin vplivalo na povečan primanjkljaj v tleh, in sicer pri opazovanih PP avtomorfni tal za 0 – 79 mm (model SWAP) oz. 8 – 23 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfni tal se je primanjkljaj pri scenariju 1 povečal za 21 – 123 mm (model SWAP) oz. 0 – 31 mm (model GLEAMS) (Sliki 54 in 55).

Povečanje temperature zraka za  $1,5^{\circ}\text{C}$  in zmanjšanje padavin za 10% je imelo majhen vpliv na pogostost pojava pomanjkanja vode v tleh. Pri modelu SWAP se je primanjkljaj pojavil 0 – 2 krat bolj pogosto tako pri avtomorfni kot pri hidromorfni tleh, pri modelu GLEAMS pa od 0 do 1 krat bolj pogosto (Sliki 56 in 57).

Izračuni za scenarij 2 z modeloma SWAP in GLEAMS, kjer smo povečali temperaturo zraka za  $1,5^{\circ}\text{C}$  in zmanjšali padavine v obdobju april – september za 10 %, v obdobju oktober – marec pa povečali za 10%, so pokazali, da se bo primanjkljaj v tleh pri

opazovanih PP avtomorfnih tal povečal za 24 – 77 mm (model SWAP) oz. 8 – 23 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je primanjkljaj pri scenariju 2 povečal za 28 – 122 mm (model SWAP) oz. 0 – 31 mm (model GLEAMS) (Sliki 58 in 59). Pri scenariju 2 se je pri modelu SWAP primanjkljaj pojavil 0 – 2 krat bolj pogosto kot pri baznem nizu tako pri avtomorfnih kot pri hidromorfnih tleh, pri modelu GLEAMS pa od 0 do 1 krat bolj pogosto (Sliki 60 in 61).

Izračuni za scenarij 3 z modeloma SWAP in GLEAMS so pokazali, da bo napovedano povečanje temperature zraka za 3°C ter 10% zmanjšanje padavin vplivalo na povečan primanjkljaj v tleh, in sicer pri opazovanih PP avtomorfnih tal za 15 – 105 mm (model SWAP) oz. 47 – 77 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je primanjkljaj pri scenariju 3 povečal za 44 – 124 mm (model SWAP) oz. 0 – 73 mm (model GLEAMS) (Sliki 62 in 63). Pri scenariju 3 se je pri modelu SWAP primanjkljaj pojavil 1 – 2 krat bolj pogosto kot pri baznem nizu tako pri avtomorfnih kot pri hidromorfnih tleh, pri modelu GLEAMS pa do 1 krat bolj pogosto (Sliki 64 in 65).

Izračuni pri scenariju 4 z modeloma SWAP in GLEAMS, kjer smo povečali temperaturo zraka 3°C, zmanjšali padavine v obdobju april – september za 10 % in jih v obdobju oktober – marec povečali za 10%, so pokazali, da se bo primanjkljaj v tleh pri opazovanih PP avtomorfnih tal povečal za 12 – 65 mm (105) mm (model SWAP) oz. 49 – 77 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je primanjkljaj pri scenariju 4 povečal za 43 – 149 mm (model SWAP) oz. 53 – 74 mm (model GLEAMS) (Sliki 66 in 67).

Pri scenariju 5 so izračuni z modeloma SWAP in GLEAMS pokazali, da bo napovedano povečanje temperature zraka za 4,5°C ter 10% zmanjšanje padavin vplivalo na povečan primanjkljaj v tleh, in sicer pri opazovanih PP avtomorfnih tal za 38 – 96 mm (model SWAP) oz. 89 – 145 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je primanjkljaj pri scenariju 1 povečal za 54 – 175 mm (model SWAP) oz. 0 – 130 mm (model GLEAMS) (Sliki 70 in 71).

Izračuni z modeloma SWAP in GLEAMS so pri scenariju 6, kjer smo povečali temperaturo zraka za +4,5°C in zmanjšali padavine v obdobju april – september za 10 %, povečali v obdobju oktober – marec za 10%, pokazali, da se bo primanjkljaj v tleh pri opazovanih PP avtomorfnih tal povečal za 31– 87 mm (model SWAP) oz. 88 – 144 mm (model GLEAMS). Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je primanjkljaj pri scenariju 1 povečal za 55 – 168 mm (model SWAP) oz. 0 – 130 mm (model GLEAMS) (Sliki 74 in 75).

Če povzamemo, se je na opazovanih profilih iz oddelka avtomorfnih tal pri modelu SWAP primanjkljaj vode pri scenariju 1 in 2 ( $\Delta T +1,5^{\circ}\text{C}$ ) pri evtričnih rjavih tleh na aluviju z apnenim gruščem povečal za 20 %, pri evtričnih rjavih tleh na flišu od 15 – 20 % ter pri evtričnih rjavih tleh na produ in pesku za 20 %. Sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ). Ob spremembi temperature zraka za 3°C pri scenariju 3 in 4 se je primanjkljaj vode povečal za 40 – 45 %, sprememba

padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ). Ob spremembi temperature zraka za  $4,5^\circ\text{C}$  pri scenariju 5 in 6 se je primanjkljaj vode povečal za 50 – 70 %. Pri tej spremembi temperature zraka je imela sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh večji vpliv ( $\Delta \pm 5\%$ ).

Izbrani PP iz oddelka hidromorfnih tal so se v primerjavi s tistimi iz oddelka avtomorfnih tal izkazali za bolj občutljive na povečanje temperature zraka. Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je pri modelu SWAP primanjkljaj vode povečal pri scenariju 1 in 2 ( $1,5^\circ\text{C}$ ) za 25 – 35 %, sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ). Ob spremembi temperature zraka za  $3^\circ\text{C}$  pri scenariju 3 in 4 se je primanjkljaj vode na hidromorfnih tleh povečal za 40 – 45 %, sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ). Ob spremembi temperature zraka za  $4,5^\circ\text{C}$  pri scenariju 5 in 6 se je primanjkljaj vode na hidromorfnih tleh povečal za 50 – 70 %. Pri tej spremembi temperature zraka je imela sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh večji vpliv ( $\Delta \pm 5\%$ ).

Na opazovanih profilih iz oddelka avtomorfnih tal se je pri modelu GLEAMS primanjkljaj vode pri scenariju 1 in 2 ( $1,5^\circ\text{C}$ ) pri evtričnih rjavih tleh na aluviju z apnenim gruščem povečal za 10 – 16 %. Med posameznimi PKE ni bilo velikih razlik. Sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ). Ob spremembi temperature zraka za  $3^\circ\text{C}$  pri scenariju 3 in 4 se je primanjkljaj vode povečal za 30 – 45 %, sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ). Ob spremembi temperature zraka za  $4,5^\circ\text{C}$  pri scenariju 5 in 6 se je primanjkljaj vode povečal za 50 – 70 %. Pri tej spremembi temperature zraka je imela sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh večji vpliv ( $\Delta \pm 5\%$ ).

Izbrani PP iz oddelka hidromorfnih tal so se v primerjavi s tistimi iz oddelka avtomorfnih tal izkazali za bolj razgibano občutljive na povečanje temperature zraka. Na opazovanih PP hidromorfnih tal se je pri modelu GLEAMS primanjkljaj vode povečal pri scenariju 1 in 2 ( $1,5^\circ\text{C}$ ) za 0 – 18 %. Kjer model ni napovedal primanjkljaja pri referenčnem nizu podatkov (PP 129/ PKE 139 ter PP 141/ PKE 1241), se situacija tudi ob uporabljenih scenarijih ni spremenila. Največjo odzivnost na scenarija 1 in 2 je pokazal profil 117. Sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ).

Ob napovedani spremembi temperature zraka za  $3^\circ\text{C}$  pri scenariju 3 in 4 se je primanjkljaj vode na hidromorfnih tleh povečal za 31 (PP 144) oz. 42 % (PP 117, 146, 140), sprememba padavin pa na povečanje primanjkljaja vode v tleh ni imela velikega vpliva ( $\Delta \pm 1\%$ ). Ob napovedani spremembi temperature zraka za  $4,5^\circ\text{C}$  pri scenariju 5 in 6 se je primanjkljaj vode na hidromorfnih tleh povečal za 57 – 77 %. Pri tej spremembi temperature zraka je imela sprememba padavin na povečanje primanjkljaja vode v tleh večji vpliv ( $\Delta \pm 5\%$ ).

## 5.2 SKLEPI

Na osnovi rezultatov raziskovalnega dela smo potrdili delovno hipotezo, da je s pomočjo izračuna vodne bilance mogoče prostorsko določiti pomanjkanje vode v tleh ter potrebe po namakanju.

Primerjava modelov GLEAMS in SWAP je slednjega potrdila kot boljšo metodo za oceno, kako in do kakšne mere se bodo klimatske spremembe odražale na vodni bilanci tal, saj omogoča natančnejšo določitev začetnih in robnih pogojev ter izračun hidravličnih lastnosti tal.

Za izračun hidravličnih lastnosti tal na podlagi podatkov iz pedološke karte Slovenije je izmed modelov za izračunavanje hidravličnih lastnosti tal Star vrste, HYPRES vrste in pedotransfer funkcij po Mualem – Van Genuchtenu slednji najbolj primeren.

SWAP je precizno in močno orodje za oceno elementov vodne bilance tal na nivoju prereza opazovanega oz. proučevanega profila od površine tal do stika s podtalnico. Model je občutljiv na parametre za opis fizikalnih lastnosti tal ter globino korenin. Uporaba modela slabi potreba po velikem številu vhodnih podatkov ter zahtevnost pri poznavanju mehanizmov numeričnih izračunov in opisov procesov toka vode in interakcije med posameznimi segmenti opisnih segmentov. Kot tak je uporaben za raziskovalne namene, težko pa je pričakovati širšo uporabo v strokovne namene brez manjših izboljšav. Je zelo uporaben za določevanje potreb po namakanju in hkrati omogoča tudi optimizacijo obrokov namakanja.

GLEAMS je manj natančen pri dnevni vrednostih, kar se je pokazalo pri kalibraciji na dnevne vrednosti vsebnosti vode v tleh. Model GLEAMS je ob uporabi indeksa listne površine za izbrano gojitveno obliko ocenil za 100% večjo evapotranspiracijo kot je evapotranspiracija breskev, izračunana iz referenčne evapotranspiracije in koeficienta breskev. Celostno gledano je model GLEAMS enostaven za uporabo, kar je njegova glavna prednost.

V obravnavanem obdobju 1961 – 1990 so rezultati izračuna primanjkljaja vode v tleh v Vipavskih dolini za breskve in nektarine z modeloma SWAP in GLEAMS pokazali, da je bil primanjkljaj na hidromorfni tleh v povprečju nižji pri modelu SWAP (108 – 240 mm/leto) in pri modelu GLEAMS (0 – 293 mm/leto) kot na avtomorfni tleh, kjer je bil pri modelu SWAP primanjkljaj 147 – 300 mm/leto in pri modelu GLEAMS 284 – 331 mm/leto.

Na izbranih pedoloških profilih tal oddelka hidromorfni tal Vipavske doline se ob obravnavanih scenarijih klimatskih sprememb kaže večje povečanje potreb po namakanju breskev in nektarin (0 – 77%) kot na pedoloških profilih oddelka avtomorfni tal (15 – 45%).

Izračun z modeloma SWAP in GLEAMS je pokazal, da ima povečanje temperature zraka bistveno večji vpliv na izračun potreb po namakanju kot zmanjšanje padavin.

## 6 POVZETEK

### 6.1 POVZETEK

Voda je osnovni dejavnik v kmetijstvu in igra poleg lastnosti tal odločilno vlogo v rasti in razvoju rastlin. Trenda temperature zraka in padavin za Slovenijo kažeta na povečanje temperature zraka in zmanjšanje padavin v vegetacijskem obdobju, kar bo pri nas najbolj prizadelo kmetijstvo. S kmetijskega vidika bodo posledice klimatskih sprememb opazne na vodni bilanci tal. Izrazita sušna obdobja v zadnjih letih so najbolj občutile kmetijske rastline na lahkih propustnih tleh. Ob klimatskih spremembah pa lahko pričakujemo sušo tudi na tleh, ki sicer rastlinam nudijo optimalno oskrbo z vodo.

Za oceno vpliva klimatskih sprememb na potrebe po namakanju breskev in nektarin smo izdelali klimatske scenarije, ki slonijo na modelih splošne cirkulacije. Študija na osnovi 100 letnega niza mesečnih podatkov je pokazala, da se bo v Sloveniji temperatura zvišala zraka za min 2,3° C do največ 5,6° C ter v povprečju za 4,5° C. Uveljavljena metodologija za oceno vpliva klimatskih sprememb je uporaba modela na sistemu z osnovnim nizom podatkov za 30 let (1961 – 1990) in spremenjenim nizom klimatskih vhodnih parametrov ter primerjava izhodnih rezultatov modela. Metoda spremembe trenutnega stanja se uporablja pogosto, rezultati pa so obravnavani kot občutljivostna analiza pod izbranim podnebjem in ne kot napoved. Za spremembo temperaturnih podatkov je bil izbran razkorak 1,5°C, pri čemer smo povečali dnevno temperaturo zraka za 1,5°C, 3°C in 4,5°C. Za padavine so upošteevane napovedane spremembe v sezoni. Uporabljen je bil scenarij, kjer so bile dnevne količine padavin zmanjšane za 10% preko celega leta ter scenarij, kjer so bile padavine v obdobju april – september zmanjšane za 10 %, v obdobju oktober – marec pa povečane za 10%.

Za izračun členov vodne bilance smo uporabili dva računalniška modela SWAP ter GLEAMS. Model SWAP sloni na izračunu 1-D Richardove enačbe za izračun toka vode v talnem matriksu. Zaradi fizikalne osnove Richardova enačba omogoča rabo podatkov baz hidravličnih funkcij. Model SWAP ima vgrajen modul izračunavanja hidravličnih lastnosti tal s tabeliranimi Star ali Hypres vrstami ter analitične pedotransfer funkcije. GLEAMS spada k modelom, ki temeljijo na izračunu vodne bilance tal. Model razdeli padavine v odtok in infiltracijo.

Vipavska dolina ima vlažno, zmerno toplo klimo, kjer so padavine enakomerno porazdeljene skozi vse leto in to z dvema maksimuma. Kot vhodne podatke v modela smo uporabili dnevne meteorološke podatke za Vipavsko dolino v obdobju 1961 – 1990 za klasično meteorološko postajo Bilje (115 m nmv). Padavine v vegetacijskem obdobju imajo v obravnavanem obdobju 1961 – 1990 dva vrhova, in sicer v letih 1965 –1968 ter malo manjšega v letih 1974 – 1978. V zadnji dekadi obravnavanega osnovnega niza podatkov izstopa sušno obdobje v letih 1986 ter 1988.

Iz pedološke karte Slovenije v merilu 1 : 25000 (CPVO, 2002) smo izbrali pedokartografske enote (PKE), v okviru te PSE ter pedološki profil (PP). Pri izbiri PP smo

upoštevali naslednje kriterije: (1) profil se nahaja na ravninskem delu doline (zaradi primerljivosti rezultatov med modeloma), (2) profil je na pedosistemski enoti, ki je tipičen predstavnik tlotvornih procesov v Vipavski dolini, (3) tla so primerna za pridelavo breskev in nektarin, (4) profil se nahaja v bližini parcel z nasadi breskev in nektarin oz. na področju, kjer je pridelava sadja intenzivna. Iz oddelka avtomorfni tal smo izbrali evtrična rjava tla na produ in pesku (PP 198, 201/ PKE 66), evtrična rjava tla na flišu, antropogena (PP 108/ PKE 430, PP 88/ PKE 1279) za evtrična rjava tla na eocenskem flišu, koluvialna tipična (PP 121, 163/ PKE 1282), evtrična rjava tla na aluviju (PP 128/ PKE 68) ter evtrična rjava, na flišu, z apnenim gruščem (PP 136 /PKE 149), distrična rjava tla (PP 85/ PKE 1237). Iz oddelka hidromorfni tal smo izbrali hipoglejna tla (PP 140/ PKE 1242) ter rjava obrečna tla (PP 129/ PKE 139; PP 117, 141, 144, 146/ PKE 1241).

Pri opisu rasti breskev in nektarin smo se odločili za opis najbolj pogoste gojitvene oblike breskev v Sloveniji vretena ter za vegetativno razmnožene podlage s plitvimi koreninami. Za simulacijo rasti rastline smo uporabili preprost model, ki razvojne faze izbrane rastline opiše z globino korenin, funkcijo razvoja *LAI* ter porazdelitvijo korenin v talnem profilu. Z globino korenin in funkcijo razvoja *LAI* smo opisali razvoj rastline tudi v modelu GLEAMS. Opisni parametri, ki so bili pri modelu SWAP uporabljeni, so bili *LAI*, koeficient pokritosti tal, globina in porazdelitev korenin v talnem profilu. Za izračun dejanske *ET* breskev smo uporabili koeficient učinkovitosti izrabe vode  $k_c$  za obdobje april – avgust.

Na osnovi rezultatov raziskovalnega dela smo potrdili delovno hipotezo, da je s pomočjo izračuna vodne bilance mogoče prostorsko določiti pomanjkanje vode v tleh ter potrebe po namakanju.

Primerjava modelov GLEAMS in SWAP je slednjega potrdila kot boljšo metodo za oceno, kako in do kakšne mere se bodo klimatske spremembe odražale na vodni bilanci tal, saj omogoča natančnejšo določitev začetnih in robnih pogojev ter izračun hidravličnih lastnosti tal. Za izračun hidravličnih lastnosti tal na podlagi podatkov iz pedološke karte Slovenije je izmed modelov za izračunavanje hidravličnih lastnosti tal Star vrste, HYPRES vrste in pedotransfer funkcij po Mualem – Van Genuchten slednji najbolj primeren.

SWAP je precizno in močno orodje za oceno elementov vodne bilance tal na nivoju prereza opazovanega oz. proučevanega profila od površine tal do stika s podtalnico. Model je občutljiv na parametre za opis fizikalnih lastnosti tal ter globino korenin. Uporabo modela slabi potreba po velikem številu vhodnih podatkov ter zahtevnost pri poznavanju mehanizmov numeričnih izračunov in opisov procesov toka vode in interakcije med posameznimi segmenti opisnih segmentov. Kot tak je uporaben za raziskovalne namene, težko pa je pričakovati širšo uporabo v strokovne namene brez manjših izboljšav. Je zelo uporaben za določevanje potreb po namakanju in hkrati omogoča tudi optimizacijo obrokov namakanja.

GLEAMS je manj natančen pri dnevni vrednostih, kar se je pokazalo pri kalibraciji na dnevne vrednosti vsebnosti vode v tleh. Model GLEAMS je ob uporabi indeksa listne

površine za izbrano gojitveno obliko ocenil za 100% večjo evapotranspiracijo kot je evapotranspiracija breskev izračunana iz referenčne evapotranspiracije in koeficienta breskev. Celostno gledano je model GLEAMS enostaven za uporabo, kar je njegova glavna prednost.

V obravnavanem obdobju 1961 – 1990 so rezultati izračuna primanjkljaja vode v tleh v Vipavskih dolini za breskve in nektarine z modeloma SWAP in GLEAMS pokazali, da je bil primanjkljaj na hidromorfni tleh v povprečju nižji pri modelu SWAP (108 – 240 mm/leto) in pri modelu GLEAMS (0 – 293 mm/leto) kot na avtomorfni tleh, kjer je bil pri modelu SWAP primanjkljaj 147 – 300 mm/leto, pri modelu GLEAMS pa 284 – 331 mm/leto.

Na izbranih pedoloških profilih tal oddelka hidromorfni tal Vipavske doline se ob obravnavanih scenarijih klimatskih sprememb kaže večje povečanje potreb po namakanju breskev in nektarin (0 – 77%) kot na pedoloških profilih oddelka avtomorfni tal (15 – 45%).

Izračun z modeloma SWAP in GLEAMS je pokazal, da ima povečanje temperature zraka bistveno večji vpliv na izračun potreb po namakanju kot zmanjšanje padavin.



## 6.2 SUMMARY

Water is basic element in agriculture, and along with the soil characteristics, it remains the essential for the growth and evolution of plants. Trends of air temperature and precipitation for Slovenia indicate the increase of the air temperature and reduction of precipitation during the vegetation period, which will have a substantial impact on rural economy in Slovenia. The impact of climate change will be substantial for soil the water balance. Distinctive drought periods in past years had great impact on rural plants in light soils. Climate change will most probably also result in drought in soils which otherwise provide optimal water supply for plants.

Climate scenarios made for the estimation of the impact of climate change are based on the general circulation models. A study based on a hundred year set of monthly data showed that in Slovenia temperature would increase at min. by 2.3° C, and. by 5.6° C at max. and by 4.5° C in average. Valid methodology for the estimate of the impact of climate change applies the model using a basic set of data for a thirty year period (1961-1990) and a changed set of climate input parameters on one hand, and, on the other, a comparison of output results of the model. Method of variation of current situation is frequently used, and the results are considered as a sensitivity analysis for the alternative climate rather than as prediction. The change of data was initiated by disparity of 1.5°C with the basic set of data for daily air temperature being increased by 1.5°C, 3°C and 4.5°C. Precipitation estimate took into consideration anticipated seasonal changes. Several scenarios were studied, the first one with daily precipitation quantities decreased by 10% throughout the whole year and the second one, i.e. mixed scenario with precipitation in the period April- September decreased by 10%, and in the period October-March increased by 10%.

Water balance in the cross section of the rooting depth is significant for the agriculture. Mathematical models enable smaller amount of measurements in a certain area by means of measurements carried out only in characteristic points serving for verification and calibration of the model. Combination of on site measurements and mathematical modelling proved to be an efficient method for understanding of processes in nature. Calculation of links of water balance was made by means of two computer models, i.e. the SWAP and GLEAMS models.

SWAP model is based on the calculation of 1-D Richard equation for the calculation of water current in the soil matrix. Due to its physical basis, the Richard equation enables the use of hydraulic functions database. Model SWAP has in-built model for the soil hydraulic characteristics calculation with tabled Star or Hypres series and analytical pedotransfer functions. GLEAMS belongs to the models based on the calculation of soil water balance. Model groups precipitation to outflow and infiltration.

In the Vipava valley with humid, fairly warm climate, precipitation are evenly distributed throughout the whole year, noting two maximums. Average air temperature of many years for the Vipava valley is between 11°C in 12.7 °C. The coldest month is January, with temperature from -0.4°C to 6°C, and the warmest month is July with temperature values from 20°C to 23°C. It is to be mentioned that daily meteorological data for the Vipava

valley in the period 1961-1990 for the conventional meteorological station Bilje (115 m above sea level) served as model's input data. Precipitation during the vegetation period in the considered period 1961-1990 indicated two maximums during 1965-1968 and another one, slightly smaller during 1974-1978. Last decade of the considered basic data set is marked by droughty period in 1986 and 1988.

Out of pedologic map of Slovenia in scale 1:25000 (CPVO, 2002), soil cartographic units were chosen and within the latter, the soil systematic unit and soil profiles (PP) were elaborated. Selection of PP met the following criteria: (1) profile on the flat part of the valley (in order to enable a comparison of results by the two models), (2) profile in soil systematic unit, a typical soil type representative s in the Vipava valley, (3) soil suitable for cultivation of peaches and nectarines, (4) profile in the vicinity of land with peaches and nectarines, in the area with intensive cultivation of fruits, resp. For Cambisols the selection encompassed Eutric Cambisol on glacial gravel and sand deposits (PP 198, 201/ PKE 66), Ari Eutric Cambisol on flysh (PP 108/ PKE 430, PP 88/ PKE 1279), Eutric Cambisol on flysh (PP 121, 163/ PKE 1282), Eutric Cambisol on alluvial deposits with limestone rubble (PP 128/ PKE 68) Eutric Cambisol on flysh with limestone rubble (PP 136 /PKE 149). Though Distric Cambisol on flysh is not typical for the Vipava valley, the sand clay texture classification could be found in PP 85 /PKE 1237, and as such, it was grouped among the selected and studied profiles. From the division of Fluvisols soil, the Epi Gleysols (PP 140/ PKE 1242) and Eutri Endogleyic Fluvisols were chosen (PP 129 / PKE 139; PP 117, 141, 144, 146 /PKE 1241).

Description of growth of peaches and nectarines relates to the most commonly cultivated type of peaches in Slovenia of spindle bush and to vegetatively reproduced bases with shallow roots (depth of 50 cm). By means of the roots depth and function of development LAI, the description of the plant development was made by the GLEAMS model. Descriptive parameters used by the SWAP model were *LAI*, soil depth and root depth and density in soil profile. Calculation of the actual *ET* of peaches was made using the coefficient of water efficiency use *kc* for the period April – August.

Comparison of the GLEAMS and SWAP models indicated the latter to be a better method for the estimation of how and to what extent the climate change would impact the soil water balance, mainly because the model enables more accurate definition of the initial and marginal conditions as well as the calculation of the hydraulic characteristics of the soil. For the soil hydraulic characteristics calculation data from soil map of Slovenia have been used. SWAP provides several models for soil hydraulic characteristics calculation, i.e. Star series, HYPRES series and Mualem-Van Genuchten pedotransfer functions, and the latter proved to be the most appropriate one.

SWAP is a precise and power tool for the estimation of elements of soil water balance at the level of cross section of the monitored and studied profile from the soil surface to the contact with undersoil water. Model is sensitive to the parameters for the description of physical characteristics of soil and the depth of roots. However, the model requires a large number of input data and expertise knowledge in numeric calculation mechanisms and

description of water flows as well as in interaction among individual segments of described sections. As such, the model is a very effective tool for research purposes, and with some minor improvements it could be more widely used in expert environments as well.

GLEAMS is less precise for daily values, the fact clearly manifested during the calibration process against daily values of the water content in soil. Model GLEAMS by means of index of leaf surface for the chosen cultivated form indicated a 100% greater evapotranspiration than reference evapotranspiration. In general, the GLEAMS model is easily comprehensible and friendly for end users, both characteristics being its main advantage.

For the considered period 1961-1990, the calculation results of water shortage in soil in the Vipava valley for peaches and nectarines obtained by the SWAP and GLEAMS models indicated the shortage in fluvisols to be lower in average with the SWAP model (108-240 mm/year), and with the GLEAMS model (0-293 mm/year) than in Cambisols, and the SWAP model results showed shortage in the range of 147- 300 mm/year, whereas the GLEAMS model results were 284- 31 mm/year. For the chosen soil profiles of fluvisols of the Vipava valley, the applied scenarios of climate change indicate larger increase of irrigation needs for peaches and nectarines (0-77%) than those of soil profiles of Cambisols (15-45%).

Calculation with SWAP and GLEAMS models indicated that the increase of air temperature had a greater impact on the calculation of irrigation needs than the reduction of precipitation.

Comparison of soil depth to the number of days that water shortage (50% FC) appeared showed the smallest occurrence in deep soils. The smallest water shortage (50% FC) occurred on Epi Gleysols (PKU 1242), the greatest on Eutric Cambisols on alluvial deposits with limestone rubble (PKU 68). Average water shortage on Eutric Cambisols on flysh is smaller than that of Distric Cambisols on flysh; the interval being for reference set for the Eutric Cambisols on flysh the widest.

SWAP is precise and powerful tool for water balance components estimation for the soil profile scale. As such is very useful for research program it is however unlikely that it would be useful for broader application for extension purposes.

GLEAMS is less precise for daily parameter estimation which was clearly expressed during the process of calibration. The model shows to be simple and fairly user friendly, which is its main asset. On the basis of our research work the work hypothesis has been confirmed, that the water balance calculation enables spatial and temporal water shortage assessment and irrigation demand estimation.

It has been shown that due to the different water retention capacities water shortage on some soil types will be more expressed than on the others. This statement has been clearly confirmed on Cambisols and fluvisols.



## 7 VIRI

- Agencija za kmetijske trge. 2002. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.
- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations: 256 str.
- Agencija Republike Slovenije za okolje. 2002. Arhiv. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.
- Arnell N.W. 1999. The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global Environmental Change*, 9: 5 – 23
- Batchelor C. 1999. Improving water use efficiency as part of integrated catchment management, *Agricultural Water Management*, 40: 249 – 263
- Bear J. 1988. Dynamics of fluids in porous media. New York, Dover publications: 764 str.
- Bedient P.B., Rifai H.S., Newell C.J. 1994. Groundwater contamination: transport and remediation. New Jersey, Prentice Hall: 541 str.
- Benestad R. 2001. A comparison between two empirical downscaling strategies. *International Journal of Climatology*, 21:1645-1668.
- Bergant K., Kajfež-Bogataj L. 1998. Možen vpliv klimatskih sprememb na prostorsko porazdelitev območij s potencialnim primanjkljajem vode v tleh v Sloveniji. V: *Novi izzivi v poljedelstvu' 98*, Zbornik simpozija, Tajnšek, A. (ur.), Šantavec, I. (ur.). Ljubljana, SAD: 136 – 140
- Bergant K., Kajfež-Bogataj L. 1999. Uporaba modelov splošne cirkulacije za izdelavo scenarijev klimatskih sprememb na območju Slovenije. Zbornik Biotehniške fakultete, Univerza v Ljubljani. Ljubljana, Kmetijstvo, 73, 1: 177-186.
- Bergant K. 2000. Zveze med klimatskimi spremenljivkami v makro in lokalni skali. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 121 str.
- Black T.A., Gardner W.R., Thurtell G.W. 1969. The prediction of evaporation, drainage and soil water storage for a bare soil. *Soil Science Society of America Journal*, 33: 655 – 660
- Boesten J.J.T.I., Stroosnijder L. 1986. Simple model for daily evapotration from fallow tilled soil under spring conditions in a temperate climate. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 34: 75 – 90
- Bouma J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*, 9: 177 – 213
- Bouwer H. 2002. Integrated water management for the 21<sup>st</sup> century: problems and solutions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128: 193-202
- Boyer J.S. 1995. Measuring the water status of plants and soils. San Diego, Academic press: 455 str.
- Brilly M., Šraj M., 2000. Osnove hidrologije, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 234 str.
- Brooks R. H., Corey A.T. 1964. Hydraulic properties of porous media. Fort Collins, Colorado, Colorado State University, Hydrology paper No. 3: 27 str.

- Buckingham E. 1907. Studies on the movement of soil moisture. Tuscon, Arizona. United States Department of agriculture. Bulletin 38
- Center za pedologijo in varstvo okolja. 2002. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo.
- Čenčur-Curk B. 2002. Tok in prenos snovi v kamninah z razpoklinsko in kraško poroznostjo. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno tehniška fakulteta: 253 str.
- Darcy H. 1856. Les fontaines publique de la ville de Dijon. Dalmont, Paris.
- De Paz J.M., Ramos C. 2002. Linkage of a geographical information system with the GLEAMS model to assess nitrate leaching in agricultural areas. *Environmental Pollution*, 118: 249–258
- Diepen C.A. van, Wolf J., Keulen H. van, 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. *Soil Use and Management*, 5:16-24
- Dimitrijević M., Karamata S., Sikošek B., Veselinović D. 1973. Osnovna geološka karta, L33 – 76 Gorica. Beograd, Zvezni geološki zavod: 50 str.
- Droogers P. 2000. Estimation actual evapotranspiration using a detailed agro – hydrological model. *Journal of Hydrology*, 229: 50 – 58
- Droogers P., Bastiaanssen W.G.M., Beyazgşl M., Kayam Y., Kite G.W., Murray-Rust H. 2000. Distributed agro-hydrological modeling of an irrigation system in western Turkey. *Agricultural Water Management*, 43, 2: 183-202
- Eybergen F.A., Imeson A.C. 1989. Geomorphological processes and climatic change. *Catena*, 16: 307 - 319
- Faust M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. John Wiley & sons: 338 str.
- Feddes R.A., Kowalik P.J., Zaradny H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Wageningen, Simulation monographs, Pudoc: 189 str.
- Feddes R.A., Kabat P., van Bekel P.J.T., Bronswijk, J.J.B., Halbertsma J.M. 1988. Modelling soil water dynamics in the unsaturated zone state of the art. *Journal of Hydrology*, 100: 69 – 111
- Friedrich G., Fischer M. 2000. Physiologische Grundlagen des Obstbaues. Stuttgart, Germany, Euegen Ulmer Verlag: 124 – 159
- Gale T. 1999. Simulacija procesov spiranja nitratov s hmeljišč z uporabo modela GLEAMS. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 49 str.
- Girona J., Mata M., Fereres E., Goldhamer D.A., Cohen M. 2002. Evapotranspiration and soil water dynamics of peach trees under water deficits. *Agricultural Water Management*, 54: 107 – 122
- Godec B. 1999. Sadni izbor za Slovenijo. Ljubljana, Kmetijski inštitut Slovenije: 81 str.
- Grotch S., MacCracken, M. 1991. The use of general circulation models to predict regional climate change. *Journal of Climatology*, 4: 286-303
- Gupta S.C., Larson W.E. 1979. Estimating soil water characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. *Water Resources Research*, 15: 1633 – 1635
- Hillel D. 1998. Environmental Soil Physics. San Diego, Academic press: 771 str.

- Hočevar A., Petkovšek Z. 1984. Meteorologija, osnove in nekatere aplikacije. Ljubljana, Partizanska knjiga: 219 str.
- Hočevar A., Kajfež – Bogataj L. 1996. Izbrana poglavja iz biometeorologije. Študijsko gradivo za podiplomski študij. Ljubljana, Biotehniška fakulteta
- Hopmans J.W. Stricker, J.N.M. 1989. Stochastic analysis of soil water regime in a watershed, *Journal of Hydrology*, 105: 57 – 84
- IPCC 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change: Technical Summary of the Working Group 1 Report: 83 str.
- Jensen M.E., Burman R.D., Allen R.G. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. *Manuals and Reports on Engineering Practice*, ASCE, 70: 332 str.
- Jury W.A., Gardner W.R., Gardner W.H. 1991. *Soil physics*. New York, John Wiley&Sons, Inc.: 327 str.
- Kajfež-Bogataj L. 2000. Vpliv globalnega ogrevanja na trajanje vegetacijskega obdobja in temperaturne vsote V: Tajnšek, A. ur., Šantavec, I. ur. *Novi izzivi v poljedelstvu 2000: zbornik simpozija, Moravske Toplice*. Ljubljana, SAD: 54-60.
- Kajfež-Bogataj L. 2001. Changes in the minimum and maximum temperatures in Slovenia over the last 50 years. *Zbornik Biotehniške fakultete*, 77, 2: 299-307.
- Kajfež-Bogataj L., Sušnik A. 2002 Operativni agrometeorološki modeli za izračun vodne bilance kmetijskih tal. V: Tajnšek, A. ur., Šantavec, I. ur. *Novi izzivi v poljedelstvu 2002: zbornik simpozija, Zreče*. Ljubljana, SAD: 164-169.
- Kastelec D. 2001. Statistična analiza prostorske in časovne razporeditve padavin v vegetacijskem obdobju v Sloveniji v obdobju 1961 – 2000. Ljubljana, *Zbornik Biotehniške fakultete*, 117, 2: 279 – 295
- Klute A., ed. 1986. *Methods of soil analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods – Agronomy Monograph no. 9*, American Society of Agronomy, SSSA, 1188 str.
- Knisel G.W., ed. 1982 *CREAMS: A field –scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems*. Tuscon, Arizona, United States Department of agriculture. Conservation research report no. 26, 640 str.
- Knisel G.W., Davis F.M., Leonard R.A., Nicks A.D. 1993. *GLEAMS 2.1 Part III, User manual*. Tifton, Georgia, USA, University of Georgia, Biological and Agricultural Engineering Department: 220 str.
- Knisel G.W., Turtola E. 2000. GLEAMS model application on a heavy clay soil in Finland. *Agricultural Water Management*, 43: 285 – 309
- Košmelj K. 2001. *Uporabna statistika*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, 249 str.
- Kroes J.G., van Dam J.C., Huygen J., Vervoort R.W. 1999. *SWAP 2.0: User's Guide, simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment*. Technical document 53. DLO Winand Staring Centre, Wageningen Report 81, Department Water Resources, Wageningen Agricultural University, Wageningen <http://www.alterra.nl/models/SWAP>.
- Kroes J.G., Wesseling J.G, Van Dam J. 2000. Integrated modeling of the soil – water – atmosphere – plant system using the model SWAP 2.0 an overview of theory and an application. *Hydrological processes*, 14: 1993 – 2000

- Kutilek M., Nielsen D.R. 1994. Soil hydrology. Cremlingen – Destedt, GeoEcology textbook, Catena Verlag: 371 str.
- Li K.Y., De Jong R., Boisvert J.B. 2001. An exponential root water uptake model with water stress compensation. *Journal of Hydrology*, 252, 1-4: 189-204
- Luo Y., Mooney H.A. 1999. carbon dioxide and environmental stress. San Diego, Academic press: 415 s.
- Ma Q.L., Hook J.E., Wauchope R.D. 1999. Evapotranspiration predictions: a comparison among GLEAMS, Opus, PRZM-2, and RZWQM models in a humid and thermic climate. *Agricultural Systems*, 59, 1: 41-55
- Maciejewski S., Zaradny H., Klotz D. 1992. Application of SWATREZ-UNYS model for simulation of water and tracer movement in unsaturated soil. Hoetzl H., Werner. A. (eds.). Rotterdam, Tracer hydrology 92: 439 – 443
- Martin P.H. 1998. Regional aspects of climate change. V: Course on climate change impact on agriculture and forestry. Maracchi G. (ed.). Luxembourg, European Commission: 33-55
- Martin de Santa Olalla Manas F., Brasa Ramos A., Cortes Fabeiro C., Fernandez Gonzalez D., Lopez Corcoles H. 1999. Improvement of irrigation management towards the sustainable use of groundwater in Castilla – la Mancha, Spain. *Agricultural Water Management*, 40: 195 – 205
- 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.
- McGuffie K., Handerson-Sellers, A. 1997. A climate modelling primer (second edition). Chichester, John Wiley and Sons: 253 str.
- Menzel L., Buerger G. 2002. Climate change scenario and runoff response in the Mulde catchment Southern Elbe, Germany. *Journal of Hydrology*, 267: 53-64
- Mitchell T.D., Hulme, M. 2000. A country-by-country analysis of past and future warming rates. Tyndall center for climate change research, Working paper 1, 6 str.
- Monteith J.L. 1965. Evaporation and the environment. In the movement of water in living organisms. Cambridge University Press, Swansea, Society of Experimental Biology: 205 – 234
- Mualem Y. 1979. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12: 513 – 522
- Natali S., Xiloyannis C., Mugano M. 1984. Water consumption of high density peach trees. *Acta Horticulturae*, 173:413-420
- Natali S., Xiloyannis C., Barbieri A. 1985. Water consumption of peach trees grafted on four different rootstocks. *Acta Horticulturae*, 173: 355-362
- New M.G., Hulme M., Jones P.D. 2000. Representing twentieth – century space – time climate variability, part II: Development of 1901 – 1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate*, 13: 2217 – 2238
- Parry M.L., Carter T. 1998. Climate change impact and adaptation assessment. London, Earthscan: 167 str.



- Phillips S.P., Hamlin S.N., Yates E.B. 1993. Geohydrology, water quality, and estimation of groundwater recharge in San Francisco, California, 1987-92, USGS Water-resources investigations report 93-4019, Sacramento, CA: 235 str.
- Pintar M., Knapič M. 2001. Nekateri namakalni parametri in obremenitve okolja pri različnih tehnologijah namakanja. Zbornik simpozija Trendi v razvoju kmetijske tehnike, Radenci, 14. in 15. junij 2001. V: Poje T. (ur). Ljubljana: Društvo kmetijske tehnike Slovenije: 69-76
- Pintar M. 2003. Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v severovzhodni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, v tisku
- Raghavendra A.S. 1991. Physiology of trees. New York, John Wiley & sons, inc.: 509 str.
- Rajar R. 1997. Hidromehanika. Ljubljana, FGG: 236 str.
- Rajar R., Četina M. 1999. Matematično modeliranje v hidrotehnik. Gradivo k predavanjem. Ljubljana, FGG: 16 str.
- Rawls, W.J. 1983. Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. Soil Science, 135: 123 – 126
- Rawls W.J., Pachepsky Ya.A. 2002. Soil consistence and structure as predictors of water retention. Soil Science Society of America Journal, 66: 1115 – 1126
- Richards L.A. 1931. Capillary conduction of liquids in porous medium. Physics, 1: 318 – 333
- Ritchards D., Rowe R.N. 1976. Annual Botany, 41: 1211 – 1216
- Ritchie, J. 1972. A model for prediction evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research, 8, 5: 1204-1213
- Ritzema H.P., Ed. 1994. Drainage principles and applications, ILRI Publication 16. Second Edition: 1125 str.
- Romo R., Diaz D.H. 1985. Root system and nutritional status of peaches under drip or flood irrigation in warm climates. Acta Horticulturae, 173: 167-175
- Ruprecht J. 1999. Pedološka karta Slovenije kot osnova za modeliranje desorpcijskih značilnosti tal. Specialistično delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 115 str.
- Sarwar A., Bastiaanssen W.G.M. Feddes R.A. 2001. Irrigation water distribution and long-term effects on crop and environment. Agricultural Water Management, 50: 125 – 140
- Savabi M.R., Stockle C.O. 2001. Modelling the possible impact of increased CO<sub>2</sub> and temperature on soil water balance, crop yield and soil erosion. Environmental Modelling & Software, 16: 631 – 640
- Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., Papendick R.I. 1986. Estimating generalized soil –water characteristics from texture. Soil Science Society of American Journal, 37: 1031 – 1036
- Sovik A.K., Aagaard P. 2003. Spatial variability of a solid porous framework with regard to chemical and physical properties. Geoderma, 113: 47 – 76
- Stephens D.B. 1995. Vadose zone hydrology. Florida, CRC Press, Lewis publishers: 347 str.

- Štampar F., Usenik V., Hudina M., Lobnik F., Zupan M., Mihelič R., Knapič M., Fajt N., Kodrič I. 1995. Vpliv dodane vode in hranil na rast in razvoj breskev, dogajanja v tleh ter gospodarnost pridelovanja. Poročilo za leto 1995. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, 112 str.
- Štampar F. 2002. Gojivne oblike in rez sadnih rastlin. Ljubljana, Založba Kmečki Glas: 109 str.
- Teiz L., Zeiger E. 1998. Plant physiology, 2<sup>nd</sup> ed. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates Inc.: 81 – 101
- Turk I. 1995. Uporabnost dinamičnega modela GLEAMS za spremljanje atrazina v tleh v slovenskem prostoru. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 108 str.
- Van Dam J.C., Huygen J., Wesseling J.G., Feddes R.A., Kabat P., van Walsum, P.E.V., Groedijk P. 1997. Theory of SWAP 2.0: simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment. Technical document 53. DLO Winand Staring Centre, Wageningen Report 81, Wageningen Agricultural University: 167 str.
- Van Dam J.C., Feddes R.A. 2000. Numerical simulation of infiltration, evaporation and shallow groundwater levels with Richards equation. *Journal of Hydrology*, 223: 72-85
- Van der Berg M., Driessen P.M. 2002. Water uptake in crop growth models for land use system analysis I. A review of approaches and their pedigrees. *Agriculture, Ecosystem and environment*, 92: 21 – 36
- Van Genuchten M.Th. 1980. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*, 44: 892-898
- Van Genuchten M.Th., Leij F.J., Yates S.R. 1991. The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. CA, USSS, USDA: 85 str.
- Virant D. 1993. Dinamično modeliranje vpliva padavin na fizikalne lastnosti tal. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 96 str.
- Vodnik D., Turk B., Pfanz H., Batič F., Wittmann C., Kaligarič M., Zupan M. 2000. Rast in delovanje rastlin pri ob povečanih koncentracijah ogljikovega dioksida ob naravnih virih CO<sub>2</sub>. V: *Varstvo zraka v Sloveniji*, 15. – 17. november 2000. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje, zbornik predavanj: 205 – 212
- Wilby R. L., Wiegly T. M. L. 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress Physical Geography*, 21, 4: 530-548.
- Woesten J.H.M., Lilly A., Nemes A., Le Bas C. 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*, 90: 169-185
- Woesten J.H.M., Pachepsky Y.A., Rawls W.J. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*, 251: 123-150
- Zorita E., Storch von, H. 1999. The analog method as simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *Journal of Climatology*, 12: 2474-2489
- Xu C. – Y. 1999. Operational testing of water balance model for predicting climate change impacts. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98 – 99: 295 – 304

## ZAHVALA

Mentorici doc. dr. Marini Pintar se zahvaljujem za skrbno mentorstvo, razumevanje in vseobsegajočo pomoč pri delu.

Somentorici prof. dr. Lučki Kajfež – Bogataj se zahvaljujem za pobudo k izdelavi naloge, skrbno mentorstvo, razumevanje in pomoč pri delu.

Za pripombe in nasvete se zahvaljujem prof. dr. Francu Lobniku in prof. dr. Miranu Veseliču.

Agenciji RS za okolje se zahvaljujem za posredovane podatke, še posebej mag. Iztoku Matajcu ter za osnovno idejo in vzpodbudo ob nastajanju dela Andreji Sušnik.

Mag. Klemnu Bergantu se zahvaljujem za neprecenljivo pomoč pri računalniškem oblikovanju podatkov vhodnih in izhodnih datotek ter za vzpodbudo ob nastajanju dela; prav tako gre moja zahvala dr. Zaliki Črepinšek za podporo.

Za pomoč pri oblikovanju rezultatov in dragocene nasvete med delom se zahvaljujem dr. Damijani Kastelec.

Za sodelovanje pri obdelavi pedoloških podatkov se zahvaljujem ing. Janezu Ruprehtu. Za angleški prevod pedoloških izrazov se zahvaljujem mag. Tomažu Prusu.

Za pomoč pri sadjarskemu delu se zahvaljujem sodelavcem Katedre za sadjarstvo, Biotehniške fakultete ter sodelavcem Sadjarskega centra Bilje.

Za vso pomoč ob pisanju naloge Dragi Bitenc.

Za prva, začetna razmišljanja se zahvaljujem dr. Barbari Čenčur-Curk in doc. dr. Primožu Banovcu.

Za neomajno zaupanje, spodbudo in vero vame se zahvaljujem svoji družini in vsem, ki so mi pri delu kakorkoli pomagali.

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PREGLED OBJAV .....</b>	<b>3</b>
2.1	VODA V SISTEMU TLA– RASTLINA – ATMOSFERA .....	3
2.2	ATMOSFERA .....	3
2.3	RASTLINA .....	4
2.4	LASTNOSTI TAL .....	5
	<b>2.4.1</b> Tekstura.....	<b>5</b>
	<b>2.4.2</b> Organska snov .....	<b>6</b>
	<b>2.4.3</b> Struktura .....	<b>6</b>
	<b>2.4.4</b> Poroznost .....	<b>7</b>
2.5	VODNA BILANCA TAL .....	8
	<b>2.5.1</b> Voda v tleh /založenost tal z vodo .....	<b>10</b>
	2.5.1.1 Porazdelitev vode v talnem profilu.....	10
	2.5.1.2 Tok vode .....	12
	<b>2.5.2</b> Pritoki .....	<b>14</b>
	2.5.2.1 Infiltracija .....	14
	2.5.2.2 Kapilarni dvig.....	15
	<b>2.5.3</b> Izgube.....	<b>16</b>
	2.5.3.1 Globinsko pronicanje.....	16
	2.5.3.2 Evapotranspiracija .....	16

2.6	RAČUNALNIŠKI SIMULACIJSKI MODELI .....	18
2.6.1	<b>Klimatski modeli</b> .....	<b>18</b>
2.6.2	<b>Modeli za rast rastlin</b> .....	<b>19</b>
2.6.3	<b>Modeli za izračun hidravličnih lastnosti tal</b> .....	<b>20</b>
2.6.4	<b>Računalniški model SWAP</b> .....	<b>22</b>
2.6.5	<b>Računalniški model GLEAMS</b> .....	<b>23</b>
2.6.6	<b>Kalibracija modelov</b> .....	<b>25</b>
2.6.7	<b>Validacija modelov</b> .....	<b>25</b>
2.7	SPREMEMBE VODNE BILANCE .....	26
2.7.1	<b>Namakanje</b> .....	<b>26</b>
2.7.2	<b>Klimatske spremembe</b> .....	<b>26</b>
3	<b>MATERIAL IN METODE</b> .....	<b>28</b>
3.1	MATERIAL.....	28
3.1.1	<b>Meteorološki podatki</b> .....	<b>28</b>
3.1.2	<b>Nivo podtalnice</b> .....	<b>31</b>
3.1.3	<b>Podatki o tleh</b> .....	<b>32</b>
3.1.3.1	Matična podlaga v Vipavski dolini.....	32
3.1.3.2	Izbira talnih profilov za vhodne podatke v model.....	32
3.1.3.3	Tla v Vipavski dolini .....	33
3.1.3.3.1	Avtomorfna tla.....	33
3.1.3.3.2	Hidromorfna tla .....	38
3.1.3.4	Tla uporabljena v kalibraciji in validaciji.....	41
3.1.4	<b>Vsebnost vode v tleh</b> .....	<b>41</b>
3.1.4.1	Gravimetrična metoda .....	42
3.1.4.2	Diviner® 2000 Sentek (FDR).....	42
3.1.5	<b>Pridelovanje breskev in nektarin</b> .....	<b>42</b>
3.2	STATISTIČNE METODE .....	44
3.3	SCENARIJI KLIMATSKIH SPREMEMB .....	45
3.4	UPORABA MODELOV SWAP IN GLEAMS.....	46
3.4.1	<b>Opis modela SWAP</b> .....	<b>46</b>
3.4.1.1	Vhodni podatki .....	48
3.4.1.2	Izhodni podatki .....	49
3.4.1.3	Kalibracija SWAP .....	49
3.4.2	<b>Opis modela GLEAMS</b> .....	<b>49</b>
3.4.2.1	Vhodni podatki .....	51
3.4.2.2	Izhodni podatki.....	52
3.4.2.3	Kalibracija modela GLEAMS .....	52

<b>4</b>	<b>REZULTATI.....</b>	<b>53</b>
4.1	IZBIRA MODELA ZA IZRAČUN HIDRAVLIČNIH LASTNOSTI TAL .....	53
4.2	KALIBRACIJA IN VALIDACIJA MODELA .....	55
4.2.1	<b>Kalibracija.....</b>	<b>55</b>
4.2.2	<b>Validacija.....</b>	<b>59</b>
4.3	ČLENI VODNE BILANCE V OBDOBJU 1961 – 1990.....	63
4.3.1	<b>Primanjkljaj vode v tleh glede na padavine.....</b>	<b>63</b>
4.3.2	<b>Primanjkljaj vode glede na globino in PP/PKE.....</b>	<b>78</b>
4.3.3	<b>Evapotranspiracija .....</b>	<b>80</b>
4.3.4	<b>Pronicanje .....</b>	<b>84</b>
4.3.5	<b>Odtok .....</b>	<b>85</b>
4.4	SIMULACIJA SCENARIJEV KLIMATSKIH SPREMEMB .....	87
4.4.1	<b>Scenarij 1 .....</b>	<b>87</b>
4.4.2	<b>Scenarij 2 .....</b>	<b>89</b>
4.4.3	<b>Scenarij 3 .....</b>	<b>91</b>
4.4.4	<b>Scenarij 4 .....</b>	<b>93</b>
4.4.5	<b>Scenarij 5 .....</b>	<b>95</b>
4.4.6	<b>Scenarij 6 .....</b>	<b>97</b>
4.4.7	<b>Odziv na scenarije klimatskih sprememb med izbranimi profili.....</b>	<b>99</b>
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI.....</b>	<b>102</b>
5.1	RAZPRAVA.....	102
5.2	SKLEPI.....	109
<b>6</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>110</b>
6.1	POVZETEK .....	110
6.2	SUMMARY .....	113
<b>7</b>	<b>VIRI .....</b>	<b>117</b>
	<b>ZAHVALA .....</b>	<b>123</b>

Preglednica 1: Lastnosti tal, ki se pogosto uporabljajo pri pedotransfer funkcijah (Woesten in sod., 2001). .....	22
Preglednica 2: Opis pedološkega profila 198 (tip tal za evtrična rjava tla na ledenodobnem produ in pesku) znotraj pedokartografske enote 66. ....	34
Preglednica 3: Opis pedološkega profila 201 (tip tal za evtrična rjava tla na ledenodobnem produ in pesku) znotraj pedokartografske enote 66. ....	34
Preglednica 4: Opis pedološkega profila 108 (tip tal za evtrična rjava tla, na flišu antropogena – vitisol) znotraj pedokartografske enote 430. ....	35
Preglednica 5: Opis pedološkega profila 88 (tip tal za evtrična rjava tla, na flišu plitva) znotraj pedokartografske enote 1279. ....	35
Preglednica 6: Opis pedološkega profila 121 (tip tal evtrična rjava, na eocenskem flišu, koluvialna tipična) znotraj pedokartografske enote 1282. ....	36
Preglednica 7: Opis pedološkega profila 163 (tip tal za evtrična rjava, na eocenskem flišu, koluvialna tipična) znotraj pedokartografske enote 1282. ....	36
Preglednica 8: Opis pedološkega profila 128 (tip tal evtrična rjava tla na ledenodobnem karbonatnem produ in peskih) znotraj pedološke kartografske enote 68. ....	36
Preglednica 9: Opis pedološkega profila 136 (tip tal evtrična rjava, na flišu, z apnenim gruščem) znotraj pedokartografske enote 149. ....	37
Preglednica 10: Opis pedološkega profila 85 (tip tal distrična rjava tla na nekarbonatnem flišu, tipična) znotraj pedokartografske enote 1237. ....	37
Preglednica 11: Opis pedološkega profila 140 (tip tal srednje močan hipoglej) znotraj pedokartografske enote 1242. ....	38
Preglednica 12: Opis pedološkega profila 129 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 139. ....	39
Preglednica 13: Opis pedološkega profila 117 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 1241. ....	39
Preglednica 14: Opis pedološkega profila 141 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 1241. ....	40
Preglednica 15: Opis pedološkega profila 144 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 1241. ....	40

Preglednica 16: Opis pedološkega profila 146 (tip tal obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) znotraj pedokartografske enote 1241. ....	40
Preglednica 17: Opis pedološkega profila v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana (ARSO, 2002). ....	41
Preglednica 18: Opis pedološkega profila v poskusnem nasadu breskev in nektarin Sadjarskega centra Bilje (Štampar in sod., 1995). ....	41
Preglednica 19: Parametri rasti in razvoja za breskve in nektarine (Faust, 1989; Allen in sod., 1998; Natalie in sod., 1984, 1985; Romo in Diaz, 1985). ....	44
Preglednica 20: Spremembe osnovnega niza podatkov za dnevne temperature zraka in količine padavin (Arnell, 1999; IPCC, 2001). ....	45
Preglednica 21: Seznam in opis vhodnih datotek v model SWAP (Kroes in sod., 1999). ....	48
Preglednica 22: Opis in seznam vhodnih datotek za model GLEAMS (Knisel in sod., 1993). ....	51



Slika 1: Voda v sistemu tla – rastlina – atmosfera (Hillel, 1998). .....	3
Slika 3: Shematska struktura modela SWAP (prirejeno po Kroes in sod., 1999).....	23
Slika 4: Shematska struktura modela GLEAMS (prirejeno po Knisel in sod., 1993). ....	24
Slika 5: Letni hod maksimalne in minimalne temperature zraka ter padavin v obdobju 1961 – 1990 za Ajdovščino (a), Novo Gorico (b), Slap pri Vipavi (c), Branik (d) in Bilje (e). .....	29
Slika 6: Karta Slovenije s prikazanimi povprečji temperature zraka referenčnega obdobja 1961-1990 (ARSO, 2003). .....	30
Slika 7: Padavinska karta Slovenije s prikazanimi povprečji referenčnega obdobja 1961-1990 (ARSO, 2003). .....	30
Slika 8: Karta padavin v vegetacijskem obdobju Slovenije s prikazanimi povprečji referenčnega obdobja 1961-1990 (Kastelec, 2001). .....	31
Slika 9: Pedološka karta Slovenije ( <a href="http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/GF_PodatkiTalSlovenije.htm">http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/GF_PodatkiTalSlovenije.htm</a> ). .....	32
Slika 10: Brezdimenzijska spremenljivka odvzema vode $\beta$ odvisna od potenciala pritiska $h$ (Feddes in sod., 1988). .....	47
Slika 11: Rezultati primerjave simuliranih krivulj $h - \theta$ s funkcijami Mualem – Van Genuchten, Star in Hypres ter merjenih pF vrednosti za horizont Ap1 v poskusnem nasadu Bilje.....	53
Slika 12: Rezultati primerjave simuliranih krivulj $h - \theta$ s funkcijami Mualem – Van Genuchten, Star in Hypres ter merjenih pF vrednosti za horizont Ap2 v poskusnem nasadu Bilje.....	54
Slika 13: Rezultati primerjave simuliranih krivulj $h - \theta$ s funkcijami Mualem – Van Genuchten, Star in Hypres ter merjenih pF vrednosti za horizont P2 v poskusnem nasadu Bilje.....	54
Slika 14: Primerjava simuliranih krivulj $h - \theta$ s funkcijami Mualem – Van Genuchten, Star in Hypres ter merjenih pF vrednosti za horizont Bv v poskusnem nasadu Bilje.....	55

Slika 15: Primerjava izračuna <i>ET</i> (mm) z modelom GLEAMS v odvisnosti od <i>LAI</i> za leti 1995 in 1996 za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana. ....	56
Slika 16: Rezultati vsebnosti vode na 20 cm globine kalibriranih modelov GLEAMS in SWAP ter primerjava z meritvami vode v tleh na 20 cm globine za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana, KIS, 1995.....	57
Slika 17: Rezultati vsebnosti vode na 20 cm globine kalibriranih modelov GLEAMS in SWAP ter primerjava z meritvami vode v tleh na 20 cm globine za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana, 1996. ....	57
Slika 18: Primerjava rezultatov umerjenega modela SWAP in meritev vsebnosti vode v tleh za leti 1995 in 1996 za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana. ....	58
Slika 19: Primerjava rezultatov umerjenega modela GLEAMS in meritev vsebnosti vode za leti 1995 in 1996 za meljasto ilovnata tla v poskusnem nasadu jablan Kmetijskega inštituta Slovenije, Ljubljana. ....	58
Slika 20: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 10 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002. ....	59
Slika 21: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 20 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002. ....	60
Slika 22: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 30 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002. ....	60
Slika 23: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 40 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002. ....	61
Slika 24: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 50 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002. ....	61

Slika 25: Primerjava rezultatov simulacije z modelom SWAP ter meritev volumske vsebnosti vode v tleh z Divinerjem® na 60 cm za Bilje v opazovanem obdobju 19.6.2002 – 17.10.2002. ....	62
Slika 26: Količina dodane vode $W_i$ (mm) v posameznem namakalnem dogodku za model SWAP in GLEAMS v obdobju 1961 – 1990. ....	64
Slika 27: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 198 znotraj pedokartografske enote 66 (evtrična rjava tla na ledenodobnem karbonatnem produ in peskih, na nasutinah rek in rečnem vršaju, tip 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990. ....	65
Slika 28: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 201 znotraj pedokartografske enote 66 (evtrična rjava tla na ledenodobnem karbonatnem produ in peskih, na nasutinah rek in rečnem vršaju, tip 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990. ....	65
Slika 29: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 108 znotraj pedokartografske enote 430 (rigolana tla, vitisol) ter padavine v obdobju 1961 – 1990. ....	66
Slika 30: Primanjkljaj vode (mm) za talni profil 88 znotraj pedokartografske enote 1279 (evtrična rjava tla na eocenskem flišu, tip 60%, evtrična rjava na eocenskem flišu, antropogena 40%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990. ....	66
Slika 31: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 121 (znotraj pedokartografske enote 1282 (evtrična rjava tla na eocenskem flišu, psevdoglejena 70%, evtrična rjava tla na eocenskem flišu, koluvialna 30%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990. ....	67
Slika 32: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 163 znotraj pedokartografske enote 1282 (evtrična rjava tla na eocenskem flišu, psevdoglejena 70%, evtrična rjava tla na eocenskem flišu, koluvialna 30%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990. ....	68
Slika 33: Primanjkljaj vode (mm) za talni profil 128 znotraj pedološke kartografske enote 68 (evtrična rjava tla na ledenodobnem produ in peskih, na nasutinah rek in rečnem vršaju, srednje globoka 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990. ....	69
Slika 34: Primanjkljaj vode (mm) za talni profil 136 znotraj pedokartografske enote 149 (evtrična rjava na flišu in laporju s primesjo apnenih breč, tip 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990. ....	70
Slika 35: Primanjkljaj vode (mm) za talni profil 85 znotraj pedokartografske enote 1237 (distrična rjava tla na nekarbonatnem flišu - dekalificiranem laporju izprana 100%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990. ....	71

Slika 36: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 140 znotraj pedokartografske enote 1242 (hipoglej, evtričen mineralen, zmerno močan 60%, hipoglej evtričen mineralen srednje močan 40%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.....	72
Slika 37: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 129 znotraj pedokartografske enote 139 (rjava obrečna tla, globoko oglejena, tip 100%, obrečna tla, evtrična, globoko oglejena) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.....	73
Slika 38: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 117 znotraj pedokartografske enote 1241 (obrečna evtrična globoko oglejena 80%, evtrična globoka 20%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.....	74
Slika 39: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 141 znotraj pedokartografske enote 1241 (obrečna evtrična globoko oglejena 80%, evtrična globoka 20%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.....	75
Slika 40: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 144 znotraj pedokartografske enote 1241 (obrečna evtrična globoko oglejena 80%, evtrična globoka 20%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.....	76
Slika 41: Primanjkljaj vode (mm) za pedološki profil 146 znotraj pedokartografske enote 1241 (obrečna evtrična globoko oglejena 80%, evtrična globoka 20%) ter padavine v obdobju 1961 – 1990.....	77
Slika 42: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) v obravnavanem obdobju 1961 – 1990 glede na globino tal za model SWAP in model GLEAMS.....	78
Slika 43: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) v obravnavanem obdobju 1961 – 1990 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto, izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).....	79
Slika 44: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem vode v tleh v obdobju 1961 – 1990 glede na globino tal, izračunan z modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b). ....	79
Slika 45: Evaporacija tal (mm) glede na globino talnega profila (cm) v obdobju 1961 – 1990 izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS. ....	80
Slika 46: Evaporacija (mm) glede na PKE v obdobju 1961 – 1990 izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.....	81
Slika 47: Transpiracija (mm) glede na globino talnega profila (cm) v obdobju 1961 – 1990 izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS. ....	81
Slika 48: Transpiracija (mm) glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS.....	82

Slika 49: Evapotranspiracija (mm) glede na globino talnega profila v obdobju 1961 – 1990, izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS. ....	82
Slika 50: Evapotranspiracija (mm) v obdobju 1961 – 1990 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto, izračunana z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS. ....	83
Slika 51: Pronicanje (mm) glede na globino talnega profila v obdobju 1961 – 1990, izračunano z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS. ....	84
Slika 52: Pronicanje (mm) glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunano z modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b). ....	85
Slika 53: Odtok (mm) v obdobju 1961 – 1990 glede na globino talnega profila, izračunan z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS. ....	86
Slika 54: Odtok (mm) glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z (a) modelom SWAP in (b) modelom GLEAMS. ....	86
Slika 55: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode v tleh glede na globino tal pri scenariju 1 glede na globino tal v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). ....	87
Slika 56: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 1 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). ....	88
Slika 57: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 1 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). ....	88
Slika 58: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 1 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b). ....	89
Slika 59: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode v tleh glede na globino tal pri scenariju 2 glede na pedokartografsko enoto izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b). ....	89
Slika 60: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 2 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). ....	90
Slika 61: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 2 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b). ....	90

Slika 62: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 2 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	91
Slika 63: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 3 glede na globino v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	91
Slika 64: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 3 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	92
Slika 65: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 3 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b). .....	92
Slika 66: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 3 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	93
Slika 67: Okvir z ročaji za število dni, ko se je pojavil primanjkljaj vode v tleh pri scenariju 4 glede na pedokartografsko enoto. ....	93
Slika 68: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 4 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	94
Slika 69: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 4 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b). .....	94
Slika 70: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 4 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	95
Slika 71: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 5 glede na pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	95
Slika 72: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 5 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	96
Slika 73: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 5 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b). .....	96

Slika 74: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 5 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	97
Slika 75: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 6 glede na globino tal v opazovanem obdobju 1961 – 1990 izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b).....	97
Slika 76: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode (mm) pri scenariju 6 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b).....	98
Slika 77: Okvir z ročaji za primanjkljaj vode v tleh pri scenariju 6 glede na globino tal v obdobju 1961 – 1990, izračunan za modelom SWAP (a) in modelom GLEAMS (b). .....	98
Slika 78: Okvir z ročaji za število dni s primanjkljajem pri scenariju 6 glede na pedološki profil in pedokartografsko enoto v obdobju 1961 – 1990, izračunan z modelom SWAP (a) in GLEAMS (b). .....	99
Slika 79: Povečanje primanjkljaja vode izbranih profilov tal za model SWAP. ....	100
Slika 80: Povečanje primanjkljaja vode izbranih profilov tal za model GLEAMS.....	101