

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Kozakiv, D., 2013. Vpliv vegetacije na vodno bilanco porečja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M.): 113 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Kozakiv, D., 2013. Vpliv vegetacije na vodno bilanco porečja. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M.): 113 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
VODARSTVA IN
KOMUNALNEGA
INŽENIRSTVA

Kandidat:

DEJAN KOZAKIV

VPLIV VEGETACIJE NA VODNO BILANCO POREČJA

Diplomska naloga št.: 204/VKI

**INFLUENCE OF VEGETATION ON THE WATER
BALANCE OF CATCHMENTS**

Graduation thesis No.: 204/VKI

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Predsednik komisije:

doc. dr. Dušan Žagar

Član komisije:

izr. prof. dr. Jože Panjan

prof. dr. Boris Kompare

prof. dr. Matjaž Mikoš

Ljubljana, 28. 06. 2013

Stran za popravke, Errata

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Dejan Kozakiv izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Vpliv vegetacije na vodno bilanco porečja«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, junij 2013

Dejan Kozakiv

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	556.1:556.51/.52(043.2)
Avtor:	Dejan Kozakiv
Mentor:	doc. dr. Mojca Šraj
Naslov:	Vpliv vegetacije na vodno bilanco porečja
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	113 str., 16 pregl., 55 sl., 35 en., 1 pril.
Ključne besede:	vodna bilanca, vpliv vegetacije, evapotranspiracija, odtok, prestrežene padavine, zaloge vode, modeliranje, Zhangov model, hidrometrično zaledje, porečje, pokrovnost tal

Izvleček:

Znano je, da imata obseg in vrsta vegetacije vpliv na stanje vodne bilance porečja. S procesom prestrezanja padavin, vegetacija uravnava procese kot sta evapotranspiracija in odtok.

Mnoge raziskave kažejo na znatno povečanje odtoka, pretoka in vodnih zalog po sečnji gozdov. To lahko razložimo z manjšo stopnjo izhlapevanja na porečjih, kjer prevladuje trava z nizkim rastlinjem v primerjavi s tistimi, ki so porasla z gozdovi. V želji po boljšem poznavanju odnosa med spremembami vegetacijskega pokrova in vodnimi zalogami je bil razvit Zhangov model.

Zhangov model smo v praktičnem delu diplomskega dela preizkusili na 125 hidrometričnih zaledjih na območju Slovenije in z njim ocenili stopnjo evapotranspiracije in odtoka ter ju primerjali s podatki Agencije Republike Slovenije za okolje.

V nadaljevanju naloge sta predstavljena prilagojena Zhangova modela, ki sta bila razvita v želji po zmanjšanju odstopanj od merjenih podatkov. Originalni Zhangov model smo prilagodili z uvedbo novih konstant in dopolnili na podlagi ugotovljenih odnosov med letno količino padavin in odstopanji modela.

Ob koncu smo prilagojeni model uporabili za ocenjevanje vpliva spremembe vegetacijskega pokrova na vodno bilanco izbranega porečja.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 556.1:556.51/.52(043.2)
Author: Dejan Kozakiv
Supervisor: Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph. D.
Title: Influence of vegetation on the water balance of catchments
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 113 p., 16 tab., 55 fig., 30 eq., 1 ann.
Key words: water balance, influence of vegetation, evapotranspiration, runoff, precipitation interception, water yield, modelling, Zhang model, hydrometric catchment area, catchment, land cover

Abstract:

It is a well known fact that amount and type of catchment vegetation will affect its water balance. Through process of precipitation interception, vegetation coverage plays an important role in regulating processes as evapotranspiration and runoff.

Many studies have shown significant increase of water surface runoff, discharge and water yield after forest cover was removed. A clear conclusion can be drawn from this: grassed catchments decrease catchment evapotranspiration, while the opposite stands for forested ones. To help determine the exact relations between vegetation cover changes and water yield Zhang's model was developed.

In this graduation thesis Zhang model was put to the test to assess evapotranspiration and runoff of 125 hydrometric catchment areas in Slovenia and results were compared against national meteorological agency data.

Following, two additional extensions of Zhang model were developed to decrease deviations of model from measured data: first one based on determination of new constants, and second one on relationship between annual amount of precipitation and deviations of the model.

In the final part of this work, adapted model is used to assess impact of vegetation cover changes on catchment water balance of hydrometric catchment area of choice.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Mojci Šraj za njen čas, potrpežljivost in strokovno pomoč pri pisanju seminarskega in diplomskega dela.

Gospodu Petru Frantarju iz Agencije Republike Slovenije za okolje se zahvaljujem za posredovane podloge in pripravljenost za pomoč.

Hvaležen sem tudi družini, ki me je v času študija podpirala in spodbujala.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD	1
2 HIDROLOŠKI PROCESI IN POMEN VEGETACIJE	3
2.1 Vodna bilanca porečja.....	3
2.2 Padavine.....	5
2.3 Pojav prestrežanja padavin.....	7
2.4 Efektivne padavine in odtok.....	10
2.5 Evapotranspiracija.....	13
3 VODNA BILANCA KOT FUNKCIJA VRSTE VEGETACIJE	16
3.1 Velikost in oblika vegetacije.....	16
3.2 Izhlapevanje s trave ter izhlapevanje z dreves	18
3.2.1 Neto sevanje in albedo.....	18
3.2.2 Deficit zračnega parnega tlaka, advekcija in površinska upornost zraka	19
3.2.3 Aerodinamična upornost.....	20
3.2.4 Indeks listne površine	21
3.3 Globina koreninjenja in količina rastlini dostopne vode.....	25
4 TEORIJA MODELIRANJA VODNE BILANCE POREČJA.....	27
4.1 Modeliranje prestreženih padavin.....	27
4.2 Modeliranje izhlapevanja iz vegetacije in odtoka.....	29
4.2.1 Izpeljava razmerja med evapotranspiracijo in padavinami.....	29
4.2.2 Pregled modelov za določanje stopnje izhlapevanja	31
4.3 Zhangov in drugi modeli za določanje izhlapevanja z različnih vrst vegetacije.....	33
4.3.1 Teorija in uporabnost Zhangovega modela	33
4.3.2 Alternativni modeli za izračun evapotranspiracije na osnovi podatkov o vegetaciji.....	36

5	UGOTAVLJANJE VPLIVA VEGETACIJE NA VODNO BILANCO POREČIJ V SLOVENIJI	38
5.1	Utemeljitev izbire modela za določitev evapotranspiracije	38
5.2	Nabor osnovnih podatkov	38
5.3	Opis pridobljenih podatkov in priprava potrebnih kart za delo v ArcMap-u.....	41
5.3.1	Karta hidrometričnih zaledij.....	41
5.3.2	Karta pokrovnosti tal	43
5.3.3	Karta srednjih povprečnih letnih padavin	46
5.3.4	Karta srednje povprečne letne evapotranspiracije.....	47
5.3.5	Karta srednjega povprečnega letnega specifičnega odtoka	48
5.4	Izračun deležev rabe tal na posameznih hidrometričnih zaledjih	49
5.5	Ocena evapotranspiracije in odtoka po Zhangovem modelu	50
5.6	Prilagoditve in dopolnitve Zhangovega modela za izračune na območju Slovenije	52
5.6.1	Prilagoditev modela z določitvijo novih konstant.....	52
5.6.1.1	Algoritem prilagojenega Zhangovega modela	52
5.6.1.2	Določitev konstant prilagojenega Zhangovega modela	54
5.6.1.3	Ocena evapotranspiracije in odtoka po prilagojenem Zhangovem modelu	56
5.6.2	Dopolnitev Zhangovega modela na osnovi odnosov med spremenljivkami.....	59
5.6.2.1	Algoritem dopolnjenega Zhangovega modela.....	59
5.6.2.2	Ocena evapotranspiracije in odtoka po dopolnjenem Zhangovem modelu.....	59
5.7	Uporaba dopolnjenega Zhangovega modela za ugotavljanje vplivov sprememb rabe tal na vodno bilanco porečja.....	63
5.7.1	Izbira hidrometričnega zaledja in modela	63
5.7.2	Izdelava scenarijev spremembe pokrovnosti tal in izračun.....	63
6	ANALIZA REZULTATOV	66
6.1	Analiza kvalitete podatkov izdelane karte pokrovnosti tal	66
6.2	Analiza rezultatov originalnega Zhangovega modela.....	67
6.2.1	Analiza ocene evapotranspiracije.....	67
6.2.2	Analiza ocene specifičnega odtoka	70
6.3	Analiza rezultatov prilagojenega Zhangovega modela.....	73
6.3.1	Analiza ocene evapotranspiracije.....	73
6.3.2	Analiza ocene specifičnega odtoka	76
6.4	Analiza rezultatov dopolnjenega Zhangovega modela	78

6.4.1	Analiza ocene evapotranspiracije	78
6.4.2	Analiza ocene specifičnega odtoka.....	80
6.5	Primerjava originalnega, prilagojenega in dopoljenega Zhangovega modela	82
6.6	Analiza rezultatov simulacij spremembe pokrovnosti tal izbranega porečja	87
7	ZAKLJUČKI	89
8	VIRI	90
8.1	Uporabljeni viri.....	90
8.2	Ostali viri.....	111

KAZALO SLIK

Slika 1: Grafični prikaz osnovnih komponent malega vodnega kroga med atmosfero in oceani ter velikega vodnega kroga, ki poteka na, pod in nad kopnim (Povzeto po NEO, 2012).	3
Slika 2: Primer ombrografa z merilnimi inštrumenti, posodo in kolutom za zapis količine padavin (Vir: Počasi-Hrušová, 2013).	6
Slika 3: Hidrološki krog v gozdu in komponente procesa prestrežanja padavin (Povzeto po Roth et al., 2007).	7
Slika 4: Dve zbirni koriti za merjenje prepuščenih padavin, ki sta povezani na zbirno posodo (Vir: SFU, 2013).	9
Slika 5: Linearna aproksimacija odvisnosti letnega pretoka od procenta zmanjšanja vegetacijskega pokrova za tri značilne skupine rabe tal, ki je nastala na podlagi raziskav Boscha in Hewletta leta 1982 (Povzeto po Troendle et al., 2007).	10
Slika 6: Hrast poraščen z epifiti (Vir: Wikipedia – Roger Griffith, 2013).	12
Slika 7: Primer lizimetra za določanje izhlapevanja s stelje (Povzeto po Gerrits, 2010).	15
Slika 8: Prikaz dvojnega vpliva rastline na vodno bilanco skozi faze rasti bombaža do polne razvitosti rastline (Povzeto po Bohmfalk et al., 1983).	17
Slika 9: Vpliv visokega albeda snega na deleže odbite oziroma absorbirane svetlobe (Povzeto po Glantz, 2011).	19
Slika 10: Prikaz odvisnosti razmerja dejanske in potencialne evapotranspiracije (ET/E_o) od površinske upornosti zraka (r_s) (Povzeto po Zhang et al., 1999).	20
Slika 11: Prikaz vrednosti indeksa listne površine glede na biom in rabo tal, ki temelji na analizi približno tisočih raziskav (Povzeto po Scurlock et al., 2001).	22
Slika 12: Eksponentna odvisnost koeficienta izhlapevanja k od indeksa listne površine LAI , kot rezultat raziskav v nasadih evkaliptusa v različnih podnebjih (Povzeto po Specht et al., 1989).	23
Slika 13: Globalni indeks listne površine, ki je bil določen s pomočjo SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) za štiri reprezentativne mesece v letu (Vir: Climate and Vegetation Research Group, 2012).	24
Slika 14: Prikaz Budykovih krivulj različnih modelov ter dveh značilnih mej: A – meja razpoložljive vode ter B – meja razpoložljive energije (Povzeto po Gerrits et al., 2009).	32
Slika 15: Razmerje E/P v odvisnosti od sušnega indeksa E_o/P in različnih vrednosti parametra rastlini dostopne vode w .	34
Slika 16: Krivulji odvisnosti evapotranspiracije in padavin za gozd in travo s koeficientom korelacije r^2 ter oceno napake RMSE (Povzeto po Zhang et al., 1999).	35
Slika 17: Primerjava krivulj Zhangovega modela za gozd ($E_z = 2,0$) in travo ($E_z = 0,5$) s krivuljami modelov Schreiber-ja, Pike-a ter Budyk-a.	36
Slika 18: Hidrometrična zaledja z identifikacijsko šifro.	43

Slika 19: Prikaz območij hidrometričnih zaledij, ki presegajo meje države.	44
Slika 20: Prikaz izdelane karte pokrovnosti tal za območje hidrometričnih zaledij z razdelitvijo rabe tal, kot jo določa Zhangov model.	46
Slika 21: Srednja povprečna letna višina padavin obravnavanih hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000.	47
Slika 22: Srednja povprečna letna višina evapotranspiracije s hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000.	48
Slika 22: Srednja povprečna letna višina specifičnega odtoka hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000.	49
Slika 23: Hidrometrična zaledja (črna barva pisave) s povprečnimi letnimi padavinami, manjšimi od 900 mm (rdeča barva pisave) na katerih ocene specifičnega odtoka primarnega prilagojenega Zhangovega modela močno odstopajo (rjava barva pisave) od dejanskih vrednosti.	55
Slika 24: Prikaz trenutne rabe tal, glede na Zhangov model (levo) ter nadmorskih višin (desno) hidrometričnega zaledja Ljubljani.	64
Slika 25: Deleži rabe tal na hidrometričnem zaledju Ljubljani: simulacija porasta (levo) in opusta (desno) kmetijstva in živinoreje.	64
Slika 26: Primerjava evapotranspiracije Zhangovega originalnega modela in evapotranspiracije ARSO.	68
Slika 27: Spreminjanje evapotranspiracije izračunane po Zhangovem originalnem modelu in evapotranspiracije ARSO v odvisnosti od letne količine padavin.	68
Slika 28: Vpliv deleža gozda na odstopanje ocene evapotranspiracije (Zhangov model) od dejanskih vrednosti ARSO.	69
Slika 29: Visoka odvisnost med odstopanjem ocene evapotranspiracije Zhangovega modela od dejanskih vrednosti in letno količino padavin.	70
Slika 30: Odnos med specifičnim odtokom računanim po Zhangovem modelu in podatki ARSO.	70
Slika 31: Letni specifični odtok kot funkcija letne količine padavin za Zhangov model in podatki ARSO.	71
Slika 32: Odnos med odstopanjem ocene evapotranspiracije in specifičnega odtoka.	72
Slika 33: Vpliv deleža gozda na odstopanje ocene specifičnega odtoka (Zhangov model) od vrednosti ARSO.	72
Slika 34: Odnos med letno količino padavin in odstopanjem Zhangovega modela od ARSO-vih vrednosti.	73
Slika 35: Primerjava evapotranspiracije, ocenjene s prilagojenim modelom in vrednosti ARSO.	74
Slika 36: Odziv evapotranspiracije na padavine po prilagojenem Zhangovem modelu in primerjava s podatki ARSO.	74

Slika 37: Odstopanje ocene evapotranspiracije prilagojenega Zhangovega modela v odvisnosti od deleža gozda.....	75
Slika 38: Odstopanje ocene evapotranspiracije prilagojenega Zhangovega modela v odvisnosti od letne količine padavin.	75
Slika 39: Primerjava specifičnih odtokov ARSO in prilagojenega Zhangovega modela.....	76
Slika 40: Podatki o letni količini specifičnega odtoka ARSO in prilagojenega Zhangovega modela v odvisnosti od letne količine padavin.	76
Slika 41: Odstopanje ocene specifičnega odtoka prilagojenega Zhangovega modela kot funkcije deleža gozda.	77
Slika 42: Vpliv letne količine padavin na odstopanja ocene specifičnega odtoka prilagojenega Zhangovega modela.....	77
Slika 43: Primerjava evapotranspiracije dopolnjenega Zhangovega modela s podatki ARSO.....	78
Slika 44: Primerjava izračuna evapotranspiracije po dopolnjenem Zhangovem modelu In dejanskih vrednosti v odvisnosti od letne količine padavin.....	79
Slika 45: Odstopanje ocene evapotranspiracije dopolnjenega Zhangovega modela od deleža gozda. ..	79
Slika 46: Odstopanje ocene evapotranspiracije dopolnjenega Zhangovega modela v odvisnosti od letne količine padavin.	80
Slika 47: Zelo dobra usklajenost podatkov ARSO in ocene specifičnega odtoka dopolnjenega Zhangovega modela.....	80
Slika 48: Izračuni specifičnega odtoka ARSO in dopolnjenega Zhangovega modela v odvisnosti od letne količine padavin.	81
Slika 49: Vpliv deleža gozda na odstopanja ocene specifičnega odtoka dopolnjenega Zhangovega modela.....	81
Slika 50: Odnos med odstopanjem ocene specifičnega odtoka dopolnjenega Zhangovega modela in letno količino padavin.....	82
Slika 51: Odstopanje ocene evapotranspiracije od dejanskih vrednosti na posameznih hidrometričnih zaledjih za originalni, prilagojeni (za dve skupini vegetacije) in dopolnjeni Zhangov model.....	84
Slika 52: Odstopanje ocene specifičnega odtoka od dejanskih vrednosti na posameznih hidrometričnih zaledjih za originalni, prilagojeni (za dve skupini vegetacije) in dopolnjeni Zhangov model.....	85
Slika 53: Vpliv deleža gozda na letno količino evapotranspiracije za podatke ARSO in izračunane vrednosti originalnega, prirejenega in dopolnjenega Zhangovega modela.....	86
Slika 54: Vpliv deleža gozda na letno količino specifičnega odtoka za podatke ARSO in izračune originalnega, prirejenega in dopolnjenega Zhangovega modela.	87
Slika 55: Rezultati simulacije spremembe pokrovnosti tal z uporabo dopolnjenega Zhangovega modela.....	88 88

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Izrazi za izračun posameznih komponent izhlapevanja prestreženih padavin za originalni (1979), popravljen (1995) in dopolnjen (2001) Gashev model (van Dijk et al., 2001a; Šraj, 2003c).....	28
Preglednica 2: Členi vodne bilance v obdobju 1971-2000 (Vir: Bat et al., 2008b: str 110).....	39
Preglednica 3: Identifikacija hidrometričnih zaledij.....	41
Preglednica 4: Določitev pokrovnosti tal po klasifikaciji CLC in pregled gradnikov treh skupin vegetacije, na podlagi katerih so osnovani deleži rabe tal, uporabljeni v modelu.	45
Preglednica 5: Vrednost korekcijskih koeficientov za posamezne skupine rabe tal.	47
Preglednica 6: Srednja povprečna letna evapotranspiracija in srednji povprečni letni specifični odtok hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000 določena z Zhangovim modelom ter primerjava z vrednostmi iz preglednice 2.	50
Preglednica 7: Konstante prilagojenega (E_g , E_m in E_t) in izvirnega (E_z) Zhangovega modela ter njuna učinkovitost ocenjevanja evapotranspiracije oziroma specifičnega odtoka.	54
Preglednica 8: Izboljšava prilagojenega Zhangovega modela za ocenjevanje specifičnega odtoka na območju Slovenije ter primerjava z originalnim in prilagojenim (brez popravka) Zhangovim modelom.....	55
Preglednica 9: Srednja povprečna letna evapotranspiracija in srednji povprečni letni specifični odtok hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000 določena s prilagojenim Zhangovim modelom ter primerjava z vrednostmi ARSO.....	56
Preglednica 10: Ocena srednje povprečne evapotranspiracije in srednjega povprečnega specifičnega odtoka hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000 z dopolnjenim Zhangovim modelom.....	60
Preglednica 11: Primerjava natančnosti ocene evapotranspiracije in specifičnega odtoka dopoljenega in originalnega Zhangovega modela.	62
Preglednica 12: Deleži rabe tal hidrometričnega zaledja Ljubljaniče za trenutno stanje in primera dveh simulacij s podanim večkratnikom zmanjšanja oziroma povečanja deležev trave in gozda.	65
Preglednica 13: Ocena evapotranspiracije in specifičnega odtoka za dva scenarija spremembe pokrovnosti tal in trenutno stanje na hidrometričnem zaledju Ljubljaniče.	65
Preglednica 14: Kontrola kvalitete podatkov izdelane karte pokrovnosti tal.	66
Preglednica 15: Primerjava učinkovitosti ocenjevanja evapotranspiracije originalnega, prilagojenega in dopoljenega Zhangovega modela.	82
Preglednica 16: Primerjava učinkovitosti ocenjevanja specifičnega odtoka originalnega, prilagojenega in dopoljenega Zhangovega modela.	83

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Komaj dobrim dvem odstotkom vode na Zemlji lahko dodamo pridevnik sladka. To je voda, ki je življenjskega pomena za vsa živa bitja in rastline na kopnem. Človeku dostopne vode pa je še mnogo manj, saj je kar dve tretjini sladke vode ujete v ledenikih in večnem snegu (NEO, 2013).

Osnovne potrebe, kot sta pitje in higiena, predstavljajo le manjši delež vode, ki jo ljudje porabimo za vzdrževanje sodobnih življenjskih navad in standardov. Voda se uporablja tako v gospodinjstvih, pri pridelavi hrane, v komunalni in industriji, kot tudi v rekreacijske in druge namene. Količine vode, ki jih zahteva civilizacija, se stopnjujejo iz dneva v dan, prav tako pa tudi potreba po ustreznih vzorcih upravljanja z njo. Na pomembnost pravih odločitev nas velikokrat opomni narava, ko je vode preveč in prihaja do poplav.

Največji naravni regulator prehajanja vode iz atmosfere na zemeljsko površino in tla, je vegetacija. Proces, preko katerega rastline uravnavajo količino vode, ki prispe na tla in tiste, ki se vrača z izhlapevanjem v ozračje, imenujemo proces prestrezanja padavin.

Splošno prepričanje v znanstvenih krogih je, da gozd povečuje stopnjo izhlapevanja in znižuje odtok (Chang, 2002; Brilly in Šraj, 2000). Nasprotno velja za površine s travo in nižjim rastlinjem. Da je stanje vodne bilance res odvisno od deležev, ki na nekem območju pripadajo posameznim skupinam vegetacije, je potrdilo že veliko raziskav (Twine et al., 2004; Bellot et al., 1999).

O stanju vodne bilance nekega območja običajno sklepamo na podlagi količine evapotranspiracije oziroma izhlapevanja iz njega. Prvi predstavniki modelov, s katerimi je bilo moč določiti evapotranspiracijo iz porečij ali drugih hidroloških zaključenih enot, so se pojavili že v začetku 20. stoletja.

Shreiber je leta 1904 predstavil model (Sankarasubramanian et al., 2003) s katerim je bilo možno oceniti izhlapevanje na podlagi energijske in vodne razpoložljivosti nekega območja. Parameter, v katerega sta vgrajeni omenjeni omejitvi, imenujemo indeks sušnosti in je osnova tudi ostalim modelom, kot sta Ol'dekopov model iz leta 1911 (Gerrits et al., 2009) in Budykov model iz leta 1974 (Arora, 2002).

Modelov, ki bi jih lahko uporabili za napovedi stanja zalog vode pri spremembah vegetacijskega pokrova, ni veliko. Njihov razvoj je še v povojih, uporaba pa ni razširjena. Zaradi svetovne baze podatkov na osnovi katere je nastal, je na tem področju zanimiv predvsem Zhangov model (Zhang et al., 1999), ki omogoča ločen izračun deležev izhlapevanja s trave in gozda. Manj poznan je

Raupachov model (Raupach et al., 2001), katerega uporabo v literaturi skoraj ni moč zaslediti. V časih, ko se rešitve iščejo v novih metodah in spoznanjih, lahko pričakujemo povečano zanimanje tudi za tovrstna orodja.

Cilj diplomske naloge je teoretičen opis delovanja in medsebojnih odnosov hidroloških procesov ter pregled obstoječih metod in orodij, s katerimi merimo in določamo iskane spremenljivke. Predstavljeni so osnovni modeli, ki se uporabljajo za napovedi vplivov spremembe pokrovnosti tal na člene vodne bilance.

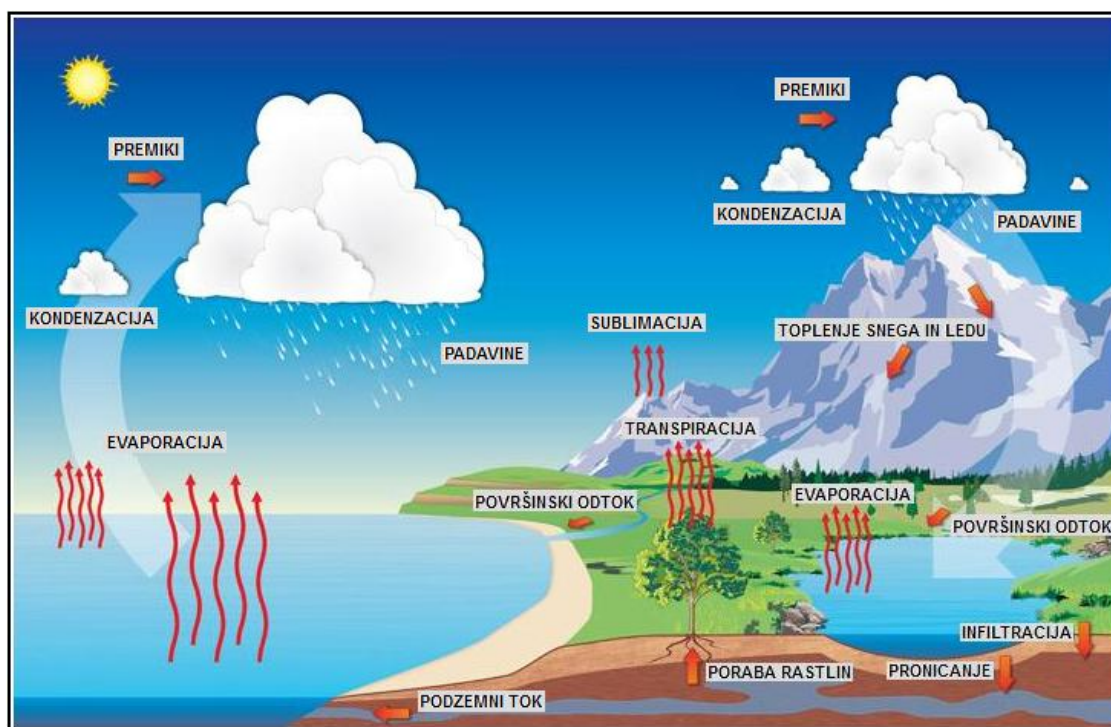
V praktičnem delu naloge je na območju Slovenije preizkušen eden od predstavljenih modelov, njegove ocene pa primerjane z bazo podatkov, na osnovi katere je ARSO izdal poročilo o stanju vodne bilance v Sloveniji. Večja odstopanja ocen smo poizkušali odpraviti s prilagoditvami in dopolnitvami obstoječega modela. S popravljenim modelom smo nato simulirali spremembe pokrovnosti tal in analizirali njegovo natančnost in uporabnost v inženirski praksi.

2 HIDROLOŠKI PROCESI IN POMEN VEGETACIJE

2.1 Vodna bilanca porečja

Naravno kroženje vode v prostoru opisuje pojav, ki ga imenujemo hidrološki krog. Ta zajema gibanje vode v vseh svojih fizičnih stanjih – od tekočega in plinastega do trdnega ter obratno (Bat et al., 2008a), tako na Zemljini površini, kot tudi nad in pod njo (slika 1).

Ločimo dva vodna kroga, malega, ki poteka med atmosfero in oceani, ter velikega, ki poteka na kopnem. Ker predstavljajo oceani kar 97% zalog vode na Zemlji (WHOI, 2012), se glavnina kroženja in izmenjave vode zgodi v malem vodnem krogu, medtem ko je veliki vodni krog veliko bolj raznovrsten in kompleksen za razumevanje (slika 1).



Slika 1: Grafični prikaz osnovnih komponent malega vodnega kroga med atmosfero in oceani ter velikega vodnega kroga, ki poteka na, pod in nad kopnim (Povzeto po NEO, 2012).

»Vsi deli vodnega kroga so med seboj povezani in vsak poganja ostale« (Cegnar, 2003, 13). V splošnem se zaradi svojih neposrednih vplivov na človeka in njegovo okolico, velikemu vodnemu krogu namenja več pozornosti. Sicer pa tudi človek lahko vpliva nanj, medtem ko je to pri malem vodnem krogu skoraj nemogoče.

Hidrološki krog pa ne vpliva le na razporeditev vode v prostoru. Posledica kroženja vode je tudi izmenjava energije, ki vodi do temperaturnih sprememb in vplivov na podnebje in klimo (Wikipedia, 2013). Ko na primer voda izhlapi, odvzame iz okolice energijo in jo s tem ohladi. Če voda preide v fazo kondenzacije, se energija sprosti in okolje ogreje.

Matematični zapis, ki predstavlja oceno količine vode v zaključenem območju in določenem časovnem obdobju, imenujemo vodnobilančni račun. Po Zhangu in sodelavcih (1999) lahko osnovne komponente hidrološkega kroga in njihovo medsebojno odvisnost izrazimo z naslednjo enačbo:

$$P = ET + Pe + \Delta S + \Delta G \quad (1)$$

kjer je:

P padavine [mm];

ET evapotranspiracija [mm];

Pe efektivne padavine [mm] oziroma površinski odtok [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$];

ΔS sprememba vlažnosti zemljine [mm];

ΔG sprememba zalog podtalne vode [mm].

Med ponavljajočimi se procesi padavin in izhlapevanja so poti kroženja vode lahko zelo različne. Padavine lahko prestreže vegetacija, iz katere voda neposredno izhlapi nazaj v ozračje ali po njej odteče proti tlom. Če padavine padejo na prst, se voda lahko infiltrira v tla, kjer se tvori podtalnica in bazni odtok ali pa jo vsrka koreninski sistem. Voda iz vrhnjih plasti prsti izhlapi ali odteče kot površinski odtok.

Iz enačbe vodne bilance lahko razberemo, da je ta odvisna od številnih dejavnikov, kot so: razporeditev in gostota vegetacije, vrsta prsti, dinamika padavin in višina podtalnice na obravnavanem območju (Kozakiv, 2012). Če vzamemo v obzir, da sta zadnja dva člena v enačbi (1), ΔS in ΔG , v povprečju za daljša časovna obdobja enaka 0 (Kolbenzen et al., 1998; Zhang et al., 1999), lahko enačbo vodne bilance zapišemo v poenostavljeni obliki:

$$P = ET + Pe \quad (2)$$

Pri analizah vodne bilance se običajno omejimo na zaključena območja, ki jih imenujemo hidrometrična zaledja. Zanje namreč poleg lažje določljivih komponent, kot sta količini padavin in izhlapevanja v danem obdobju, lahko izmerimo tudi odtok obravnavanega območja. Tega izmerimo kot pretok vode skozi merski profil vodomerne postaje, v njem pa so zajete vse oblike pretakanja vode

na danem območju – od površinskega odtoka do tokov vode pod prstjo in pretokov vodotokov. Enačba, ki povedano opisuje, upošteva pa tudi eventuelne dotoke vode iz drugih območij, ima naslednjo obliko (Bat et al., 2008a):

$$P + Q_v = Q_o + I + dS \quad (3)$$

kjer je:

P padavine [mm];

Q_v dotok [m^3/s];

Q_o odtok [m^3/s];

I izhlapevanje [mm];

dS sprememba zalog [mm].

Ker se bomo v diplomski nalogi ukvarjali s preučevanjem vpliva vegetacije na vodno bilanco porečij na podlagi povprečij večletnih meritev, bodo v nadaljevanju podrobneje opisani procesi padavin, prestrezanja padavin, odtoka in evapotranspiracije ter vloga vegetacije pri le-teh.

2.2 Padavine

Kljub temu, da v sistemu vodnega kroga ni izgub in voda neprestano kroži, pa pri proučevanju dela kroga ali posameznih komponent običajno smatramo padavine za glavno vhodno komponento oziroma vir vode. Splošna razlaga o nastanku padavin, govori o njihovem tvorjenju v ozračju preko procesov kondenzacije in sublimacije, ko se vodni hlapi dvigujejo in ustvarjajo zaloge v oblakih. V danem trenutku te nato zaradi vpliva težnosti začno padati proti tlom. V kakšni obliki padavine prispejo do zemeljskega površja je odvisno predvsem od temperature v oblakih in temperature plasti zraka, skozi katere voda potuje (Cegnar, 2003). Vendar pa je potrebno poudariti, da padavine niso le voda, ki nastaja visoko v atmosferi, temveč ta pojem zajema tudi vse oblike kondenzirane vodne pare, ki se tvori tako v Zemljinem ozračju, kot tudi na njenem površju.

Znano je, da na količino padavin vplivajo geografska širina, bližina morja, relief in večja mesta (Brilly in Šraj, 2000). Manj pa so si znanstveniki enotni glede vpliva gozda in vegetacije. Enotnega odgovora na vprašanje ali gozd skupno količino padavin povečuje ali zmanjšuje tako še ni (Chang, 2002). Sodobne raziskave na podlagi stabilnih izotopov vodika in kisika, ki jih od leta 1981 uporabljajo tudi v Sloveniji (Vreča et al., 2008), kažejo na to, da je prispevek gozda enak 30 do 50 % vseh padavin, ki se tvorijo na območjih, kjer raba tal pripade pretežno gozdu (ForestFacts.org, 2012). Hawksworth in Atkinson (1926) sta v svoji knjigi omenila dva načina s katerimi gozd lahko vpliva na padavine. Kot

prvega sta izpostavila bolj hladen in vlažen zrak, ki se v primerjavi z ostalimi območji zadržuje v gozdovih, kot drugega pa upor, ki ga drevesa predstavljajo gibanju vetrov in zraka. Ko vlažnost doseže svoj maksimum ali pride v stik s toplejšimi vetrovi, ki prinašajo nasičen zrak, se to odrazi kot padavinski dogodek.

Veliko bolj pa je poznan učinek gozda na povečanje horizontalnih padavin (Kozakiv, 2012). Zaradi zmanjšanja sončne radiacije pod krošnjami dreves in omejenega stika z atmosfero, se v gozdovih lahko zadržujejo večje količine vlage. Mnoge raziskave (Lovett et al., 1989; Scholl et al., 2010; von Glasow et al., 1999; Giambelluca et al., 2011) kažejo na to, da se lahko ob prisotnosti kondenzacijskih padavin, razmerja med posameznimi komponentami močno spremenijo. Kondenzacijske padavine, t.j. vodne kapljice, se s kondenzacijo odlagajo na rastlinje ali druge trde predmete (Smolej, 1988) in tako na podoben način, kot padavine iz atmosfere prispevajo k vodni bilanci. Giambelluca in sodelavci (2011) v svojih raziskavah ugotavljajo, da lahko gozd prestreže kondenzacijske padavine velikosti do 48 % vseh letnih padlih padavin, od česar naj bi jih kar 74 do 83 % prispevalo k bilanci prepuščenih padavin, ki prispejo do gozdnih tal.



Slika 2: Primer ombrografa z merilnimi inštrumenti, posodo in kolutom za zapis količine padavin (Vir: Počasi-Hrušová, 2013).

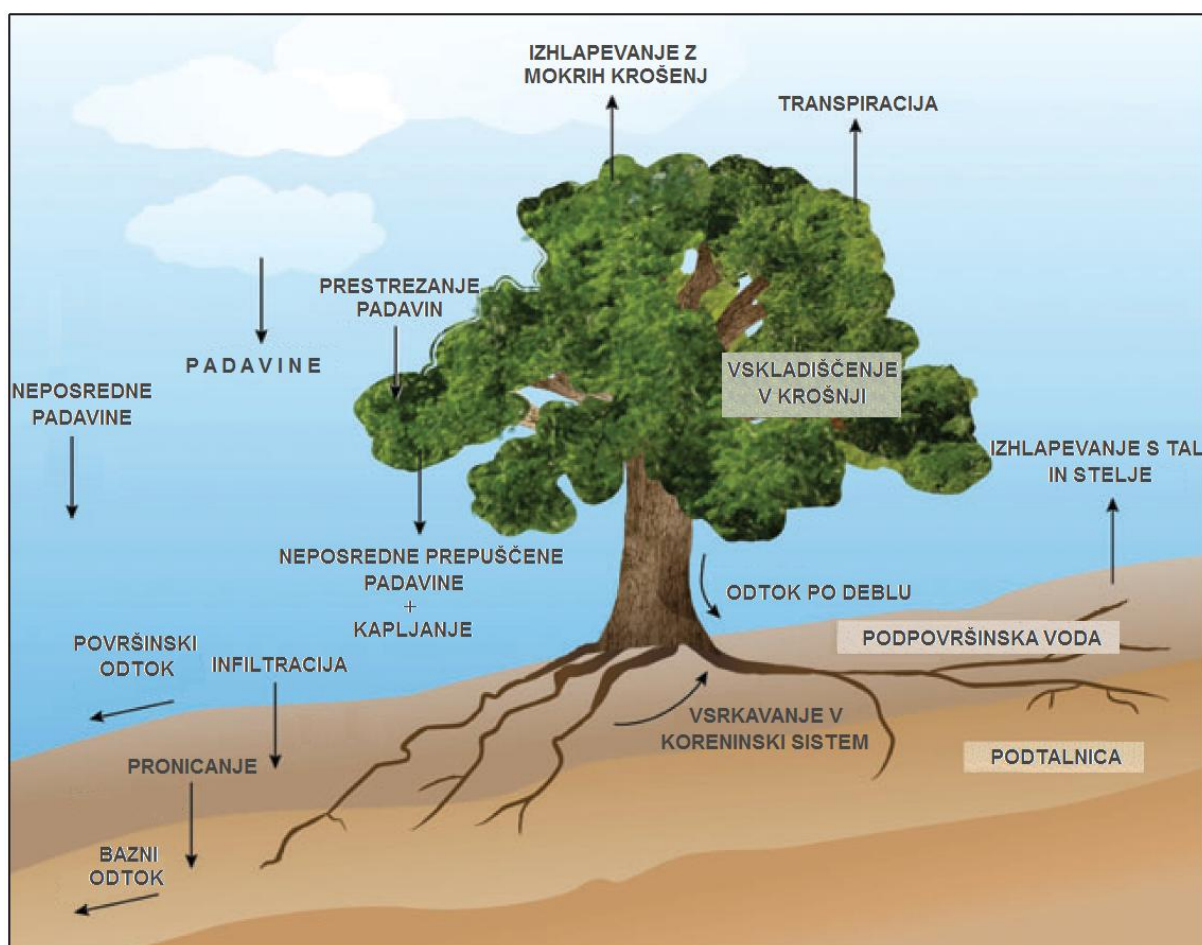
Za določanje in merjenje padavin se je do danes razvilo mnogo metod in merilnih instrumentov (Kurtyka, 1953). Sodobne meritve se izvajajo z dvema vrstama merilnikov, ki se ločita glede na način odčitavanja. Tako ločimo avtomatske in ročne merilne naprave. Zaradi medsebojne kontrole in izključitve eventualnih napak je priporočljivo simultano merjenje na obeh vrstah instrumentov.

Pogosto se tako uporablja ombrograf (slika 2), ki je sestavljen iz merilne posode in mehanizma, ki avtomatsko zapisuje meritve v odvisnosti od časa, v kombinaciji z ombrometrom oziroma dežemerom za ročno odčitavanje (Šraj, 2009).

Merjenje kondenzacijskih padavin je nekoliko težje zaradi njihovega horizontalnega gibanja. Med drugim se za meritve uporablja metode zaznavanja na podlagi stabilnih izotopov vodika in kisika (Yoshida et al., 2002; Liu et al., 2007; Scholl et al., 2010), ravninske filterne lovilce megle (Giambelluca et al., 2010) ter določanje na podlagi biomase epifitov (Jarvis, 2000; Pypker et al., 2006a; Pypker et al., 2006b; Nadkarni et al., 2004).

2.3 Pojav prestrezanja padavin

V gozdu so padavine glavni vir vode hidrološkega kroga. Vegetacija je prva, ki pride v stik z njimi, zato si odnos med njima zasluži še posebno pozornost (Šraj, 2003a). Pojav, ki opisuje ta odnos imenujemo pojav prestrezanja padavin (slika 3).



Slika 3: Hidrološki krog v gozdu in komponente procesa prestrezanja padavin

(Povzeto po Roth et al., 2007).

Poznavanje dinamike pojava prestrežanja padavin je bistvenega pomena pri določanju vodne bilance v gozdu in na drugih območjih, prekritih z vegetacijo. Po FAO (2011) je od 29,6 odstotkov zemeljske površine, ki ni prekrita z vodami, kar 30 odstotkov oziroma 38,69 milijonov km² površine prekrivane z gozdovi. V Sloveniji zavzema gozd še bistveno več pokrajine, in sicer kar 58,5% (ARSO, 2011).

V gozdovih predstavljajo drevesa in ostala vegetacija bistveni dejavnik, od katerega je odvisno, koliko padavin bo doseglo tla. Del padavin, ki ne pade neposredno skozi odprtine na tla, imenujemo prestrežene padavine. Del prestreženih padavin lahko nato bodisi odteče po deblih oziroma prikaplja z listov in vej na tla ali pa izhlapijo nazaj v ozračje. Za padavine, ki izhlapijo med ali po nalivu, uporabljamo pojem izhlapele prestrežene padavine (E_i , angl. *interception loss*), medtem ko se delež padavin, ki pade neposredno skozi odprtine v krošnji in delež padavin, ki kasneje iz listov in vej prikaplja na tla, obravnava pod skupnim izrazom kot prepuščene padavine (T_f , angl. *throughfall*). Del prestreženih padavin, ki se steka iz listov na veje in iz vej priteče do tal po deblu (Šraj, 2003c) imenujemo odtok po deblu (S_f , angl. *stemflow*). Odtok po deblu se predvsem pri večjih in starejših iglastih drevesih lahko sploh ne pojavi (Williams, 2004), medtem ko predstavlja pri listnatih vrstah dreves le manjši delež prepuščenih padavin (Manfroi et al., 2004; Ovington, 1954; Horton, 1919).

Bilančna enačba, ki vsebuje glavne komponente pojava prestrežanja padavin ima naslednjo obliko (Šraj, 2003c):

$$P = T_f + S_f + E_i \quad \rightarrow \quad E_i = P - (T_f + S_f) \quad (4)$$

kjer je:

P padavine [mm];

T_f količina padavin, ki padejo skozi odprtine v krošnji neposredno na tla in padavin, ki kasneje prikapljujejo s krošenj do tal [mm];

S_f odtok po deblu [mm];

E_i izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj [mm].

Količina prestreženih padavin je lahko zelo različna in je odvisna od številnih parametrov, kot so: kapaciteta krošnje, gostota vegetacije, intenziteta, trajanje in pogostost padavin, vrste padavin, klimatski pogoji ter časovno obdobje v letu (Rutter, 1963 cit. po Fahey, 1964; Ovington, 1954; Lah, 2007; Šraj, 2003c). Pri količini vode, ki prispe do tal, so torej znatnega pomena tako vegetacijske kot časovno-meteorološke spremenljivke, ki so si v prostoru zelo različne.

Raziskave, ki jih je na različnih vrstah vegetacije opravil Ovington (1954) kažejo, da so lahko izgube zaradi prestrežanja vegetacije in izhlapevanja enake 6 do 93 odstotkov vseh padlih padavin. Za listnate vrste dreves v gozdu so značilne vrednosti prestreženih padavin enake 20-25 % padavin, medtem ko je razpon pri iglavcih nekoliko večji in sicer med 20 in 40 % (Geiger et al., 2003). Da so količine prestreženih padavin lahko zelo različne tudi znotraj iste drevesne vrste, je pokazal Ufoegbune s sodelavci (2010) na primeru indijske melije, kjer so prestrežene padavine v različnih klimatskih pogojih znašale med 2 in 98 odstotkov padlih padavin. Pri listnatih vrstah dreves se sposobnost prestrežanja padavin spreminja sezonsko preko celega leta, kar je posledica odpadanja in rasti listja.

Za merjenje prepuščenih padavin se prvenstveno uporablja dve vrsti merilnih posod: totalizator ali zbirno posodo oziroma korita. Medtem, ko lahko s totalizatorjem izmenično merimo na različnih točkah pod krošnjo drevesa in zajamemo vpliv prostorske porazdelitve padavin, sodijo korita in druge zbirne posode (slika 4) med nepremično opremo, v kateri se zbira voda vedno na istem mestu pod drevesom.



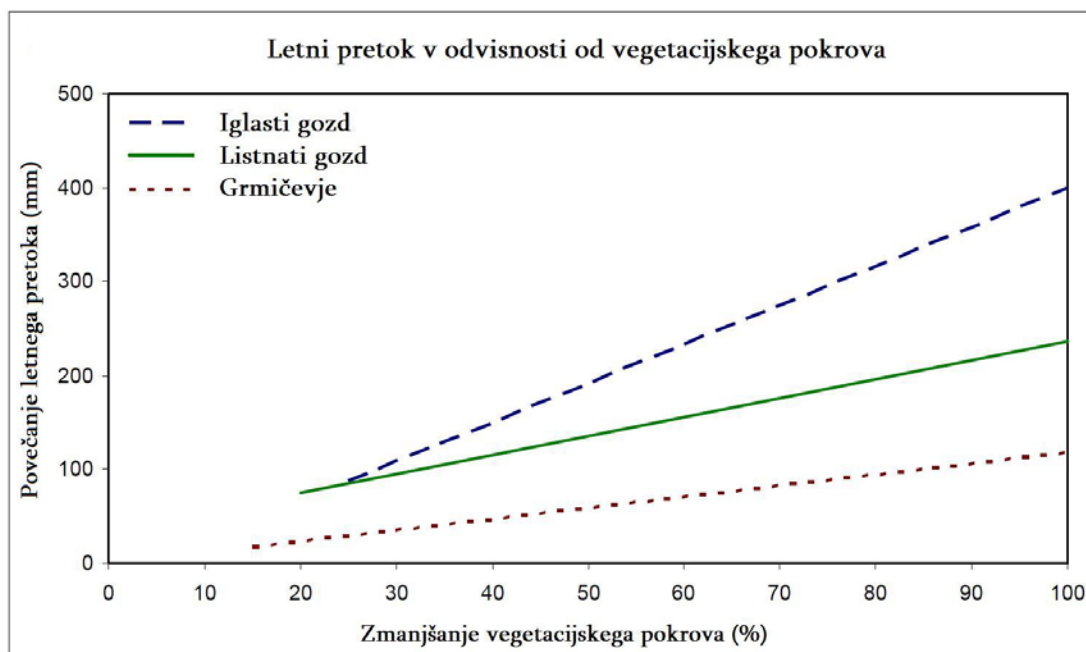
Slika 4: Dve zbirni korita za merjenje prepuščenih padavin, ki sta povezani na zbirno posodo (Vir: SFU, 2013).

Interakcija med vegetacijo in padavinami ima v hidrološkem krogu torej pomembno vlogo, saj se na njeni osnovi oblikujejo deleži vode, ki prispevajo k posameznim komponentam vodne bilance. Poleg tega vegetacija spreminja tudi intenziteto in porazdelitev padavin, kar direktno vpliva na količino odtoka, ki se formira pod drevjem in ostalim rastlinjem.

2.4 Efektivne padavine in odtok

Efektivne oziroma prepuščene padavine ter njihov vpliv na zaloge vode in odtok so eden najbolj raziskanih pojavov v gozdni hidrologiji. Padavine, ki dosežejo tla, se odrazijo v količini vode v tleh, stanju pretokov v strugah vodotokov ter površinskem odtoku.

Pri raziskavah vodne bilance smatramo, da višek padavin, ki ne izhlapi, odteče kot odtok. S tem pojmom opisujemo premikanje dela padavinske vode do kanaliziranega vodotoka (Davie, 2008) v oblikah baznega in površinskega odtoka oziroma tako premike vode v tleh kot tudi na površini. Od infiltracijskih zmožnosti zemljine je odvisno ali se pojavi površinski odtok, ki odteče po gozdnih tleh kot Hortonov površinski odtok. Ta se pojavi, ko je količina prepuščenih padavin večja od infiltracijske kapacitete zemljine. Odtok je najlažje določiti kot pretok v strugah vodotokov, vendar je to mogoče le na mestih, kjer lahko z dovolj veliko zanesljivostjo sklepamo, da ta res predstavlja večino odtoka z določenega vodozbirnega območja. Kjer taka poenostavitev ni mogoča, je potrebna izdelava analize površja obravnavanega območja, na podlagi katere se določi razvodnice, ki nam podajo podatek o tem kam se odtok steka. Odtok se nato določi kot vsota deležev pretokov v vodotokih, ki pripadejo obravnavanemu območju (Bat et al., 2008a).



Slika 5: Linearna aproksimacija odvisnosti letnega pretoka od procenta zmanjšanja vegetacijskega pokrova za tri značilne skupine rabe tal, ki je nastala na podlagi raziskav Boscha in Hewletta leta 1982 (Povzeto po Troendle et al., 2007).

Odtok je v gozdovih neposredno odvisen od padavin, ki dosežejo tla (slika 5), kar pričajo tudi številne študije pogozdovanja in sečnje gozdov. Zhang in sodelavci (2009) so z analizo podatkov 43 let

dolgega spremljanja padavin in površinskega odtoka v povodju na Kitajskem, prišli do zaključka, da se lahko pri spremembi vegetacijskega pokrova iz 0 na 100%, zmanjša površinski odtok tudi za 83%. O veliki medsebojni odvisnosti poročajo tudi druge raziskave (Fritsch, 1993; Xiao et al., 1998; Zhang et al., 2009). Ugotovitve pa ne veljajo samo za območja, na katerih se pretežno razraščajo gozdovi. V urbanem okolju lahko drevesa zmanjšajo odtoke velikosti od 2 do 7% letnih vrednosti (Fazio, 2011) in tako znatno pomagajo pri razbremenitvi omrežij za odvodnjavanje vode iz javnih površin (Kompere, 1991).

V študijah soodvisnosti vegetacijskega pokrova in vodnih zalog se prvenstveno uporabljata dva načina pridobivanja informacij. Pri prvem načinu se raziskave fizično izvedejo na terenu in vključujejo dve sorodni eksperimentalni ploskvi, kjer je ena izmed njiju podvržena spremembi vegetacijskega pokrova, medtem ko ima druga status kontrolne ploskve in služi uravnavanju eventualnih razlik med obema v prsti, topografiji in drugih dejavnikih, ki bi lahko vplivali na vodno bilanco. Pri drugem načinu, se informacije pridobiva iz hidroloških raziskav, kjer so bodisi različni procesi podvrženi spremembam klimatskih pogojev oziroma vrste prsti ali pa se preučuje vplive različnih vrst vegetacije (Zhang et al., 1999).

Na osnovi analize podatkov 39 raziskav odvisnosti količin vode od vegetacijskega pokrova, je Hibbert (1967) svoje ugotovitve strnil v treh točkah (Kozakiv, 2012):

- Krčenje gozdnih površin se odrazi v večji količini vode na enoto površine in povečanju vodnih zalog;
- Pogozdovanje oziroma zasaditev površin z vegetacijo zmanjšuje količino vode na enoto površine in zmanjšuje vodne zaloge;
- Odzivnost vodnih zalog in odtoka na spremembe v vegetacijskem pokrovu je spremenljiva in nepredvidljiva.

Medtem, ko lahko za prvi dve ugotovitvi Hibberta trdimo, da sta logični posledici procesa prestrezanja padavin, je potrebno razloge za tretjo trditev iskati v različnih hidroloških in vegetacijskih parametrih posameznih eksperimentalnih ploskev. Razlike v času koncentracije odtoka, starosti gozda ter stopnji evapotranspiracije lahko bistveno vplivajo na odziv odtoka na posameznem območju.

Razlike v času koncentracije odtoka so posledica več dejavnikov, kot so: vrsta padavin in vegetacije, topografija terena, itd. Raziskave navajajo, da se vpliv gozda kaže v raztegnjenem trajanju odtoka in zmanjšanju njegovih konic, kar ugodno vpliva na vodni režim (Chang, 2002). Čas koncentracije odtoka je lahko odvisen tudi od izbire poti, po kateri voda prispe do merilne točke. Poleg opisanih načinov, s katerimi lahko gozd oblikuje in uravnava odtok, je namreč potrebno omeniti še vlogo listja, ki se nabira na gozdnih tleh. To znatno povečuje površinski odtok, medtem ko ovira pronicanje v tla in

s tem zmanjšuje čas koncentracije odtoka (Lowdermilk, 1930). Možno bi bilo torej sklepati, da vrsta drevesa – iglavec oziroma listavec – poleg razlik v količini prepuščenih padavin, vpliva na odtok tudi preko odmrle biomase, ki se nabira na tleh pod njimi.

»Odtok površinskih voda in s tem razpoložljive količine vode so obratno sorazmerni s starostjo gozda« (Brilly in Šraj, 2000, 172), kar pomeni, da starejši gozdovi lahko prestrežejo več padavin (Fahey, 1964). Xiao in sodelavci (2000a) ugotavljajo, da lahko nekatera stara drevesa prestrežejo do 59% letnih padlih padavin. Razlogov za dejstvo, da lahko stara drevesa vskladiščijo več vode kot mlada je več. Poleg gostejših in bolj razraščenihih krošenj, najdemo pri starejših drevesih tudi večjo prisotnost mahov oziroma epifitov (slika 6), katerih populacija se s staranjem gozda povečuje (Díaz et al., 2010). Epifiti imajo namreč sposobnost shranjevanja velikih količin vode. Stara drevesa imajo po nekaterih raziskavah (Nadkarni et al., 2004; Díaz et al., 2010) debela prekrita z do 40-krat večjo biomaso epifitov, na vejah pa tudi do 100-krat. Tudi raziskave pestrosti mahovnih vrst v Sloveniji (Ódor et al., 2002; Kutnar et al., 2008) kažejo na razmeroma veliko prisotnost drevesnih mahov, in sicer tako epifitnih kot tudi lignikolnih vrst, ki lahko uspevajo na živem ali odmrlem lesu.



Slika 6: Hrast poraščen z epifiti (Vir: Wikipedia – Roger Griffith, 2013).

Sečnja gozdov se v vodotokih odrazi s povečanjem letnih in sušnih pretokov. V splošnem v znanstvenih krogih velja prepričanje, da sečnja gozdov avtomatsko povzroči zmanjšanje minimalnih pretokov in povečanje maksimalnih, kar je še posebej opazno v tropih (Šraj, 2003c). Potrebno pa je poudariti, da ima lahko gozd na nekaterih območjih tudi negativne vplive na vodni režim. Ker drevesa porabijo veliko več vode kot manjše rastlinje, so lahko po zasaditvi večjih površin z drevjem močno ogrožene zaloge vode v tleh (Šraj, 2003b).

2.5 Evapotranspiracija

Evapotranspiracija je pojav, s katerim opisujemo izhlapevanje iz tal, podrastja in dreves v ozračje ter zajema procesa evaporacije in transpiracije. Zanj se je zato uveljavil tudi izraz skupno izhlapevanje (Kite et al., 2000; Kongo et al., 2008). Osnovne komponente, ki prispevajo k evapotranspiraciji, lahko razberemo iz bilančne enačbe (Šraj, 2003c):

$$ET = E_i + E_t + E_s \quad (5)$$

kjer je:

ET evapotranspiracija [mm];

E_i izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj [mm];

E_t transpiracija [mm];

E_s izhlapevanje iz tal in stelje [mm].

»Zelo pomembno je ločiti med seboj procesa transpiracije E_t in izhlapevanja prestreženih padavin z mokrih krošenj E_i , saj je prvi odvisen od stomatalne kontrole vegetacije, drugi pa od aerodinamičnih lastnosti vegetacije« (Bruijnzeel, 2000 cit. po Šraj, 2003c, 3).

Transpiracija, ki jo v gozdni hidrologiji imenujemo tudi primarna poraba vode (Smolej, 1988), je v svojem bistvu transport vode, ki jo rastlina preko svojega koreninskega sistema počrpa iz tal, po uporabi pa iz površin nad tlemi vrača nazaj v atmosfero. Skozi rastlino se voda premika s pomočjo razlik vodnih tlakov oziroma površinske napetosti na površini listov (Monteith, 1965). Potek transpiracije je odvisen tudi od količine prejetega sončnega sevanja, temperature, svetlobe, vlažnosti zraka, hitrosti vetra, posredno pa tudi od rastne dobe rastlin, lastnosti zemljine, slanosti vode v zemljini in talne vlage (Kumagai et al., 2005; Šraj, 2003c).

Prehod vode iz tekočega v plinasto stanje imenujemo izhlapevanje ali evaporacija. Da je količina izhlapevanja neposredno odvisna od količine prestreženih padavin, je dokazal Horton (1919). Razloge za tako ugotovitev je smiselno iskati v ostalih dejavnikih, ki vplivajo na aktivnost procesa transpiracije. Ti se bistveno razlikujejo, če jih analiziramo na drevju, travi ali goli prsti. Med pomembnejše sodijo naslednji trije (Smith, 2013; Zhang et al., 1999; Kozakiv, 2012):

- Količina sončnega sevanja, ki doseže površino (v gostih gozdovih, kjer do tal prodre manj sončnega sevanja poteka proces izhlapevanja v manjšem obsegu kot sicer);
- Nasičenost zraka z vodnimi hlapi (v gozdovih z manjšim odstotkom vlažnosti proces poteka intenzivneje);

- Veter (v brezvetrju voda počasneje izhlapeva, saj veter proces pospešuje – zlasti, če dovaja latentno toploto).

Ko govorimo o skupnem izhlapevanju, ločimo izraza potencialna in dejanska evapotranspiracija. Potencialna evapotranspiracija je največja možna stopnja prehoda vode iz vlažnih tal in površine rastlin v ozračje, ki se lahko izvrši ob določenih podnebnih razmerah, skozi procesa evaporacije in transpiracije, ob pogoju, da je voda na razpolago v neomejenih količinah in je območje v celoti prekrito z rastlinstvom (Weiß et al., 2008; Kosa, 2011). Definicijo dejanske evapotranspiracije podaja Mikoš s sodelavci (2002), in sicer ta predstavlja celotno količino vode, ki izhlapi iz površine tal in rastlin pri naravni količini vlage v tleh. Za izračun potencialne evapotranspiracije se mnogokrat uporablja tudi t.i. referenčno evapotranspiracijo, ki predstavlja evapotranspiracijo, pri kateri bi voda izhlapela iz travnate površine višine 0,12 m oziroma lucerne (orig. alfalfa) visoke 0,5 m pri konstantni površinski upornosti 70 s/m in albedom 0,23 (Howell et al., 2004).

Za določitev skupnega izhlapevanja se uporablja različne metode, ki jih uvrščamo v eno izmed treh značilnih skupin (Allen et al., 1998; Łabędzki, 2011):

- Metode, ki temeljijo na izračunu evapotranspiracije na podlagi poznavanja parametrov energijske bilance - sem spadajo tudi mikro-klimatološke metode;
- Metode, ki temeljijo na določitvi evapotranspiracije na podlagi poznavanja parametrov, ki nastopajo v enačbi vodne bilance tal;
- Ostale metode za določanje evapotranspiracije (uporaba lizimetrov, izračun na podlagi poznavanja meteoroloških podatkov, itd.).

Med novejšimi pristopi se v zadnjem času uveljavlja predvsem daljinsko zaznavanje in uporaba satelitov (Teixeira, 2010; Jovanovic et al., 2011; Vinukollu et al., 2011; Tsouni et al., 2008; Carlson, 2007; Botkin et al., 1986). Njihova uporaba je pogosta predvsem za namene določanja globalne evapotranspiracije, za katere v tem trenutku ne obstaja nobena alternativa (Choudhury et al., 1998a), medtem ko se za regionalne meritve znanstveniki še vedno raje poslužujejo uveljavljenih metod in postopkov, kot so izračuni potencialne evapotranspiracije s Priestley-Taylorjevo metodo (Priestley et al., 1972), Kimberly-Penmanovo (poznana tudi kot Penman-Wrightova metoda) in Jensen-Haisejevo metodo (Dockter, 1994; Wright, 1982), Penman-Monteithovo metodo (Howell et al., 2004; WMO, 1994; Penman, 1948) in Hargreaves-ovo metodo (Hargreaves et al., 2003). Rezultati posameznih metod se lahko med seboj zelo razlikujejo (Weiß et al., 2008), predvsem po letu 1990, pa se je v znanstvenih krogih močno uveljavila Penman-Monteithovo enačba, ki jo je FAO tega leta predlagal za standardno metodo izračuna potencialne evapotranspiracije. V nadaljevanju podajamo Penman-Monteithovo enačbo v FAO-56 obliki (Allen et al., 1998; Šraj, 2003c):

$$\lambda ET = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \rho \cdot c_p \cdot (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_s / r_a)} \quad (6)$$

kjer je:

- λET potencialna evapotranspiracija (latentni toplotni tok) [W/m²];
- λ latentni toplotni tok izhlapevanja = 2,501 · 10⁶ J/kg (Serreze, 2011);
- R_n neto radiacija kratkovalovnega in dolgovalovnega sevanja (razlika med sprejeto in odbito radiacijo) [W/m²];
- G segrevanje tal [W/m²];
- ρ povprečna gostota zraka pri konstantnem pritisku [kg/m³];
- c_p specifična toplota zraka [J/kg/K];
- e_s nasičeni zračni parni tlak [Pa];
- e_a dejanski zračni parni tlak [Pa];
- $e_s - e_a$ deficit zračnega parnega tlaka [Pa];
- Δ nagib krivulje nasičenega parnega tlaka pri temperaturi T [Pa/K];
- r_a aerodinamična upornost [s/m];
- r_s površinska upornost [s/m];
- γ psihrometrična konstanta [Pa/K].

Za fizično merjenje količin evapotranspiracije se pogosto uporablja lizimetre (slika 7), s katerimi v naravnem okolju (in-situ) ali umetno ustvarjenih, nadzorovanih (in-vitro) pogojih, na osnovi gravimetričnih meritev določamo neznane količine. Poleg uporabe pri meritvah količin izhlapevanja iz rastlin in tal, se uporabljajo tudi za določanje stopnje sublimacije snega, ugotavljanje deleža površinskega odtoka ter stopnje in hitrosti infiltracije v zemljino (Nakai et al, 1994; Strock et al, 2002; Gerrits, 2010).



Slika 7: Primer lizimetra za določanje izhlapevanja s stelje (Povzeto po Gerrits, 2010).

3 VODNA BILANCA KOT FUNKCIJA VRSTE VEGETACIJE

Kolikšen delež padavin prispeva k vodni bilanci nekega območja, je v naravnem okolju odvisno predvsem od vrste vegetacije in procesov, ki se vežejo nanjo. V prejšnjih poglavjih smo že povedali, da se količina prestreženih padavin pri različnih drevesnih vrstah zelo razlikuje, v splošnem pa lahko iglavci vskladiščijo več vode kot njihovi listnati sorodniki. Ugotovljeno je bilo na primer, da znašajo vodne izgube v borovih gozdovih 23 % (Kim et al., 1988) in 29 % (Dabral et al., 1968), medtem ko znašajo te v gozdovih evkaliptusa, ki je listnato zimzeleno drevo 8 % (Pook et al., 1991) oziroma 19 % (Duncan et al., 1978, cit. po Lima, 1984). V nadaljevanju si bomo podrobneje pogledali na kakšen način vegetacija ter meteorološki in hidrološki parametri povezani z njo, vplivajo na končne zaloge vode na določenem območju. Ob tem bomo posebno pozornost namenili razlikam, ki pri prispevanju k vodni bilanci nekega območja, nastajajo pri dveh skrajnih oblikah vegetacije – travi (oziroma poljščinam) ter drevju.

3.1 Velikost in oblika vegetacije

Oblika in velikost vegetacije bistveno vplivata na količino vode, ki prispe do tal. Pri drevju je po Gashu (1979) od njiju odvisno pet parametrov, s pomočjo katerih določamo količino padavin, ki jih lahko prestreže krošnja:

- skladiščna zmogljivost krošnje,
- delež padavin, ki pade neposredno na tla,
- parametra odtoka po deblih in
- relativna intenziteta izhlapevanja.

Skladiščna zmogljivost krošnje, ki predstavlja količino vode, ki ostane na zasičeni krošnji po prenehanju padavin in v času, ko preneha iz nje kapljati in/ali odtekati voda, ob pogoju da je izhlapevanje enako nič (Gash et al., 1978), je odvisna predvsem od gostote in starosti vegetacije, predvsem pri listavcih pa se spreminja tudi sezonsko (Link, 2004; van Dijk et al., 2001a). Pri starejših drevesih je večja tako zaradi večje razraščенosti krošnje (Pypker et al., 2005), kot tudi večje prisotnosti epifitov na njihovih vejah in deblih (Hölscher et al., 2004; Pypker et al., 2004). Relativna intenziteta izhlapevanja je neposredno vezana na skladiščno zmogljivost krošnje (Horton, 1919):

$$E_i = a \cdot P + b \tag{7}$$

Po Gashu (1979) parameter b predstavlja aproksimacijo skladiščne zmogljivosti krošnje, medtem ko predstavlja naklon regresijske premice (razmerje med izhlapeli E_i in celotnimi padavinami P) relativno intenziteto izhlapevanja a :

$$a = \overline{E}/\overline{R} \quad (8)$$

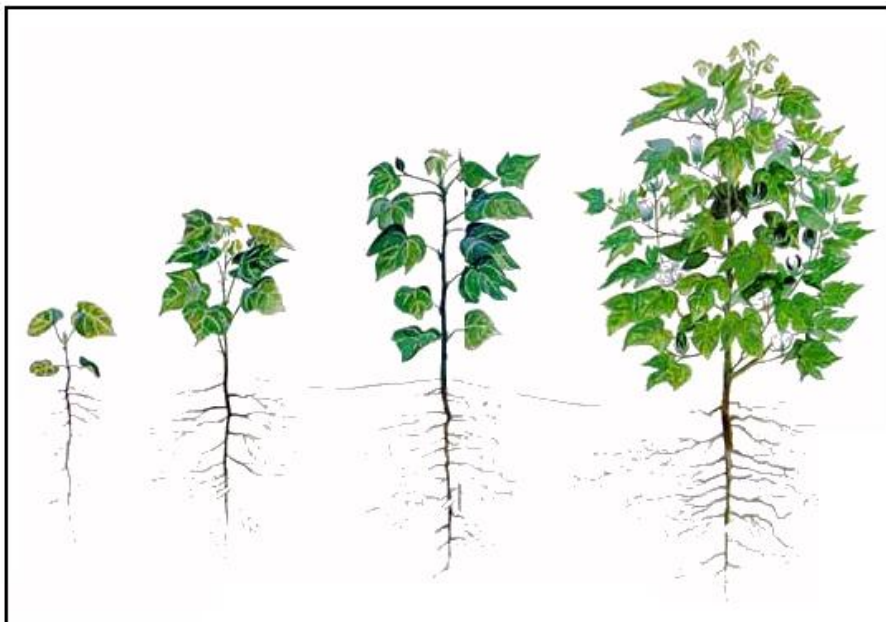
kjer je:

\overline{E} povprečno izhlapevanje prestreženih padavin z mokrih krošenj [mm/h];

\overline{R} povprečna intenziteta padavin [°].

Delež padavin, ki pade neposredno na tla, je odvisen od števila odprtin v krošnji ter njihovih oblik in velikosti. Delež, ki ga imenujemo tudi proste prepuščene padavine (Dunkerley, 2000), je pri obravnavanju vodne bilance pomemben predvsem iz vidika takojšnjega stika s tlemi, saj ni podvržen izhlapevanju s krošenj in tako predstavlja prvotni in glavni vir k zalogam vode na območju.

Tudi parametra izhlapevanja z debla - skladiščna zmogljivost debla S_t in delež padavin, ki se pretvori v odtok po deblu p_t sta odvisna od starosti in/ali velikosti drevesa in oblike krošnje. V splošnem se pri manjših drevesih mobilizira več odtoka po deblu, kot pri višjih, vendar je potrebno poudariti, da večja drevesa prestrežejo bistveno več padavin kot manjša. Več odtoka po deblu se formira tudi pri širših krošnjah (Williams, 2004).



Slika 8: Prikaz dvojnega vpliva rastline na vodno bilanco skozi faze rasti bombaža do polne razvitosti rastline (Povzeto po Bohmfalk et al., 1983).

Na tem mestu lahko omenimo tudi prestrežne sposobnosti trave. Podobno kot pri listnatih vrstah dreves, se tudi pri nizki travi in poljščinah količina prestreženih padavin spreminja skozi čas v letu. Tipične vrednosti prestreženih padavin za tako vegetacijo znašajo 20 do 48 odstotkov padlih padavin v

obdobjih, ko rastline rastejo (Zhang et al., 1999), kar je v večini primerov nekoliko več, kot pri razvitih drevesih in veliko več, kot pri mladih, ki še nimajo razvite krošnje. Pri obravnavah celoletnih vrednosti se izkaže, da je odstotek prestreženih padavin pri travi in poljščinah precej nižji od odstotka v gozdovih, kar v splošnem lahko pripišemo manj ustaljeni in venomer spreminjajoči se razvitosti takega rastlinja v različnih fazah rasti skozi leto (slika 8). Iz slike 8 je razviden dvojni vpliv rastlin na vodno bilanco in sicer postopno povečanje skladiščne sposobnosti rastline, kar pomeni večjo količino prestreženih padavin, ter povečanje koreninskega sistema, kar vpliva na povečano porabo vode rastline.

3.2 Izhlapevanje s trave ter izhlapevanje z dreves

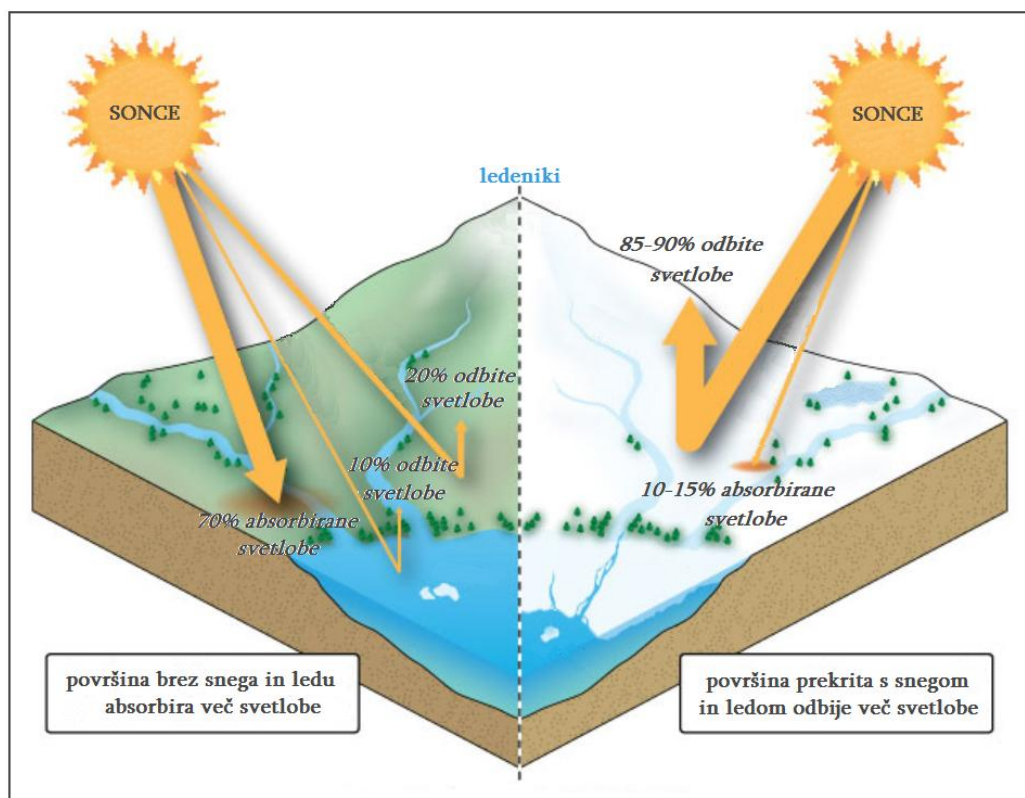
Količina izhlapelih prestreženih padavin je odvisna od številnih dejavnikov in fizikalnost delovanja procesa izhlapevanja je dobro poznana. Večina uveljavljenih izrazov za izračun skupnega izhlapevanja (transpiracije in evaporacije) zato upošteva tako energijsko bilanco kot tudi meteorološke parametre in aerodinamične lastnosti vegetacije. Parametri, kot so neto sevanje, albedo, deficit zračnega parnega tlaka, advekcija, aerodinamična upornost in površinska upornost se pri različnih vrstah in oblikah vegetacije ne obnašajo enako, efekt spremenljivega delovanja posameznih komponent pa se odrazi v različnih količinah izhlapelih padavin s posameznih rastlin (Zhang et al., 1999).

3.2.1 Neto sevanje in albedo

Sonce je glavni vir kratkega in dolgovalovnega sevanja, ki doseže Zemljo in s tem glavni motor hidrološkega kroga. Neto sevanje predstavlja razliko med sprejetim in odbitim sevanjem neke površine in ga merimo v W/m^2 . Energija, ki je potrebna za izhlapevanje, se dovaja predvsem na račun neto sevanja, v manjšem obsegu pa tudi iz advekcije.

Odbito kratkovalovno sevanje, ki je pomemben člen energijske bilance, je močno pogojeno s koeficientom odbojnosti oziroma albedom določene površine (Zhang et al., 1999). Raziskave kažejo, da se albedo travnatih in kmetijskih površin giblje med 0.20 in 0.30, medtem ko je v gozdovih nekoliko nižji, in sicer med 0.10 in 0.20, odvisno od vrste vegetacije in letnega časa (Coakley, 2002). Zaradi tako imenovanega efekta množičnega odboja, ki se dogaja v krošnjah dreves, lahko ta absorbirajo več kratkovalovnega sevanja kot rastline, ki so bližje tlam (Zhang et al., 1999). Zaradi nižjega albeda dreves, nastaja v gozdovih večja neto radiacija, ki omogoča aktivnejše izhlapevanje vode v ozračje. O razlikah v neto sevanju različne vegetacije je v svojem članku poročal Moore (1976), ki je z meritvami ugotovil, da v borovem gozdu (*Pinus Radiata*) v zimskem času nastaja neto sevanje do 12 odstotkov višje, kot je tisto na bližnjih travnikih, medtem ko se v poletnih mesecih razlika povzpne celo do 24 odstotkov.

Pomembno je poudariti, da tudi vrsta padavin vpliva na količino vode, ki izhlapi v ozračje. Sneg se namreč skladišči v krošnjah dreves drugače kot dež (Pomeroy et al., 2002; Kozakiv, 2012), njegova bela površina pa ustvarja albedo 0.66 (Coakley, 2002) in v atmosfero odbija precej večji odstotek kratkovalovnega sončnega sevanja kot vegetacija brez snega (Schmugge et al., 2002) (slika 9). Raziskava Storcka in sodelavcev (2002) je pokazala, da lahko drevesa prestrežejo do 60% padlega snega, od česar ga sublimira oziroma izhlapi le približno 5%.

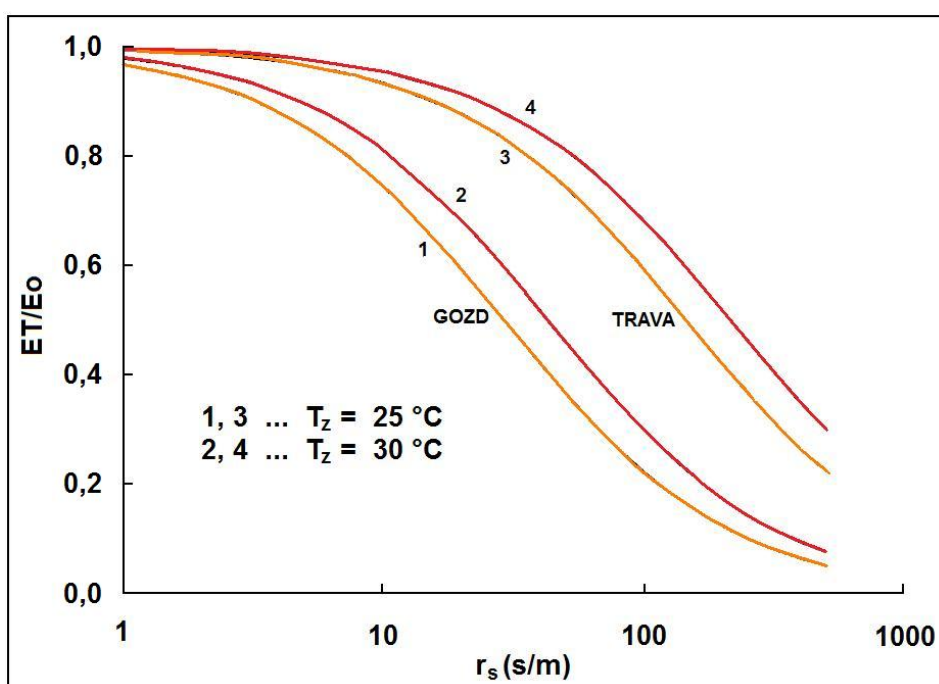


Slika 9: Vpliv visokega albeda snega na deleže odbite oziroma absorbirane svetlobe
(Povzeto po Glantz, 2011).

3.2.2 Deficit zračnega parnega tlaka, advekcija in površinska upornost zraka

Deficit zračnega parnega tlaka je definiran kot razlika med dejansko stopnjo vlažnosti v zraku in (potencialno) stopnjo vlažnosti, ki je dosežena, ko se zrak zasiči. Proces evapotranspiracije se pospešuje z naraščanjem deficita zračnega parnega tlaka nad vegetacijo. Na določeni stopnji se proces lahko obrne in transpiracija začne kljub vedno večjemu deficitu pojenjati (Schulze et al., 1979). Medtem ko so zaloge vskladiščene vode na vegetaciji neposredno na voljo procesom prehajanja v ozračje, pa imajo rastline za vodo, ki jo hranijo v zelenih površinah, kot je listje, vzpostavljene varovalke, ki uravnavajo prekomerno transpiracijo. Proces transpiracije se kontrolira preko stomatalne upornosti listov oziroma preko t.i. površinske upornosti r_s , ki omogoča rastlini, da zadrži vodo, ki jo potrebuje ali se odvečnim količinam vode odpove. Odzivnost uravnavanja vode v sistemu je odvisna

od posamezne rastline in okolja (Kumagai et al., 2005). V znanstvenih krogih velja mnenje, da ima deficit zračnega parnega tlaka vpliv predvsem na višjo vegetacijo, kot so drevesa (Zhang et al., 1999), medtem ko je evapotranspiracija pri travi in poljščinah odvisna pretežno od neto sevanja (slika 10). Podobno, so vplivi advekcije pomembni zgoj za gozdne predele. Če se s pomočjo advekcije nad gozd dovaja svež in suh zrak, to vpliva na povečanje deficita zračnega parnega tlaka in evapotranspiracije. S slike 10 je razvidno, da trava tudi pri razmeroma velikih vrednostih površinske upornosti (npr. 100 m/s) vzdržuje stopnjo transpiracije, ki ni veliko nižja od potencialnega izhlapevanja. Izračun je bil narejen za dve temperaturi zraka T_z : 25 °C (krivulji 1, 3) in 30 °C (krivulji 2, 4) ter predpostavljenima vrednostima aerodinamične upornosti (r_a) 10 s/m za gozd in 50 s/m za travo (Zhang et al., 1999).



Slika 10: Prikaz odvisnosti razmerja dejanske in potencialne evapotranspiracije (ET/E_o) od površinske upornosti zraka (r_s) (Povzeto po Zhang et al., 1999).

3.2.3 Aerodinamična upornost

»Prenos energije in izhlapele vode z izhlapevajoče površine v zrak nad rastlino je opisan z aerodinamično upornostjo r_a « (Šraj, 2003c, 7), ki zajema vplive turbulence, ki nastajajo ob prehajanju zračnih mas horizontalno nad površinami vegetacije, posredno pa tudi temperature v okolju. Prvenstveno je odvisna od hitrosti vetra in hrapavosti površine rastline (Allen et al., 1998; Šraj, 2003c):

$$r_a = \frac{\left(\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \cdot \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right) \right)^2}{K^2 \cdot u_z} \quad (9)$$

kjer je:

- r_a aerodinamična upornost [s/m];
- z_m višina merske točke vetra [m];
- z_h višina merske točke vlažnosti in temperature [m];
- d višinski odmik osnovne ravnine [m];
- z_{om} parameter hrapavosti, ki vpliva na prenos zaradi vetra [m];
- z_{oh} parameter hrapavosti, ki vpliva na prenos toplote in vlage [m];
- K Karmanova konstanta = 0,41 [-];
- u_z hitrost vetra na višini z_m [m/s].

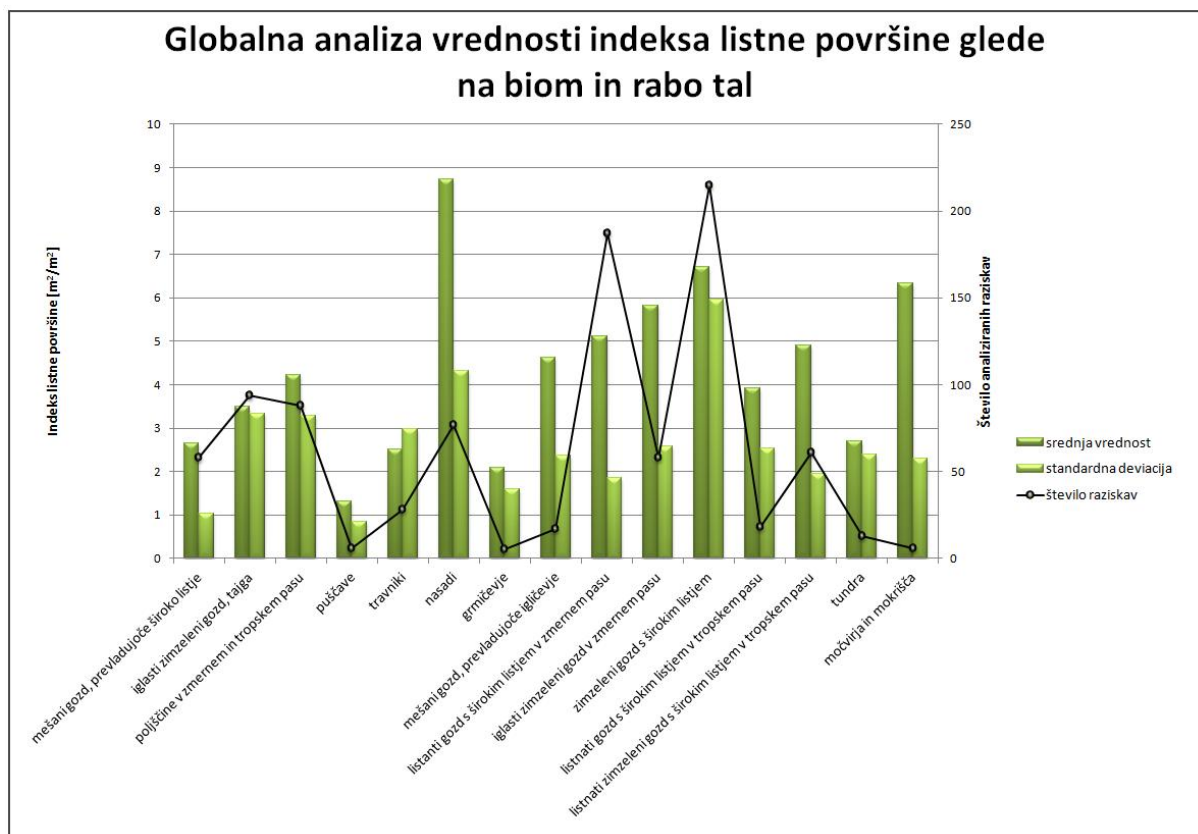
Aerodinamična upornost se zmanjšuje z naraščanjem hrapavosti oziroma višino rastline ter naraščanjem hitrosti vetra. Za mokre krošnje velja predpostavka, da se evapotranspiracija zgodi neodvisno od hrapavosti površine in nanjo vplivajo zgolj turbulence zraka v atmosferi. Zhang in sodelavci (1996) so dokazali, da aerodinamična upornost v takih primerih močno vpliva na stopnjo izhlapevanja. Pri povečanju tega parametra iz 10 na 70 s/m, se namreč stopnja izhlapevanja lahko zmanjša za celih 40 odstotkov. Raziskave kažejo, da so vrednosti aerodinamičnih upornosti za travo do desetkrat večje od tistih v gozdu in do enkrat in večkrat od tistih nad poljščinami, kar vodi k mnogo intenzivnejšem izhlapevanju z mokrih krošenj dreves v gozdu, kot tistemu z mokre trave (Šraj, 2003c).

3.2.4 Indeks listne površine

Indeks listne površine (*LAI*, angl. *leaf area index*) je vegetacijski parameter, ki ga definiramo različno glede na tip vegetacije, ki jo v danem primeru obravnavamo. Pri listnatih drevesih obstaja več definicij tega parametra, ki so se bodisi spreminjale skozi čas ali so bile izpeljane za namene posameznih raziskav (Scurlock et al., 2001). Definicija *LAI*, ki se je v znanstveno-raziskovalnih krogih najbolj uveljavila, govori o skupni enostranski površini zelenih listov na enoto površine tal [m^2/m^2] (Chen et al., 1992; Šraj, 2003c). Pri iglavcih in drevesih, katerih listi niso ploščate oblike, je v uporabi definicija horizontalne projekcije skupne površine iglic na enoto površine tal (Gobron et al., 2009).

Predvsem pri listopadnih drevesih, se indeks listne površine spreminja skozi čas v letu in dosega maksimum v obdobju rasti ter minimum v obdobju mirovanja (Vertessy et al., 2001). V nekoliko manjšem obsegu, lahko podobno odvisnost opazujemo tudi pri travah (Mall et al., 1974). Čas pa ni

edini dejavnik, ki vpliva na vrednosti tega parametra. Prostorsko spremenljivost *LAI*, Maass in sodelavci (1995) pripisujejo raznolikostim v razpoložljivosti vode ter pogojev za rast. Vpliv bioma in tipa tal na velikost indeksa listne površine, je intenzivno raziskoval tudi Scurlock s sodelavci (2001), njegove ugotovitve pa so povzete na sliki 11.



Slika 11: Prikaz vrednosti indeksa listne površine glede na biom in rabo tal, ki temelji na analizi približno tisočih raziskav (Povzeto po Scurlock et al., 2001).

Poznavanje *LAI* se je v preteklosti izkazalo za zelo uporabno na mnogih področjih znanstvenih raziskav, predvsem pa pri študijah vegetacije (Running et al., 1999) in preučevanju hidroloških procesov v naravi. Veliko literature priča o tesni povezavi indeksa listne površine s procesi, kot so prestrežanje padavin, fotosinteza, evaporacija, izhlapevanje, evapotranspiracija (slika 12) ter korelacijah z rodnostjo rastlin in odtoki voda (Botkin et al., 1986; Sonnentag et al., 2007). Parameter pa ni uporaben le v hidroloških in vegetacijskih modelih, temveč je nepogrešljiv tudi v bio-geo-kemičnih študijah (Walker et al., 2003), proučevanju globalnega kroženja zračnih mas v atmosferi (Gobron et al., 2009) ter praktično pri vsakem modeliranju, ki opisuje kroženje energije (radiacija, toplota) ali mase (predvsem voda in CO_2) v okolici krošnje oziroma pri proučevanju mikroklimе med tlemi in atmosfero nad krošnjami dreves. Za pravilno delovanje takih modelov je bistvena točnost vhodnih podatkov (Guo et al., 2008).

S pomočjo indeksa listne površine lahko določamo tudi mnoge druge hidrološke in vegetacijske neznanke. Za primer si oglejmo enačbo Pomeroya in sodelvcev (2002), s katero se lahko določi skladiščno zmogljivost krošnje pri samostojnem dogodku sneženja, ob pogoju, da na krošnjah še ni snega in na podlagi katere lahko sklepamo o količini vode, ki bi prispela do tal:

$$I^* = S_p \cdot LAI' \cdot \left(0,27 + \frac{46}{\rho} \right) \quad (10)$$

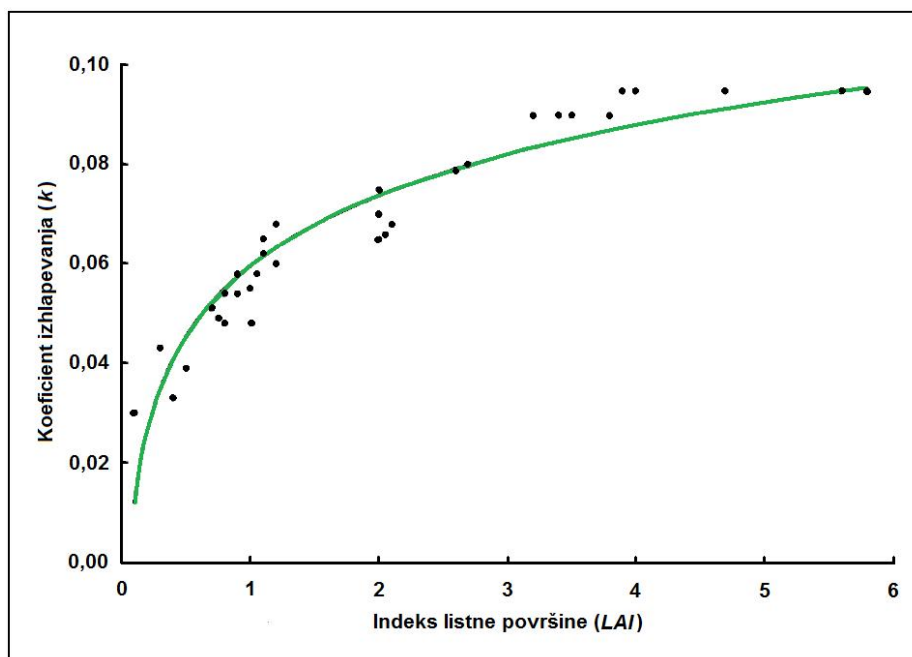
kjer je:

I^* skladiščna zmogljivost krošnje za sneg [mm];

S_p koeficient nalaganja snega (odvisen od vrste vegetacije) [-];

LAI' indeks listne površine (skupna površina horizontalne projekcije listja ali iglic ter vej) [m^2/m^2];

ρ gostota sveže padlega snega [kg/m^3].

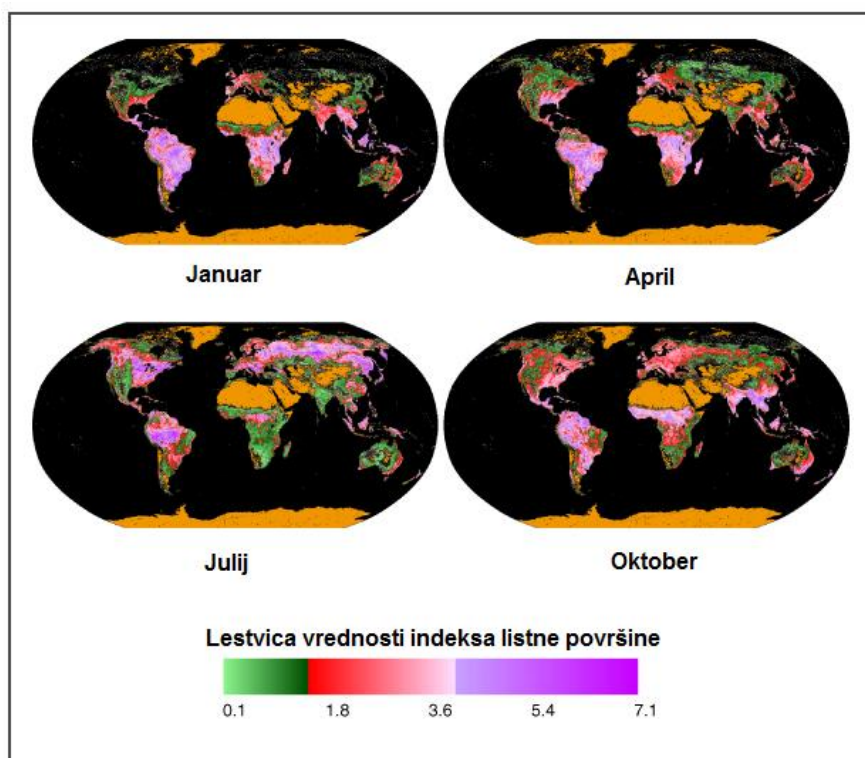


Slika 12: Eksponentna odvisnost koeficienta izhlapevanja k od indeksa listne površine LAI , kot rezultat raziskav v nasadih evkaliptusa v različnih podnebjih (Povzeto po Specht et al., 1989).

Za določanje LAI poznamo mnogo metod, ki se v splošnem delijo v dve skupini, in sicer na neposredne in posredne. Neposredne metode, kot so zbiranje in določanje količine odpadlega listja (Bastrup-Birk et al., 2004; Maass et al., 1995; Eriksson et al., 2005; Mussche et al., 2001; Šraj, 2008) na podlagi katerega se izvedejo meritve z uporabo metod ravninske geometrije in gravimetrije, veljajo za zanesljivejše in bolj točne od posrednih. Slabost mnogih neposrednih metod, kot je na primer določanje celotne listne površine na podlagi poseka rastline je, da so uničevalne narave (Chen et al.,

1997), zato se njihovi uporabi v gozdovih izogibamo in se jih raje poslužujemo na travnikih ali rastlinah na kmetijskih površinah. Med posredne metode določanja indeksa listne površine, ki so praviloma hitrejše in delno avtomatizirane, štejemo:

- a) meritve sončnega sevanja z optičnimi senzorji (Stenberg et al., 1994; Kiniry et al., 2004; Chen et al., 1997), kot so AccuPAR LP-80 Ceptometer [400-700 nm valovne dolžine] (Decagon Devices, 2010), LAI-2000 (Peper et al., 1998) in njegov naslednik LAI-2200 Plant Canopy Analyser [320-490 nm valovne dolžine] (LI-COR, 2010);
- b) uporaba aktivnih optičnih naprav (Kwak et al., 2007; Lange et al., 2007; Zheng et al., 2009), kot je LIDAR – Light Detection and Raging (Fleck et al., 2011; Barilotti et al., 2006);
- c) določanje s pomočjo satelitskih posnetkov (Heiskanen, 2006) preko naprav, kot sta MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer in MISR – Multiangle Imaging Spectroradiometer (Knyazikhin et al., 1998) se uporablja predvsem za določanje globalnega LAI (slika 13);



Slika 13: Globalni indeks listne površine, ki je bil določen s pomočjo SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Senzor) za štiri reprezentativne mesece v letu (Vir: Climate and Vegetation Research Group, 2012).

- d) hemisferično fotografiranje krošenj (Gonsamo et al., 2008; Chen et al., 1997; Jonckheere et al., 2004), kjer se *LAI* določa iz fotografij, ki so narejene s širokokotnimi lečami "ribje oko (fish-eye)" (Frazer et al., 2001) in z uporabo namenske programske opreme za izvajanje analiz, kot so CAN-EYE (Weiss et al., 2010), CIMES (Walter, 2009), HemiView (Rich et al., 1999) in Gap Light Analyzer (Frazer et al., 1999) in
- e) določanje *LAI* z alometričnimi metodami (Jonckheere et al., 2005; Tobin et al., 2006; Turner et al., 2000), kjer se na podlagi medsebojnih odnosov s parametri, kot so premer debla na določeni višini oziroma *DBH*, višina drevesa, višina spodnje kote krošnje, biomasa, itd. definira indeks listne površine (Vertessy et al., 1995).

3.3 Globina koreninjenja in količina rastlini dostopne vode

Koreninski sistem opravlja mnoge naloge, ki omogočajo rastlini ustrezen odziv na spremembe v okolju. Med dve pomembnejši štejemo pritrditev oziroma stabilizacijo rastline v tla (Coutts et al., 1999) ter vsrkavanje in transport vode in mineralnih snovi v osrednji sistem rastline (Coutts, 1987). Globina in razporeditev korenin se drugače razvijata pri drevju, travi ali poljščinah, kar se odraža v količini vode, ki je posamezni rastlini na voljo, ob tem pa tudi njen vpliv na zmanjševanje vodnih zalog v tleh in vodno bilanco.

Na končno globino in razporeditev korenin vplivajo mnogi dejavniki, kot so tip prsti, vrsta rastline, njena starost in zdravje, vplivi okolja, oddaljenost od drugih rastlin in drugi (Zhang et al., 1999; Crow, 2005). Pogosto je zmotno mišljenje, da koreninski sistem posnema obliko, ki jo rastlina s svojimi deli tvori nad tlemi (Dobson, 1995). Pri drevesih na primer korenine običajno ne presežejo globin večjih od 2 m, četudi ta dosežejo velikost nad tlemi, ki je nekajkrat večja, medtem ko se v širino lahko razprostrejo krepko preko krošnje do 10, 20 in več metrov (Stone et al., 1991). Slednje se pripisuje dejstvu, da ima koreninski sistem odlično sposobnost zaznavanja težnosti (gravitropizem), kar je izrednega pomena za stabilnost dreves (Vilhar, 2013). Po raziskavah Dobsona (1995) lahko kar 80 do 90 % korenin dreves najdemo v vrhnjem sloju do globine 60 cm.

Raziskave koreninjenja trav (Murphy, 2010; Bunderson, 2005) in poljščin (Canadell et al., 1996) dajejo v splošnem podobne rezultate. Za razliko od koreninskih sistemov dreves, se korenine trav običajno ne širijo v vrhnjem sloju, temveč prodirajo globlje v prst. Tipične globine, ki jo dosežejo poljščine in trava, so med 50 in 200 cm. Tako dosežejo korenine krompirja 60 cm (UC, 2013), koruze 1,5 m in lucerne do 6 m (Vilhar, 2013).

Študija, ki jo je opravil Canadell s sodelavci (1996) ugotavlja, da je povprečna največja globina koreninjenja za drevesa okoli 7 m, za trave pa 2,6 m, kar se odraža v razliki stolpca 540 mm vode (Zhang et al., 1999), ki je na razpolago dotični rastlini v peščenih tleh, medtem ko je razlika do trikrat večja v ilovnati prsti. Iz povedanega je moč sklepati, da so za nemoten proces transpiracije pomembne predvsem korenine, ki sežejo v globlje sloje prsti, kar je moč opaziti skozi razlike v količinah skupnega izhlapevanja iz dreves in trave. Predvsem v sušnih obdobjih lahko gozdovi na račun korenin z večjo zmožnostjo črpanja vode iz globljih predelov, ohranjajo razmeroma visoko evapotranspiracijo v primerjavi s travniki in kmetijskimi površinami, kar je z meritvami dokazal tudi Hodnett s sodelavci (1995).

4 TEORIJA MODELIRANJA VODNE BILANCE POREČJA

Kot odgovor na vedno večjo željo po razumevanju procesov v naravi, se je s sočasnim razvojem računalniške tehnologije in matematičnih metod v znanstveno-raziskovalnih krogih pojavilo modeliranje, ki v sodobnem času predstavlja učinkovito orodje, zmožno posnemanja dogajanj v naravi, hkrati pa tudi napovedovanja oziroma simulacije rezultatov pojavov, ki se zgodijo pod določenimi pogoji. V nadaljevanju si bomo pogledali nekatere pristope k modeliranju vodne bilance in osnove na katerih temeljijo.

4.1 Modeliranje prestreženih padavin

V prejšnjih poglavjih smo že omenili, da predstavljajo prepuščene padavine tisto efektivno količino padavin, ki doseže tla in predstavlja vhod v vodno bilanco nekega območja. Ostanek, ki se zadrži na vegetaciji, imenujemo prestrežene padavine, ki v celoti prispevajo k skupni evapotranspiraciji z območja. Zmožnost napovedovanja obeh količin je torej ključno pri obravnavanju in analizah vodne bilance ter vplivov nanjo.

Pri modeliranju pojava prestrežanja padavin so se razvile tri tipične skupine modelov (Liu, 1997):

- empirični in matematični modeli (Horton, 1919),
- stohastični modeli (Keim et al., 2004),
- fizikalni modeli (Gash, 1979).

Izmed naštetih se najpogosteje uporabljajo fizikalni modeli, katerih razvoj je temeljil tudi na spoznanjih iz uporabe modelov drugih dveh skupin (Kozakiv, 2012), zato si bomo na tem mestu podrobneje ogledali osnove na katerih temeljijo pomembnejši modeli iz te skupine.

Rutterjev model (van Dijk et al., 2001a) predstavlja enega od prvih poizkusov pristopa k »standardiziranemu« modeliranju na področju raziskav pojava prestreženih padavin. Model je odpravil mnoge pomanjkljivosti svojih predhodnikov med katerimi je za največjo veljala relativno močna odvisnost rezultatov od značilnosti in lastnosti raziskovalnih plosčadi in otežkočena primerjava z rezultati iz drugih raziskav. Model uporablja numerični način izračuna prestreženih padavin na osnovi vodne bilance krošnje (Šraj, 2003c) in deluje na principu poznavanja vrednosti štirih parametrov krošnje oziroma značilnosti gozda, tj. koeficientov T_f in S_f ter vrednosti saturacije krošnje in saturacije debla. Za izvedbo izračuna izhlapevanja je potrebno v model vnesti urne podatke o vrednostih padavin in drugih meteoroloških podatkov. Modelu Rutterja se v raziskavah namenja še vedno veliko pozornosti in velja za enega učinkovitejših metod modeliranja prestreženih padavin.

Ohranitev logike enostavnosti empiričnega pristopa in fizikalnosti Rutterjevega modela se je obrestovala tudi Gashu (1979), ki je razvil analitični model, ki obravnava padavine kot serijo diskretnih dogodkov. Gash uporablja dvojno ločevanje neviht in predpisuje vsakemu razredu ločene izraze. Model ločuje tri faze (van Dijk et al., 2001a): 1) fazo močenja krošnje, ko je količina padavin P_g manjša od padavin, potrebnih za zasičenost krošnje P'_g ; 2) zasičeno fazo, ko je intenziteta padavin R večja od intenzitete izhlapevanja iz mokrih krošenj E in; 3) fazo sušenja po prenehanju padavin. Zaradi nekaterih pomanjkljivosti modela (Teklehaimanot et al., 1991; Lankreijer et al., 1993) je avtor kasneje model popravil ter mu dodal parameter pokrovnosti krošnje c (Gash et al., 1995).

Kot popolnoma inovativen pristop, sta leta 2001 van Dijk in Bruijnzeel predstavila adaptacijo Gashevega modela (preglednica 1), ki za izhodišče izračunov uporablja indeks listne površine (van Dijk et al., 2001b). Od LAI sta naredila linearno odvisno skladiščno zmogljivost krošnje in iz njega izpeljala izraz za relativno izhlapevanje. Primerjave rezultatov med modeli (van Dijk et al., 2001b) vodijo k zaključkom, da je Gashev model, ki je zasnovan na parametru LAI , stabilnejši pri uporabi v različnih tipih gozdov in pri modeliranju evapotranspiracije iz mokre vegetacije, ki se ji značilnosti oziroma parametri krošenj spreminjajo s časom, kot je to pri listnatem gozdu (Šraj, 2003c).

Preglednica 1: Izrazi za izračun posameznih komponent izhlapevanja prestreženih padavin za originalni (1979), popravljen (1995) in dopolnjen (2001) Gashev model (van Dijk et al., 2001a; Šraj, 2003c).

	Gashev model (1979)	Popravljen Gashev model (1995)	Dopolnjen Gashev model van Dijk in Bruijnzeel (2001)
<i>Komponente izhlapevanja</i>			
Za m malih neviht, ki ne zasičijo krošenj ($P_G \leq P'_G$)	$(1 - p - p_t) \sum_{j=1}^m P_{G,j}$	$c \sum_{j=1}^m P_{G,j}$	$\sum_{j=1}^m c_j P_{G,j}$
Za n velikih neviht, ki lahko zasičijo krošnje ($P_G > P'_G$)			
Med močenjem krošnje	$n(1 - p - p_t)P'_G - S$	$n(cP'_G - S)$	$\sum_{j=1}^n \{c_j P'_{G,j} - S_{v,j}\}$
Med nevihto z mokrih krošenj	$\frac{\bar{E}}{R} \sum_{j=1}^n (P_{G,j} - P'_G)$	$\frac{\bar{E}}{R} \sum_{j=1}^n (P_{G,j} - P'_G)$	$\sum_{j=1}^n \frac{\bar{E}_j}{R} (P_{G,j} - P'_{G,j})$
Po prenehanju nevihte	nS	nS	$\sum_{j=1}^n S_{v,j}$
Izhlapevanje z debel za q neviht $> S_t/p_t$, ki zasičijo deblo			Upoštevano v zgornjih enačbah kot delež $S_{s,j}/S_{v,j}$ od vseh padavinskih izgub
Izhlapevanje z debel za $(n-q)$ neviht, ki ne zasičijo debela		$qS_t + p_t \sum_{j=1}^{n-q} P_{G,j}$	
Izhlapevanje z debel za $(m+n-q)$ neviht, ki ne zasičijo debela	$qS_t + p_t \sum_{j=1}^{m+n-q} P_{G,j}$		
<i>Parametri</i>			
Dež, potreben za zapolnitev skladiščne zmogljivosti drevesne krošnje	$P'_G = -\frac{\bar{R}S}{\bar{E}} \ln\left[1 - \frac{\bar{E}}{(1-p-p_t)\bar{R}}\right]$	$P'_G = -\frac{\bar{R}S}{\bar{E}} \ln\left[1 - \frac{\bar{E}}{c\bar{R}}\right]$	$P'_{G,j} = -\frac{\bar{R}S_{v,j}}{\bar{E}_j} \ln\left[1 - \frac{\bar{E}_j}{c_j\bar{R}}\right]$
Povprečno izhlapevanje z mokrih krošenj	$\bar{E} = \bar{E}_w$	$\bar{E} = c\bar{E}_c$	$\bar{E}_j = (1 - e^{-aL_j})\bar{E}_a$
Skladiščna zmogljivost krošnje	S	$S = cS_c$	$S_{v,j} = L_j S_L + S_{s,j}$
Pokrovnost krošnje	$1 - p$	c	$c_j = 1 - e^{-kL_j}$

4.2 Modeliranje izhlapevanja iz vegetacije in odtoka

Komponenta hidrološkega kroga, s pomočjo katere v naravnem okolju najlaže določimo vpliv spremembe rabe tal na vodno bilanco, je izhlapevanje iz vegetacije. Proces izhlapevanja predstavlja padavinske izgube oziroma tisti delež vode, ki ne prispeva k vodnim zalogam nekega območja. Če poznamo količine izhlapele vode, lahko po enostavnem izrazu določimo tudi odtok – glej tudi enačbo (2) (Durrant, 2007):

$$Q = P - ET \quad (11)$$

kjer je:

Q odtok [mm] ali [m^3/s];

P padavine [mm];

ET evapotranspiracija [mm].

4.2.1 Izpeljava razmerja med evapotranspiracijo in padavinami

V začetku 20. stoletja so se začeli pojavljati prvi modeli, ki so po bolj ali manj posrečenih izrazih lahko na podlagi podatkov o količini padlih padavin in predvidenega indeksa sušnosti (angl. *aridity index*) ocenili stopnjo evapotranspiracije. Indeks sušnosti ϕ je parameter s katerim predstavimo razmerje med potencialno evapotranspiracijo E_0 in padavinami P . V krajih, ki prejmejo dovolj energije, dosežejo letne količine izhlapevanja vrednost, ki je skoraj enaka letnim padavinam. Takim suhim in aridnim območjem pravimo, da imajo omejeno količino vode (Gerrits et al., 2009). Krajem, kjer se letne vrednosti izhlapevanja približajo potencialnemu, pa pravimo da imajo omejeno količino energije. Tip podnebja je torej parameter, od katerega je odvisno ali ima določeno območje omejeno količino energije ali vode. Modeli, s katerimi ocenjujemo stopnjo izhlapevanja, upoštevajo obe skrajni obliki, ki sta vanje vgrajeni z dvema bilančnima enačbama: enačbo vodne bilance in enačbo energijske bilance (Arora, 2002) – glej tudi enačbi (1) in (6):

$$P = ET + Q + dS \quad (12)$$

$$R_n = \lambda ET + H + dG \quad (13)$$

kjer je:

P padavine [mm];

ET dejanska evapotranspiracija [mm];

- Q odtok [mm] ali [m^3/s];
 dS sprememba vlažnosti zemljine [mm];
 R_n neto sevanje oziroma razlika kratkovalovnega in dolgovalovnega sevanja
 (razlika med sprejetim in odbitim sevanjem) [W/m^2];
 λ latentni toplotni tok izhlapevanja = $2,501 \cdot 10^6$ J/kg (Serreze, 2011);
 H tok zaznavne toplote [W/m^2];
 dG segrevanje tal [W/m^2].

Če upoštevamo, da sta na letni ravni vrednosti dS in dG zelo majhni (glej tudi enačbo (2)) in vemo, da je vrednost H pozitivna, dobimo z upoštevanjem odvisnosti $R_n = E_0 \cdot \lambda$ in deljenjem enačbe (13) z enačbo (12) indeks sušnosti:

$$\frac{E_0}{P} = \frac{E}{P} + \frac{(H/\lambda)}{P} \quad (14)$$

V enačbi nadalje upoštevamo Bowen-ovo razmerje $\gamma = H/\lambda E$ in dobimo:

$$\frac{E_0}{P} = \frac{E}{P} + \frac{E\gamma}{P} \quad (15)$$

Če preuredimo člene v enačbi (15), lahko odvisnost razmerja izhlapevanja od padavin (E/P) podamo kot funkcijo Bowen-ovega razmerja in indeksa sušnosti ($\phi = E_0/P$) s spodnjim izrazom:

$$\frac{E}{P} = \frac{\Phi}{1 + \gamma} \quad (16)$$

Ker je tudi Bowen-ovo razmerje funkcija razpoložljive energije in padavin – in torej odvisno od ϕ , lahko razmerje E/P podamo samo v odvisnosti indeksa sušnosti:

$$\frac{E}{P} = \frac{\Phi}{1 + f(\Phi)} \quad (17)$$

Izraz (17) predstavlja izhodišče, na katerem je nastala vrsta modelov, ki jih uporabljamo za določanje in simuliranje evapotranspiracije na podlagi indeksa sušnosti.

4.2.2 Pregled modelov za določanje stopnje izhlapevanja

Leta 1904 je Schreiber razvil prvi model, s katerim je bilo mogoče predvideti spremembe v vodni bilanci izbranih območij na osnovi razlik v indeksu sušnosti (Sankarasubramanian et al., 2003). Oblika enačbe je močno pogojena z robnim pogojem o razpoložljivosti vode in se ob velikih vrednostih sušnega indeksa asimptotično poenoti, kar pomeni, da se v zelo suhih predelih vse padavine pretvorijo v evapotranspiracijo (Arora, 2002; Zhang et al., 1999):

$$\frac{E}{P} = 1 - e^{-\Phi} \quad (18)$$

Podoben model je leta 1911 predstavil Ol'dekop, ki je v enačbi uporabil hiperbolični tangens (Gerrits et al., 2009):

$$\frac{E}{P} = \Phi \cdot \tanh\left(\frac{1}{\Phi}\right) \quad (19)$$

Model, ki še danes velja za osrednji model na področju določevanja evapotranspiracije, se je pojavil leta 1974, ko je Budyko po večletnih raziskavah ugotovil, da rezultati pogosto padejo med krivulji, ki jih očrtata izraza Schreiberja in Ol'dekopa (Arora, 2002; Gerrits et al., 2009):

$$\frac{E}{P} = \left[\Phi \cdot \tanh\left(\frac{1}{\Phi}\right) \cdot (1 - e^{-\Phi}) \right]^{1/2} \quad (20)$$

Budykov model je poizkušalo izboljšati mnogo raziskovalcev: Peel in sodelavci (2010) so predlagali uvedbo absolutnih vrednosti potencialne evapotranspiracije; Gerrits-ova skupina (2009) je raziskovala vpliv različne razporeditve padavin na dnevni ravni, Yang in sodelavci (2008) so uvedli nov parameter, ki je zajemal značilnosti porečja, itn. Budykov model je bil podvržen tudi testiranju s kontrolnimi metodami, sodeč po rezultatih pa ostaja glavna težava modela pravilna ocena izhlapevanja na območjih mešane rabe tal (van Dijk et al., 2012).

Na osnovi podatkov 250 porečij je leta 1954 nastal Turcov model (Arora, 2002):

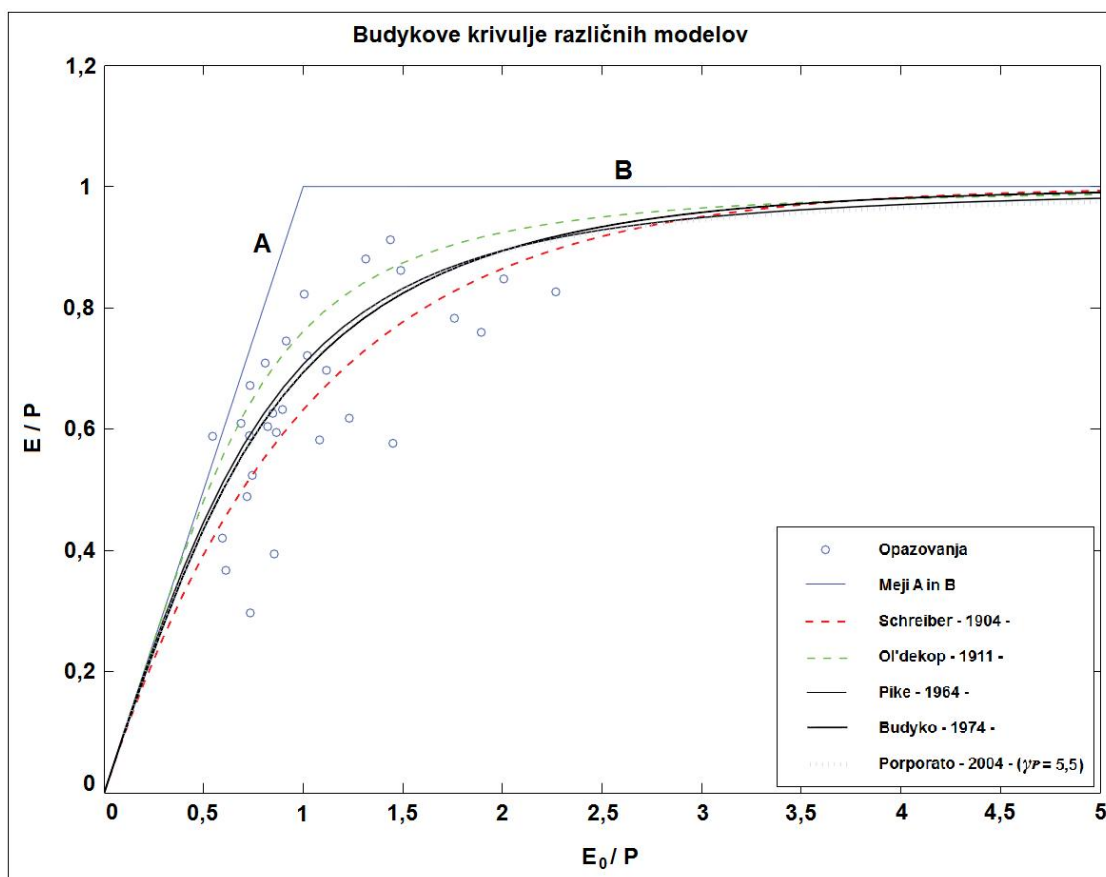
$$\frac{E}{P} = \frac{1}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{1}{\Phi}\right)^2}} \quad (21)$$

Pike (1964) je kmalu zatem ugotovil, da daje model, kjer nadomestimo 0,9 z 1, boljše rezultate.

Med novjšimi pristopi v modeliranju evapotranspiracije izstopa Porporatov model (Porporato et al., 2004), s katerim je avtor poizkušal zajeti vplive prsti in klimatoloških sprememb, v izrazu pa je uporabil nov parameter γ_P , ki opisuje maksimalno skladiščno sposobnost prsti in druge značilnosti vlažnosti v zemljini. Izraz (Gerrits et al., 2009) vsebuje funkcijo gama $\Gamma(\cdot)$ ter nepopolno gama funkcijo $\Gamma(\cdot, \cdot)$ (Abramowitz et al., 2009):

$$\frac{E}{P} = 1 - \frac{\Phi \cdot \gamma_P^{\left(\frac{\gamma_P-1}{\Phi}\right)} \cdot e^{-\gamma_P}}{\Gamma\left(\frac{\gamma_P}{\Phi}\right) - \Gamma\left(\frac{\gamma_P}{\Phi}, \gamma_P\right)} \quad (22)$$

Pregled rezultatov modelov (slika 14) se najpogosteje izvede po t.i. sistemu Budykove krivulje, ki se imenuje po avtorju, ki je prvi uporabil tak način prikaza. Krivulje so ustvarjene na osnovi odvisnosti razmerja izhlapevanja in padavin (E/P) od indeksa sušnosti oziroma razmerja med potencialno evapotranspiracijo in padavinami ($\phi = E_0/P$).



Slika 14: Prikaz Budykovih krivulj različnih modelov ter dveh značilnih mej: A – meja razpoložljive vode ter B – meja razpoložljive energije (Povzeto po Gerrits et al., 2009).

4.3 Zhangov in drugi modeli za določanje izhlapevanja z različnih vrst vegetacije

4.3.1 Teorija in uporabnost Zhangovega modela

Poglavitni razlog za nastanek modela, ki so ga razvili Zhang in sodelavci (1999), je bila želja dokazati in ovrednotiti splošno prepričanje, da gozd zvišuje evapotranspiracijo območja, na katerem se nahaja. Na podlagi analize 250-ih raziskav s celega sveta in temeljnih zasnovah Budyko-vega modela je tako nastal »Zhangov model«, ki pri obravnavi danega porečja uspešno poveže in vzpostavi razmerja med srednjo letno vrednostjo evapotranspiracije in količino prejetih padavin, potencialno evapotranspiracijo ter količino rastlini dostopne vode (Zhang et al., 2001). Analize, na katerih je model zasnovan, vključujejo zelo široko paleto raziskav na porečjih velikosti od 1 km² do 600.000 km² v katerih so bile zajete praktično vse vrste vegetacije in prsti.

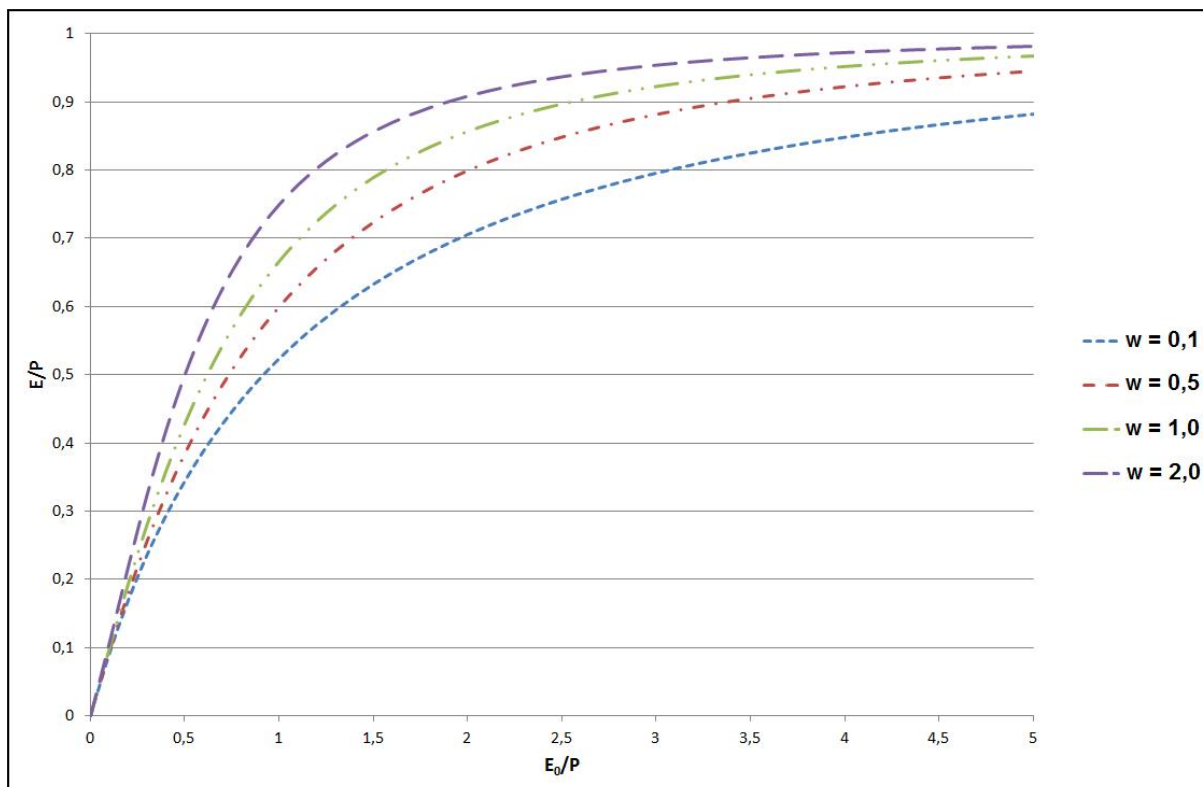
Predpostavke, na katerih sloni delovanje modela, so tri:

- prevladujoča oblika padavin na obravnavanem porečju je dež,
- nagib terena je blag,
- debelina prsti je relativno velika (več kot dva metra).

Poročanja in ugotovitve o velikih vrednostih transpiracije gozda na eni, ter veliko manjših pri travi in poljščinah na drugi strani (Turner, 1991; Hodnett et al., 1995), so Zhang in sodelavci vključili v model za določanje evapotranspiracije porečja na način, da so poleg indeksa sušnosti ϕ , v modelu uporabili tudi parameter, ki opisuje rastlini dostopno vodo w (Arora, 2002):

$$\frac{E}{P} = \frac{1 + w \cdot \Phi}{1 + w \cdot \Phi + \frac{1}{\Phi}} \quad (23)$$

S koeficientom rastlini dostopne vode w , so avtorji poizkušali zajeti zmožnosti rastline, da v predelih koreninskega sistema vskladišči vodo, ki jo nato porabi za namene transpiracije. Ta je odvisna predvsem od razvitosti korenin posamezne rastline ter njenega dostopa do zalog v globljih plasteh prsti (glej tudi poglavje 3.3). Eksperimentalno je bilo ugotovljeno, da se vrednosti koeficienta gibljejo med 0,1 in 2, iz zasnove enačbe pa izhaja, da se večje vrednosti odražajo v višji stopnji evapotranspiracije. Avtorji predlagajo vrednosti 2,0 za gozd, 0,5 za travo ter 0,1 za prst, ki ni prekrita z vegetacijo. Občutljivost razmerja E/P na spremembe koeficienta rastlini dostopne vode so prikazane na sliki 15.



Slika 15: Razmerje E/P v odvisnosti od sušnega indeksa E_0/P in različnih vrednosti parametra rastlini dostopne vode w .

Že leta 1982 je Eagleson (Eagleson, 1982) v svojem članku predlagal teorijo o letni skupni evapotranspiraciji s porečja kot vsoti prispevkov izhlapevanja s trave (v katerem je vključeno tudi izhlapevanje iz prsti) ter gozda glede na delež površine, ki ga na porečju zavzemata. Enačba, ki zajema opisano je (Bradford et al, 2001):

$$ET = f \cdot ET_f + (1 - f) \cdot ET_h \quad (24)$$

kjer je:

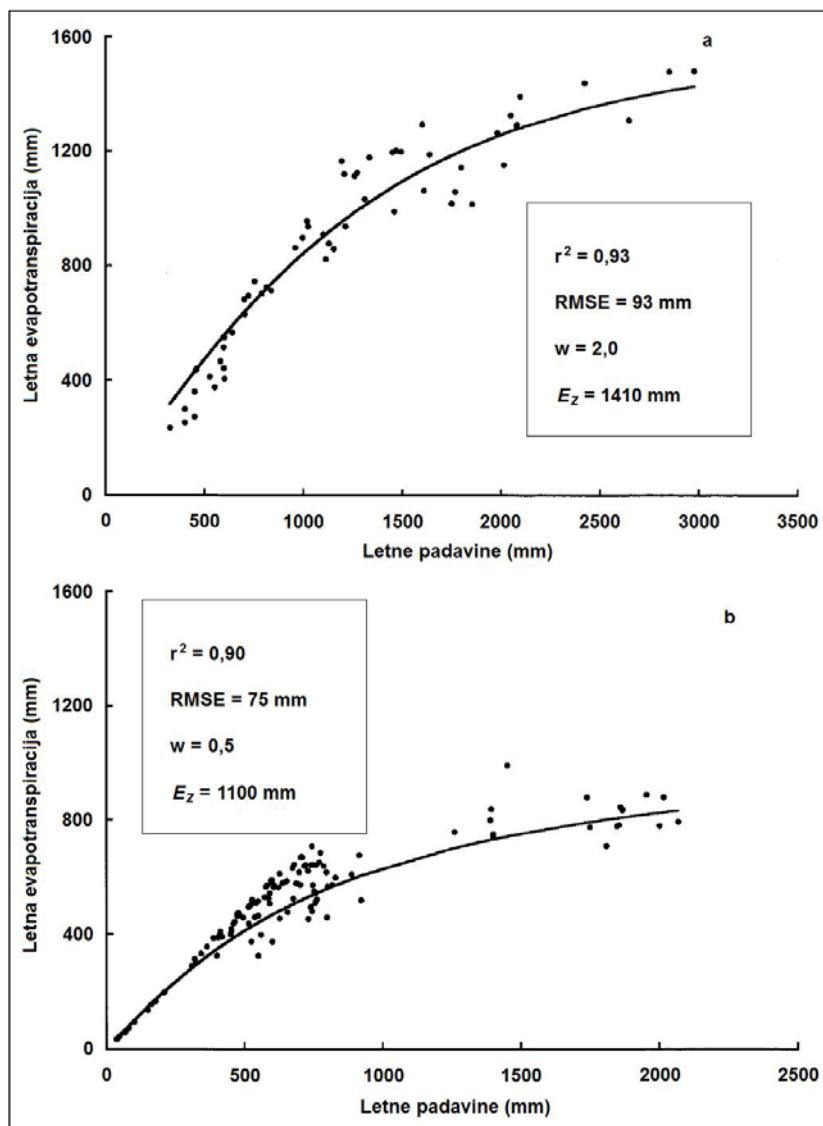
ET skupna letna evapotranspiracija celotnega porečja [mm];

f delež pokrovnosti porečja z gozdom [-];

ET_f letna evapotranspiracija iz površin porečja prekritih z gozdom [mm];

ET_h letna evapotranspiracija iz površin porečja prekritih s travo [mm].

Ker so avtorji želeli predstaviti model, ki bi bil uporaben kjerkoli na svetu, so na osnovi zbirke rezultatov raziskav s pomočjo metode najmanjših kvadratov določili konstanto E_z (slika 16), ki bi odpravila potrebo po vnašanju ocene potencialne evapotranspiracije E_0 . Dobljeni vrednosti E_z znašata 1410 mm za gozd in 1100 mm za travo (Zhang et al., 1999).

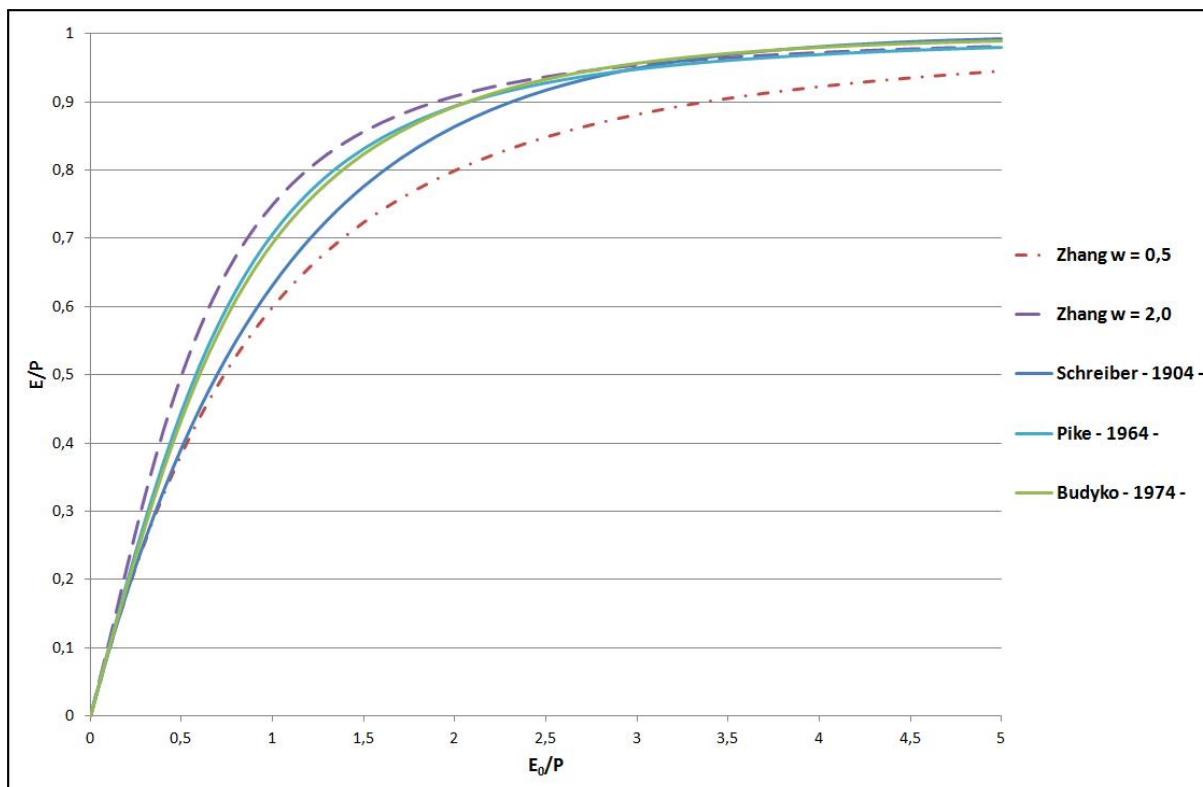


Slika 16: Krivulji odvisnosti evapotranspiracije in padavin za gozd in travo s koeficientom korelacije r^2 ter oceno napake RMSE (Povzeto po Zhang et al., 1999).

Z upoštevanjem enačb (23) in (24) ter vrednostmi koeficientov E_z je model dobil končno obliko, ki za oceno evapotranspiracije potrebuje le en parameter (Zhang et al., 1999):

$$ET = \left[f \cdot \frac{1 + 2,0 \cdot \frac{1410}{P}}{1 + 2,0 \cdot \frac{1410}{P} + \frac{P}{1410}} + (1 - f) \cdot \frac{1 + 0,5 \cdot \frac{1100}{P}}{1 + 0,5 \cdot \frac{1100}{P} + \frac{P}{1100}} \right] \cdot P \quad (25)$$

Če primerjamo rezultate Zhangovega modela z nekaterimi drugimi, ugotovimo, da tvorita krivulji za gozd ($E_z = 2,0$) in travo ($E_z = 0,5$) nekakšno ovojnico možnih rezultatov, medtem ko imajo krivulje drugih modelov nevtralni značaj in se gibljejo pretežno v pasu mešane vegetacije (slika 17).



Slika 17: Primerjava krivulj Zhangovega modela za gozd ($E_z = 2,0$) in travo ($E_z = 0,5$) s krivuljami modelov Schreiber-ja, Pike-a ter Budyko-a.

Zhangov model je bil v svoji zgodovini večkrat preizkušen, vendar je v obstoječi literaturi kljub njegovi internacionalni naravnosti (Zhang et al., 1999), moč najti pretežno poročila iz raziskav v Avstraliji. Izjema je raziskava na območju Rumene reke na Kitajskem (Zhang et al., 2007), katere avtorji so dokazali, da lahko koeficient rastlini dostopne vode w močno odstopa od predlaganih vrednosti. Omenjene raziskave se ukvarjajo s simulacijo odtoka (Bradford et al., 2001), primerjavo rezultatov z dejanskimi podatki iz meritev (Zhang et al., 2001), ugotavljanjem vpliva pogozdovanja oziroma sečnje gozdov (Dowling et al., 2004; Zhang et al. 2003a; Zhang et al., 2003b), sezonskimi vplivi na odtok (Zhang et al., 2003b) ter analizami vpliva različnih vrst prsti na bilanco povodja (Ji et al., 2009).

4.3.2 Alternativni modeli za izračun evapotranspiracije na osnovi podatkov o vegetaciji

Zhangovemu podoben model in praktično edino alternativo, ki uporablja fizični pristop, so razvili Raupach in sodelavci (2001), vendar model še ni bil umerjen (v smislu Zhangovega modela, ki E_0 nadomešča s konstanto E_z), zato parameter potencialne evapotranspiracije ostaja vhodni podatek (Qureshi et al., 2005):

$$ET = E_0 \cdot \left(\frac{\Phi^{-a}}{1 + \Phi^{-a}} \right)^{-a} \quad (26)$$

Poleg potencialne evapotranspiracije E_0 model zahteva tudi vnos parametra a , ki se ga izbere glede na rabo tal porečja. Eksperimentalno je bilo ugotovljeno, da parametru a ustrezajo vrednosti, ki so za travo 1,50, mešano vegetacijo 1,64 in gozd 2,48 (Raupach et al., 2001).

5 UGOTAVLJANJE VPLIVA VEGETACIJE NA VODNO BILANCO POREČIJ V SLOVENIJI

V naslednjih poglavjih bo predstavljena študija vpliva vegetacije na izhlapevanje iz izbranih porečij v Sloveniji, na katerih je bilo osnovano poročilo »Vodna bilanca Slovenije 1971-2000«, ki ga je izdala Agencija Republike Slovenije za okolje (Bat et al., 2008b). S pomočjo uporabe modela smo poskušali ugotoviti v kolikšni meri raba tal (delež gozda in delež trave) na posameznih porečjih lahko vpliva na stopnjo izhlapevanja in zaloge vode, ki se akumulirajo na njih. Predstavljeni so tudi popravki izbranega modela, ki na obravnavanem območju dajejo boljše ocene iskanih komponent.

5.1 Utemeljitev izbire modela za določitev evapotranspiracije

Literatura opisuje mnogo modelov za določanje izhlapevanja, vendar pa se pestri izbiri navkljub zdi, da študiji, katere osrednji namen je obravnavati vpliva različnih vrst vegetacije na proces evapotranspiracije in stanje vodne bilance v porečju, lahko ugodi le peščica. Enostaven pristop in zasnova na temelju velike zbirke znanstvenih raziskav in opazovanj iz celega sveta, sta le dve lastnosti, ki izpostavljata Zhangov model kot najprimernejše orodje za tovrstno nalogo.

Prednost Zhangovega modela se kaže tudi v tem, da odpravlja pomanjkljivosti Budykovega in drugih modelov pri ocenjevanju izhlapevanja na območjih mešane rabe tal, saj uporabniku omogoča, da glede na deleže rabe tal, celotno količino izhlapevanja s porečja razdeli v razrede različne vegetacije ter jih neodvisno od ostalih obravnava ločeno.

Tretji razlog za izbiro Zhangovega modela, kot osrednjega modela za potrebe raziskav te diplomske naloge tiči v manjših zahtevah po vnosu podatkov. Poleg podatkov o padavinah, namreč ostali modeli zahtevajo še dodaten parameter, tj. podatke o potencialni evapotranspiraciji.

Nenazadnje, je Zhangov model praktičen tudi za modeliranje v okolju geografskih informacijskih sistemov (GIS, angl. *geographic information system*), ki se uporabljajo za izdelavo, pridobivanje in analizo mnogih prostorskih podatkov, na tak način pa je bil preizkušen tudi že v raziskavah Bradforda in sodelavcev (2001).

5.2 Nabor osnovnih podatkov

Za potrebe naloge smo uporabili podatke o členih vodne bilance v obdobju 1971-2000, ki so del poročila »Vodna bilanca Slovenije 1971-2000« (Bat et al., 2008b), ter jih v celoti navajamo tudi tukaj

(preglednica 2). Z dP je izražena bilančna napaka, ki jo dobimo, če razliko med izmerjenimi padavinami P in izhlapevanjem I ter pretokom Q_s , delimo s količino padavin.

Preglednica 2: Členi vodne bilance v obdobju 1971-2000 (Vir: Bat et al., 2008b: str 110).

#	Vodomerna postaja	Vodotok	Površina		Padavine P		Izhlapevanje I		Odtok $d = P - I$		Pretok Q_s		dP
			km ²		mm	m ³ /s	mm	m ³ /s	mm	m ³ /s	mm	m ³ /s	
1	Cankova	Kučnica	30,40		898	0,91	704	0,71	194	0,20	184	0,19	1
2	Pristava	Ščavnica	272,54		959	7,00	691	5,04	268	1,96	243	1,78	3
3	Branislavci	Turja	42,17		998	1,34	687	0,92	311	0,42	247	0,33	6
4	Nuskova	Ledava	56,57		862	1,55	674	1,21	188	0,34	205	0,37	-2
5	Polana	Ledava	208,21		894	4,33	691	3,34	203	0,99	164	0,79	4
6	Čentiba	Ledava	856,70		850	15,49	688	12,55	162	2,94	183	3,35	-2
7	Martjanci	Martjanski potok	28,11		892	0,80	702	0,63	190	0,17	155	0,14	4
8	Kobilje	Kobiljski potok	48,66		864	1,33	716	1,10	148	0,23	173	0,27	-3
9	Hodoš	Velika Krka	105,12		863	2,89	714	2,39	149	0,50	136	0,45	2
10	Črna	Meža	94,77		1608	4,85	692	2,09	916	2,76	713	2,15	13
11	Otiški Vrh	Meža	550,89		1356	9,71	705	5,05	651	4,66	721	5,16	-5
12	Dovže	Mislinja	72,59		1485	3,41	692	1,59	793	1,82	843	1,94	-3
13	Otiški Vrh	Mislinja	230,89		1322	4,17	700	2,21	622	1,96	494	1,56	10
14	Stari trg	Suhodolnica	59,21		1339	2,52	716	1,35	623	1,17	687	1,29	-5
15	Ruta	Radoljna	74,14		1490	3,52	716	1,69	774	1,83	884	2,09	-7
16	Zreče	Dravinja	41,43		1457	1,92	686	0,90	771	1,02	668	0,88	7
17	Makole	Dravinja	301,52		1259	7,01	719	4,00	540	3,01	396	2,21	11
18	Videm	Dravinja	764,00		1259	8,68	704	4,86	555	3,82	429	2,96	10
19	Dražas vas	Oplotnica	85,53		1402	3,81	689	1,87	713	1,94	641	1,75	5
20	Podlehnik	Rogatnica	57,28		1208	2,19	739	1,34	469	0,85	413	0,75	5
21	Tržec	Polskava	188,27		1259	7,54	675	4,04	584	3,50	438	2,62	12
22	Ranca	Pesnica	83,80		1111	2,97	680	1,82	431	1,15	361	0,96	6
23	Gočova	Pesnica	281,14		1046	6,54	663	4,15	383	2,39	306	1,92	7
24	Zamušani	Pesnica	477,80		1036	6,49	679	4,25	357	2,24	333	2,09	2
25	Kranjska Gora	Sava Dolinka	44,98		2143	2,94	672	0,92	1471	2,02	1016	1,40	21
26	Jesenice	Sava Dolinka	257,56		2152	12,14	682	3,85	1470	8,29	1063	6,00	19
27	Mojstrana	Bistrica	46,04		2515	3,67	655	0,96	1860	2,71	1780	2,60	3
28	Podhom	Radovna	166,79		2329	9,88	687	2,91	1642	6,97	1809	7,68	-7
29	Sveti Janez	Sava Bohinjka	93,99		2955	15,79	651	3,48	2304	12,31	2027	10,84	9
30	Soteska	Sava Bohinjka	288,19		2529	10,98	693	3,01	1836	7,97	2002	8,70	-7
31	Bodešče	Sava Bohinjka	363,91		2069	5,42	707	1,85	1362	3,57	1186	3,11	9
32	Okroglo	Sava	1201,48		1879	17,13	698	6,37	1181	10,76	812	7,41	20
33	Medno	Sava	2201,50		1605	17,60	714	7,83	891	9,77	814	8,94	5
34	Litija	Sava	4821,43		1405	19,56	721	10,04	684	9,52	480	6,69	15
35	Hrastnik	Sava	5176,79		1334	10,97	747	6,15	587	4,82	778	6,41	-14
36	Čatež	Sava	10186,45		1254	22,55	720	12,96	534	9,59	175	3,15	29
37	Preska	Tržiška Bistrica	121,00		1951	7,51	694	2,67	1257	4,84	1240	4,77	1
38	Kokra	Kokra	112,34		1931	6,92	689	2,47	1242	4,45	1162	4,16	4
39	Žiri	Pojmanska Sora	53,68		2074	3,58	708	1,22	1366	2,36	1338	2,31	1
40	Zminec	Pojmanska Sora	305,51		1919	15,33	715	5,71	1204	9,62	1041	8,32	8
41	Železniki	Selška Sora	104,10		2162	7,13	709	2,34	1453	4,79	1276	4,21	8
42	Vešter	Selška Sora	213,76		1888	6,56	723	2,51	1165	4,05	972	3,38	10
43	Kamnik	Kamniška Bistrica	194,78		1863	6,69	694	2,49	1169	4,20	1513	5,43	-18
44	Nevlje	Nevljica	82,03		1582	4,12	713	1,86	869	2,26	678	1,77	12
45	Podrečje	Rača	164,06		1420	7,39	710	3,70	710	3,69	569	2,97	10
46	Topole	Pšata	93,79		1571	4,67	698	2,08	873	2,59	468	1,40	26
47	Zagorje	Medija	96,85		1399	4,27	727	2,22	672	2,05	693	2,12	-2
48	Žebnik	Sopota	48,22		1342	2,06	718	1,10	624	0,96	838	1,28	-16
49	Martinje vas	Mirna	164,48		1272	6,60	726	3,77	546	2,83	514	2,67	3
50	Jelovec	Mirna	270,00		1244	4,23	736	2,50	508	1,73	559	1,90	-4
51	Orešje	Sevnična	39,71		1302	1,64	727	0,92	575	0,72	554	0,70	2
52	Rogatec	Sotla	39,82		1241	1,57	759	0,96	482	0,61	437	0,55	4

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 2

53	Rakovec	Sotla	559,99	1182	12,30	691	7,19	491	5,11	529	5,50	-3
54	Sodna vas	Mestinjščica	97,94	1218	3,78	676	2,10	542	1,68	475	1,48	6
55	Zagaj	Bistrica	93,94	1243	3,70	708	2,11	535	1,59	596	1,78	-5
56	Petrina	Kolpa	460,00	2196	32,52	742	10,99	1454	21,53	1744	25,85	-13
57	Radenci	Kolpa	1191,00	1702	37,67	759	16,80	943	20,87	1129	25,00	-11
58	Metlika	Kolpa	2002,00	1343	24,74	756	13,93	587	10,81	792	14,60	-15
59	Gradac	Lahinja	221,32	1361	9,45	772	5,36	589	4,09	803	5,58	-16
60	Komin	Ljubljana	1182,91	1910	66,27	727	25,24	1183	41,03	1094	37,98	5
61	Moste	Ljubljana	1762,52	1529	17,18	708	7,95	821	9,23	695	7,82	8
62	Borovnica	Borovniščica	34,89	1714	1,94	752	0,85	962	1,09	1018	1,15	-3
63	Iška	Iška	66,54	1698	3,58	749	1,58	949	2,00	884	1,87	4
64	Dvor	Gradaščica	78,67	1761	4,40	726	1,81	1035	2,59	997	2,49	2
65	Razori	Šujica	46,88	1644	2,45	734	1,09	910	1,36	917	1,36	0
66	Cerknica	Cerkniščica	47,29	1727	2,71	714	1,12	1013	1,59	632	0,99	22
67	Mali Otok	Nanoščica	47,32	1904	3,06	663	1,07	1241	1,99	976	1,57	14
68	Solčava	Savinja	63,70	1900	3,82	684	1,37	1216	2,45	1085	2,18	7
69	Nazarje	Savinja	457,30	1647	12,29	702	5,24	945	7,05	1037	7,74	-6
70	Letuš	Savinja	529,70	1458	3,35	709	1,63	749	1,72	852	1,96	-7
71	Celje-Brv	Savinja	1189,20	1307	7,58	703	4,07	604	3,51	596	3,46	1
72	Veliko Širje	Savinja	1841,90	1287	8,13	715	4,51	572	3,62	796	5,03	-17
73	Luče	Lučnica	57,50	1873	3,41	687	1,25	1186	2,16	1351	2,46	-9
74	Kraše	Dreta	100,84	1641	5,24	711	2,27	930	2,97	1255	4,01	-20
75	Velenje	Paka	63,30	1359	2,73	702	1,41	657	1,32	549	1,10	8
76	Šoštanj	Paka	131,20	1328	2,88	706	1,53	622	1,35	566	1,23	4
77	Rečica	Paka	205,40	1362	3,21	711	1,67	651	1,54	628	1,48	2
78	Dolenja vas	Bolska	169,50	1455	7,86	719	3,88	736	3,98	711	3,84	2
79	Levec	Ložnica	102,89	1284	4,19	717	2,34	567	1,85	476	1,55	7
80	Črnomica	Vogljajna	53,67	1245	2,13	689	1,18	556	0,95	510	0,87	4
81	Celje	Vogljajna	202,20	1260	4,01	703	2,24	557	1,77	548	1,74	1
82	Grobelno	Slomski potok	49,00	1240	1,91	687	1,06	553	0,85	462	0,71	7
83	Polže	Hudinja	69,09	1362	2,98	696	1,52	666	1,46	486	1,06	13
84	Škofja vas	Hudinja	156,50	1284	3,53	708	1,95	576	1,58	476	1,31	8
85	Vodiško	Gračnica	96,60	1306	4,01	703	2,16	603	1,85	638	1,96	-3
86	Podbukovje	Krka	321,44	1445	8,50	727	4,28	718	4,22	883	5,20	-11
87	Srebrnice	Krka	1313,04	1537	31,46	742	15,19	795	16,27	1055	21,61	-17
88	Podbočje	Krka	2238,12	1310	21,77	727	12,08	583	9,69	533	8,87	4
89	Mlačevo	Grosupeljščica	34,21	1372	1,49	723	0,78	649	0,71	521	0,57	9
90	Rašica	Rašica	58,48	1591	2,92	712	1,31	879	1,61	881	1,62	0
91	Trebnja Gorica	Višnjica	75,84	1348	3,24	725	1,74	623	1,50	220	0,53	30
92	Meniška vas	Radešca	287,13	1578	14,43	770	7,04	808	7,39	718	6,57	6
93	Rožni Vrh	Temenica	80,87	1287	3,31	724	1,86	563	1,45	305	0,78	20
94	Prečna	Prečna	294,17	1307	8,87	741	5,02	566	3,85	520	3,53	4
95	Klevevž	Radulja	47,79	1303	1,98	738	1,12	565	0,86	596	0,91	-2
96	Škocjan	Radulja	107,96	1247	2,38	719	1,37	528	1,01	463	0,88	5
97	Sodražica	Bistrica	29,89	1614	1,54	712	0,68	902	0,86	886	0,85	1
98	Kršovec	Soča	157,90	2868	14,35	666	3,33	2202	11,02	2266	11,35	-2
99	Kobarid	Soča	437,02	2999	13,58	689	3,12	2310	10,46	2425	10,99	-4
100	Solkan	Soča	1572,80	2424	35,70	739	10,88	1685	24,82	1245	18,35	18
101	Kal-Koritnica	Koritnica	86,04	2769	7,55	680	1,85	2089	5,70	2404	6,56	-11
102	Žaga	Učja	50,21	3235	5,15	727	1,16	2508	3,99	2116	3,37	12
103	Tolmin	Tolminka	73,08	3084	7,17	692	1,61	2392	5,56	3316	7,71	-30
104	Reka	Idrija	313,22	2154	11,00	743	3,79	1411	7,21	1094	5,59	15
105	Hotešk	Idrija	442,83	2269	5,41	739	1,76	1530	3,65	1871	4,46	-15
106	Cerkno	Cerknica	40,30	2121	2,73	703	0,90	1418	1,83	1335	1,72	4
107	Dolenja Trebuša	Trebuša	54,70	2339	4,10	743	1,30	1596	2,80	1591	2,79	0
108	Bača pri Modreju	Bača	142,31	2604	11,79	736	3,33	1868	8,46	1484	6,72	15
109	Vipava	Vipava	131,90	2173	9,08	743	3,11	1430	5,97	1565	6,55	-6
110	Dolenje	Vipava	316,74	1810	3,79	719	1,50	1091	2,29	920	1,93	9
111	Miren	Vipava	589,96	1689	8,11	735	3,53	954	4,58	512	2,46	26

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 2

112	Podnanos	Močilnik	29,01	1744	1,42	782	0,64	962	0,78	693	0,56	15
113	Branik	Branica	kras	1699	3,67	765	1,65	934	2,02	363	0,78	34
114	Volčja Draga	Lijak	kras	1750	2,97	734	1,25	1016	1,72	1286	2,18	-15
115	Idrija+Hubelj		kras	2392	15,49	724	4,69	1668	10,80	1818	11,78	-6
116	Neblo	Reka	29,70	1992	1,97	738	0,73	1254	1,24	674	0,67	29
117	Golo Brdo	Idrija	57,04	2389	4,34	776	1,41	1613	2,93	1482	2,70	5
118	Potoki	Nadiža	94,76	3042	9,14	751	2,25	2291	6,89	1283	3,85	33
119	Trnovo	Reka	166,90	1764	5,85	722	2,39	1042	3,46	898	2,98	8
120	Cerkvenikov Mlin	Reka	377,89	1677	10,79	738	4,75	939	6,04	545	3,51	23
121	Ilirska Bistrica	Bistrica	kras	2421	8,69	704	2,53	1717	6,16	382	1,37	55
122	Kubed	Rižana	204,50	1639	10,63	749	4,86	890	5,77	583	3,79	19
123	Šalara	Badaševica	21,30	1172	0,79	715	0,48	457	0,31	480	0,32	-2
124	Pišine	Drnica	29,77	1131	1,07	740	0,70	391	0,37	264	0,25	11
125	Podkaštel	Dragonja	92,71	1208	3,57	766	2,26	442	1,31	417	1,23	2

Na straneh Geoportal-a (ARSO, 2013a) smo pridobili karto pokrovnosti tal v Sloveniji po CORINE 2006, ki je namenjena za uporabo v sistemih GIS.

Ostale GIS podlage, od katerih pa je bila v diplomski nalogi uporabljena le karta hidrometričnih zaledij, smo pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (Frantar, 2008; Frantar, 2013).

5.3 Opis pridobljenih podatkov in priprava potrebnih kart za delo v ArcMap-u

5.3.1 Karta hidrometričnih zaledij

Karta hidrometričnih zaledij (Frantar, 2008) umešča v prostor 125 hidrometričnih zaledij, na podlagi katerih je bila ocenjena vodna bilanca Slovenije (preglednica 2). Porečja oziroma hidrometrična zaledja so bila imensko identificirana preko šifre, ki je podana v atributni tabeli vektorskega sloja hidrometričnih zaledij. Identifikacija je bila izvedena s pomočjo preglednice osnovnih geografskih parametrov vodomernih postaj (ARSO, 2013b) in jo prikazujemo v preglednici 3.

Preglednica 3: Identifikacija hidrometričnih zaledij.

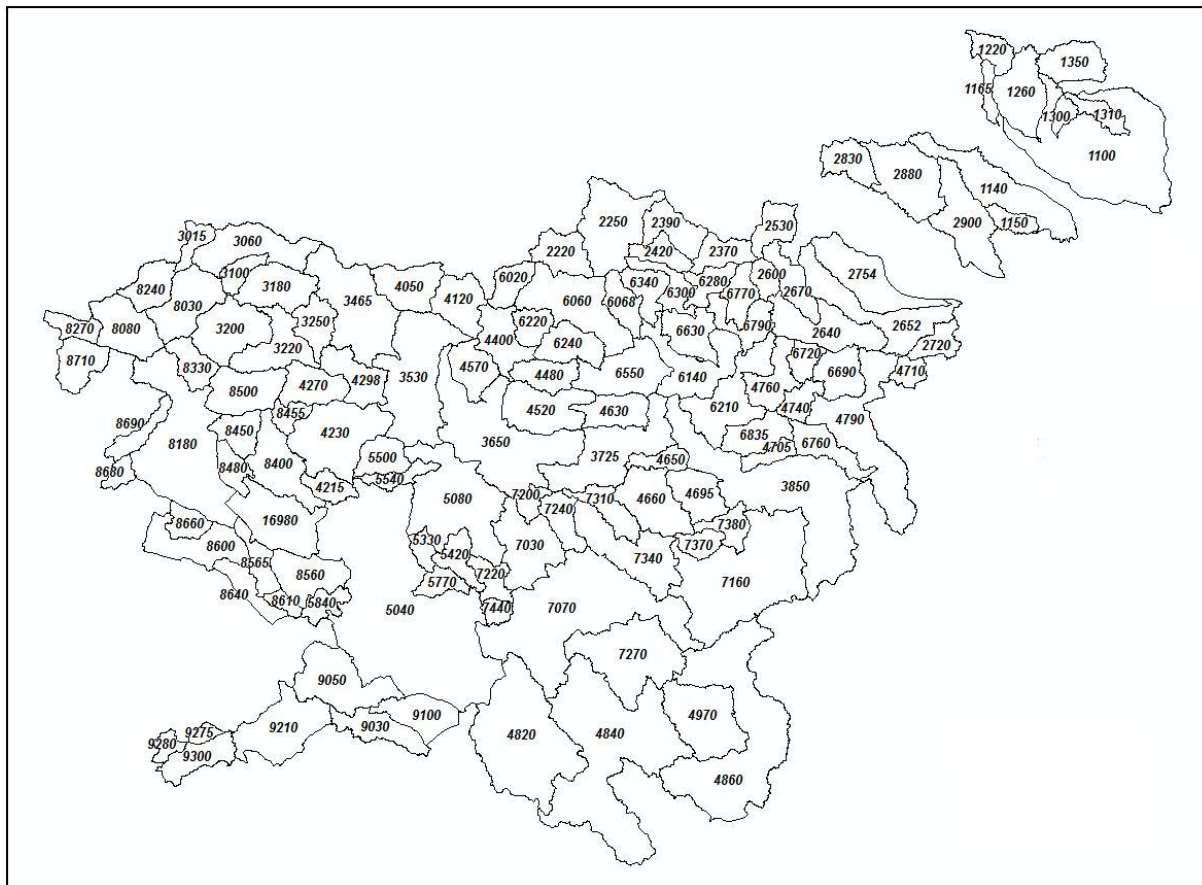
#	ŠIFRA	POSTAJA	VODOTOK	#	ŠIFRA	POSTAJA	VODOTOK
1	1100	Cankova	Kučnica	12	2370	Dovže	Mislinja
2	1140	Pristava	Ščavnica	13	2390	Otiški Vrh	Mislinja
3	1150	Branislavci	Turja	14	2420	Stari trg	Suhodolnica
4	1165	Nuskova	Ledava	15	2530	Ruta	Radoljna
5	1220	Polana	Ledava	16	2600	Zreče	Dravinja
6	1260	Čentiba	Ledava	17	2640	Makole	Dravinja
7	1300	Martjanci	Martjanski potok	18	2652	Videm	Dravinja
8	1310	Kobilje	Kobiljski potok	19	2670	Dražva vas	Oplotnica
9	1350	Hodoš	Velika Krka	20	2720	Podlehnik	Rogatnica
10	2220	Črna	Meža	21	2754	Tržec	Polskava
11	2250	Otiški Vrh	Meža	22	2830	Ranca	Pesnica

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 3

23	2880	Gočova	Pesnica	75	6280	Velenje	Paka
24	2900	Zamušani	Pesnica	76	6300	Šoštanj	Paka
25	3015	Kranjska Gora	Sava Dolinka	77	6340	Rečica	Paka
26	3060	Jesenice	Sava Dolinka	78	6550	Dolenja vas	Bolska
27	3100	Mojstrana	Bistrica	79	6630	Levec	Ložnica
28	3180	Podhom	Radovna	80	6690	Črnolica	Voglažna
29	3200	Sveti Janez	Sava Bohinjka	81	6720	Celje	Voglažna
30	3220	Soteska	Sava Bohinjka	82	6760	Grobelno	Slomski potok
31	3250	Bodešče	Sava Bohinjka	83	6770	Polže	Hudinja
32	3465	Okroglo	Sava	84	6790	Škofja vas	Hudinja
33	3530	Medno	Sava	85	6835	Vodiško	Gračnica
34	3650	Litija	Sava	86	7030	Podbukovje	Krka
35	3725	Hrastnik	Sava	87	7070	Srebrnice	Krka
36	3850	Čatež	Sava	88	7160	Podbočje	Krka
37	4050	Preska	Tržiška Bistrica	89	7200	Mlačevo	Grosupejščica
38	4120	Kokra	Kokra	90	7220	Rašica	Rašica
39	4215	Žiri	Poljanska Sora	91	7240	Trebња Gorica	Višnjica
40	4230	Zminec	Poljanska Sora	92	7270	Meniška vas	Radešca
41	4270	Železniki	Selška Sora	93	7310	Rožni Vrh	Temenica
42	4298	Vešter	Selška Sora	94	7340	Prečna	Prečna
43	4400	Kamnik	Kamniška Bistrica	95	7370	Klevevž	Radulja
44	4480	Nevlje	Nevljica	96	7380	Škocjan	Radulja
45	4520	Podrečje	Rača	97	7440	Sodražica	Bistrica
46	4570	Topole	Pšata	98	8030	Kršovec	Soča
47	4630	Zagorje	Medija	99	8080	Kobarid	Soča
48	4650	Žebnik	Sopota	100	8180	Solkan	Soča
49	4660	Martinja vas	Mirna	101	8240	Kal-Koritnica	Koritnica
50	4695	Jelovec	Mirna	102	8270	Žaga	Učja
51	4705	Orešje	Sevnična	103	8330	Tolmin	Tolminka
52	4710	Rogatec	Sotla	104	8400	Reka	Idrija
53	4740	Rakovec	Sotla	105	8450	Hotešk	Idrija
54	4760	Sodna vas	Mestinjščica	106	8455	Cerkno	Cerknica
55	4790	Zagaj	Bistrica	107	8480	Dolenja Trebuša	Trebuša
56	4820	Petrina	Kolpa	108	8500	Bača pri Modreju	Bača
57	4840	Radenci	Kolpa	109	8560	Vipava	Vipava
58	4860	Metlika	Kolpa	110	8565	Dolenje	Vipava
59	4970	Gradac	Lahinja	111	8600	Miren	Vipava
60	5040	Komin	Ljubljana	112	8610	Podnanos	Močilnik
61	5080	Moste	Ljubljana	113	8640	Branik	Branica
62	5330	Borovnica	Borovniščica	114	8660	Volčja Draga	Lijak
63	5420	Iška	Iška	115	16980	Idrija-Hubelj	-
64	5500	Dvor	Gradaščica	116	8680	Neblo	Reka
65	5540	Razori	Šujica	117	8690	Golo Brdo	Idrija
66	5770	Cerknica	Cerkniščica	118	8710	Potoki	Nadiža
67	5840	Mali Otok	Nanoščica	119	9030	Trnovo	Reka
68	6020	Solčava	Savinja	120	9050	Cerkvenikov Mlin	Reka
69	6060	Nazarje	Savinja	121	9100	Ilirska Bistrica	Bistrica
70	6068	Letuš	Savinja	122	9210	Kubed	Rižana
71	6140	Celje-Brv	Savinja	123	9275	Šalara	Badaševica
72	6210	Veliko Širje	Savinja	124	9280	Pišine	Drnica
73	6220	Luče	Lučnica	125	9300	Podkaštel	Dragonja
74	6240	Kraše	Dreta				

Meje in območja posameznih hidrometričnih zaledij določajo poligoni (slika 18), na katere so bile prilagojene tudi ostale GIS podlage.



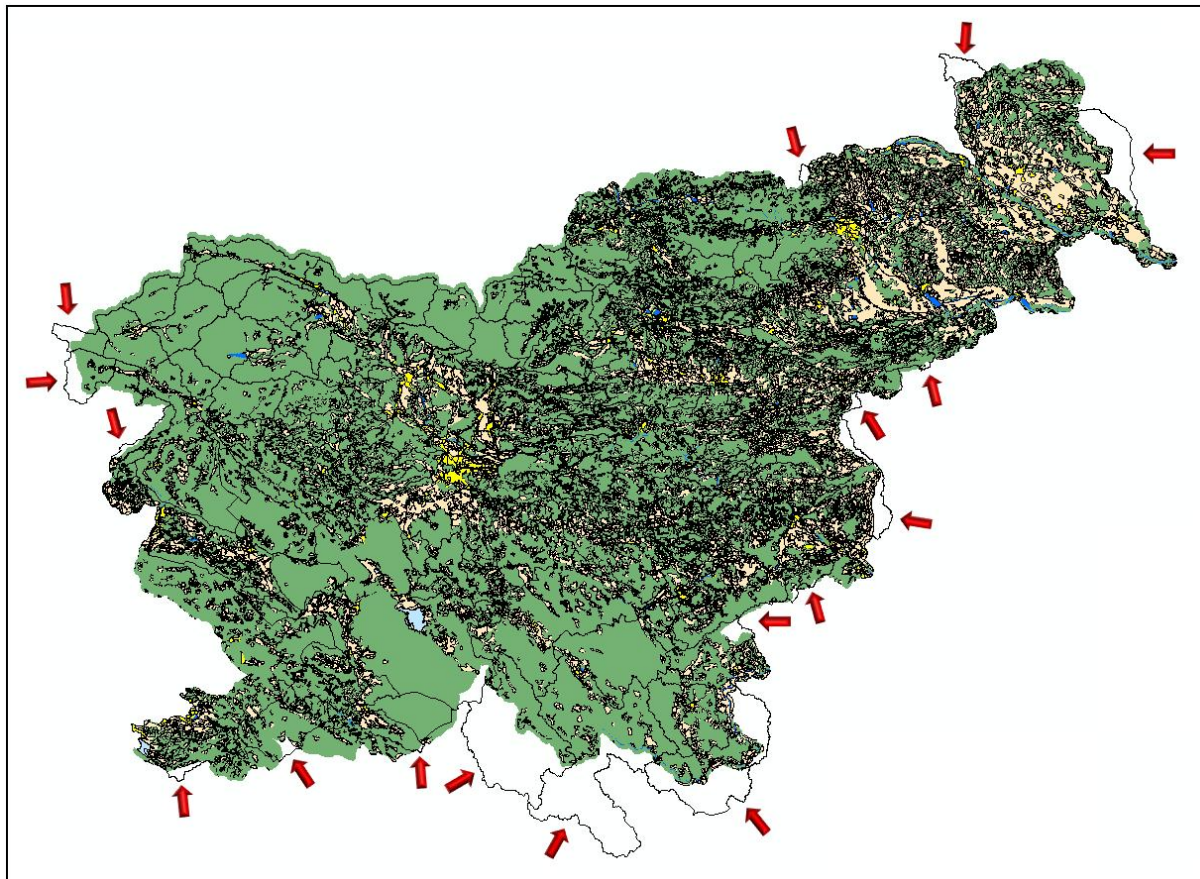
Slika 18: Hidrometrična zaledja z identifikacijsko šifro.

5.3.2 Karta pokrovnosti tal

Karta pokrovnosti tal je potrebna za določitev deležev različnih skupin vegetacije na posameznih hidrometričnih zaledjih. Prvotni namen je bil uporabiti obstoječo karto pokrovnosti tal v Sloveniji po CORINE 2006, ki je prosto dostopna na spletu (ARSO, 2013a), vendar območja mnogih hidrometričnih zaledij presegajo meje države (slika 19).

Zaradi te neskladnosti podatkov, je bilo potrebno izdelati novo karto pokrovnosti tal. Osnovna podlaga je bila pridobljena iz ArcGIS-ove zbirke podatkov (ArcGIS Online) in je karta pokrovnosti tal celotne Evrope – Corine Land Cover Europe 2006 (ArcGIS, 2013) z geometrijsko natančnostjo 100 m². Umestitev v prostor smo izvedli na podlagi definicije skupnih točk z obstoječo karto pokrovnosti tal. Zaradi lažje obdelave podatkov in preglednosti smo karto nato skrčili le na območje hidrometričnih zaledij, glede na vrednosti vsebovanih celic pa smo oblikovali 29 od 44 obstoječih razredov (preglednica 4), ki jih po klasifikaciji CLC najdemo na obravnavanem območju (CLC, 2013). Poleg

treh hierarhičnih stopenj razdelitve glede na pokrovnost tal, se je v atributno tabelo karte vgradilo tudi razdelitev rabe tal na tri skupine vegetacije, ki jih Zhangov model uporablja za izračune.



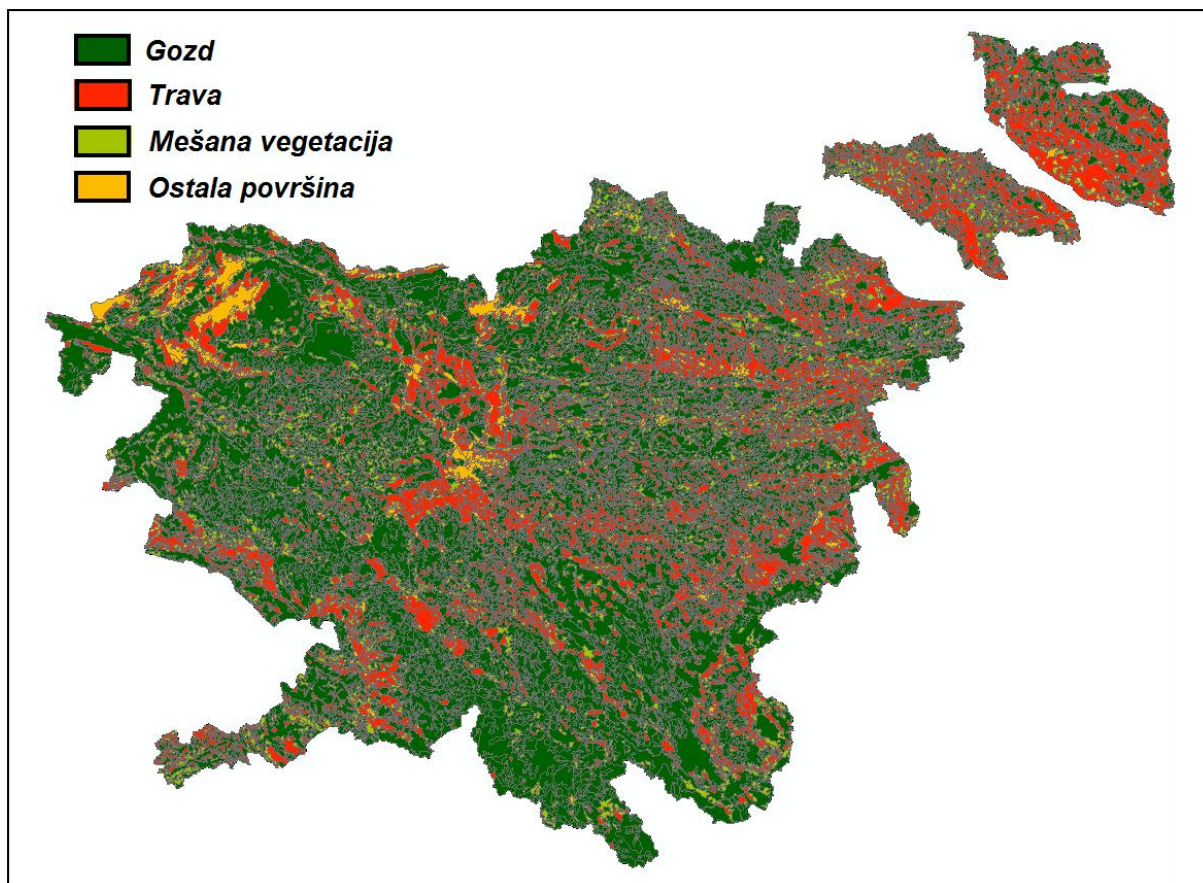
Slika 19: Prikaz območij hidrometričnih zaledij, ki presegajo meje države.

V preglednici 4 so pod opisi predstavljene tri hierarhične stopnje razdelitve rabe tal, s šiframi pa razredi po CLC klasifikaciji, ki pripadajo posameznim območjem. Območij rabe tal, ki so v opisu napisana z poševno pisavo, na obravnavanem območju ni. V zadnjem stolpcu je podana končna pokrovnost tal, izbrana glede na tri modelne skupine vegetacije: trava, gozd in mešana vegetacija (preglednica 4). Ob predpostavki, da je evapotranspiracija z ostalih rab tal zanemarljiva, npr. če se voda bodisi ne zadržuje na površini, ampak takoj odteče (umetne in neporasle površine) ali pa so deleži posamezne rabe tal v primerjavi s površino, ki ga posamezno hidrometrično zaledje zavzema, zelo majhni (vodne površine), tovrstnih območij ni potrebno vključiti v model. Glede na ugotovitve nekaterih raziskav (Steduto et al., 2012; Açar et al., 2001; Williams, 2010) imajo vinogradi in sadovnjaki aktivnost izhlapevanja, ki je podobna površinam, ki so prekrte samo s travo, saj v mnogih primerih prevlada izhlapevanje s tal (trave), ki predstavlja znaten delež površine na takih območjih. Zato smo v modelu ti dve površini pripisali travnati skupini.

Preglednica 4: Določitev pokrovnosti tal po klasifikaciji CLC in pregled gradnikov treh skupin vegetacije, na podlagi katerih so osnovani deleži rabe tal, uporabljeni v modelu.

ID	ŠIFRA 3	OPIS 3	ŠIFRA 2	OPIS 2	ŠIFRA 1	OPIS 1	MODEL
1	111	Sklenjene urbane površine	11	Urbane površine	1	Umetne površine	X
2	112	Nesklenjene urbane površine	11		1		X
3	121	Industrija, trgovina	12	Industrijske, trgovinske, transportne površine	1		X
4	122	Cestno in železniško omrežje in pridružene površine	12		1		X
5	123	<i>Pristanišča</i>	12		1		X
6	124	Letališča	12	1	X		
7	131	Dnevni kopi, kamnolomi	13	Rudniki, odlagališča, gradbišča	1		X
8	132	Odlagališča	13		1		X
9	133	Gradbišča	13		1		X
10	141	Zelene mestne površine	14	Umetno ozelenjene nekmetske površine	1		trava
11	142	Površine za šport in prosti čas	14		1	X	
12	211	Nenamakalne njivske površine	21	Njivske površine	2	trava	
13	212	<i>Območja s stalnim namakanjem</i>	21		2	X	
14	213	<i>Riževa polja</i>	21	2	X		
15	221	Vinogradi	22	Trajni nasadi	2	trava	
16	222	Sadovnjaki in nasadi jagodičja	22		2	trava	
17	223	<i>Nasadi oljk</i>	22		2	X	
18	231	Pašniki	23	Pašniki	2	trava	
19	241	<i>Celoletni posevki</i>	24	Mešane kmetijske površine	2	X	
20	242	Kmetijske površine drobnoposestniške strukture	24		2	trava	
21	243	Pretežno kmetijske površine z večjimi območji vegetacije	24		2	mešana vegetacija	
22	244	<i>Kmetijsko gozdarske površine</i>	24		2	X	
23	311	Listnati gozd	31	Gozdovi	3	gozd	
24	312	Iglasti gozd	31		3	gozd	
25	313	Mešani gozd	31		3	gozd	
26	321	Naravni travniki	32		Grmovje in/ali zeliščno rastlinstvo	3	trava
27	322	Barja in resave	32			3	trava
28	323	<i>Sklerofilno rastlinstvo</i>	32			3	X
29	324	Grmičast gozd	32		3	mešana vegetacija	
30	331	Plaže, sipine in peščene površine	33	Neporasle površine z malo ali brez vegetacije	3	X	
31	332	Golo skalovje	33		3	X	
32	333	Redko porasle površine	33		3	X	
33	334	<i>Požarišča</i>	33		3	X	
34	335	Ledeniki in večni sneg	33		3	X	
35	411	Celinska barja	41	Celinska močvirja	4	trava	
36	412	<i>Šotišča</i>	41		4	X	
37	421	<i>Slana močvirja</i>	42	Obalna močvirja	4	X	
38	422	<i>Soline</i>	42		4	X	
39	423	<i>Pas plimovanja</i>	42	4	X		
40	511	Vodotoki in kanali	51	Celinske vode	5	X	
41	512	Mirujoča voda	51		5	X	
42	521	<i>Obalne lagune</i>	52	Morje	5	X	
43	522	<i>Rečna ustja</i>	52		5	X	
44	523	<i>Morje in ocean</i>	52		5	X	

Iz karte pokrovnosti tal (slika 20) je na obravnavanih hidrometričnih zaledjih razvidna prevladujoča površina gozda. Površine s travo (vključno s kmetijskimi površinami) zavzemajo večje površine le na vzhodu v predelih Panonske nižine, medtem ko se drugod pojavljajo pretežno v nižinskih predelih in znotraj gozdnih površin, na severu pa tudi na večjih višinah v obliki visokogorskih pašnikov. Območij z mešano vegetacijo je razmeroma malo, jih pa najdemo po celi Sloveniji, običajno na prehodih s travnatih (in kmetijskih) v gozdne površine. Ostala pokrovnost tal se pojavlja predvsem v predelih urbane naselitve (neprepustne umetne površine) in gorovij z visoko nadmorsko višino, kjer prevladuje skalovje in raste ne uspeva. Slednjih je največ na severu in predvsem severo-zahodu.

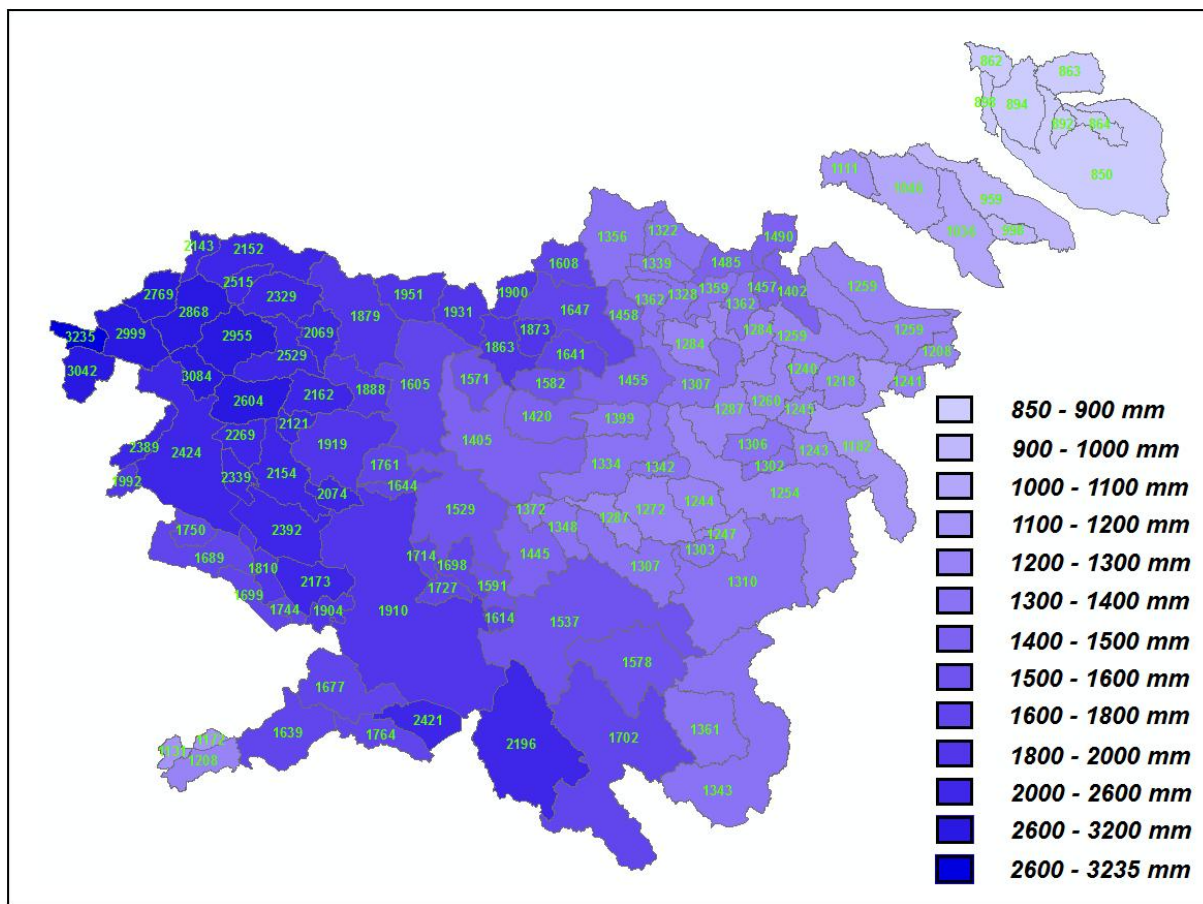


Slika 20: Prikaz izdelane karte pokrovnosti tal za območje hidrometričnih zaledij z razdelitvijo rabe tal, kot jo določa Zhangov model.

5.3.3 Karta srednjih povprečnih letnih padavin

Ker rasterska oblika karte povprečnih letnih padavin za obdobje 1971-2000 ni bila na razpolago, na spletni strani Geoportal-a (ARSO, 2013a) pa je dostopna le karta povprečnih letnih višin padavin, na kateri padavine niso podane v obliki diskretnih vrednosti, temveč v razredih »od – do«, je bilo treba ustrezno karto izdelati. Kot vir podatkov smo uporabili korigirane vrednosti padavin, navedene v preglednici 2 ter jih v programu ArcMap pripisali posameznim hidrometričnim zaledjem.

Iz izdelane karte (slika 21) je razvidna velika količina padavin v severo-zahodnem predelu države, ki se z rahlim upadom nadaljuje proti osrednjemu južnemu delu obravnavanega območja. Nekoliko nižje letne padavine so v priobalnem pasu in osrednjem delu, najnižje pa na severo-vzhodu države. Vrednosti srednjih povprečnih letnih padavin hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000 se gibljejo med 850 v okolici Čentibe in 3235 mm v predelu vodotoka Učja. Podatke s karte bomo v nadaljevanju uporabili kot vhodni podatek pri modeliranju evapotranspiracije in specifičnega odtoka z Zhangovim modelom.



Slika 21: Srednja povprečna letna višina padavin obravnavanih hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000.

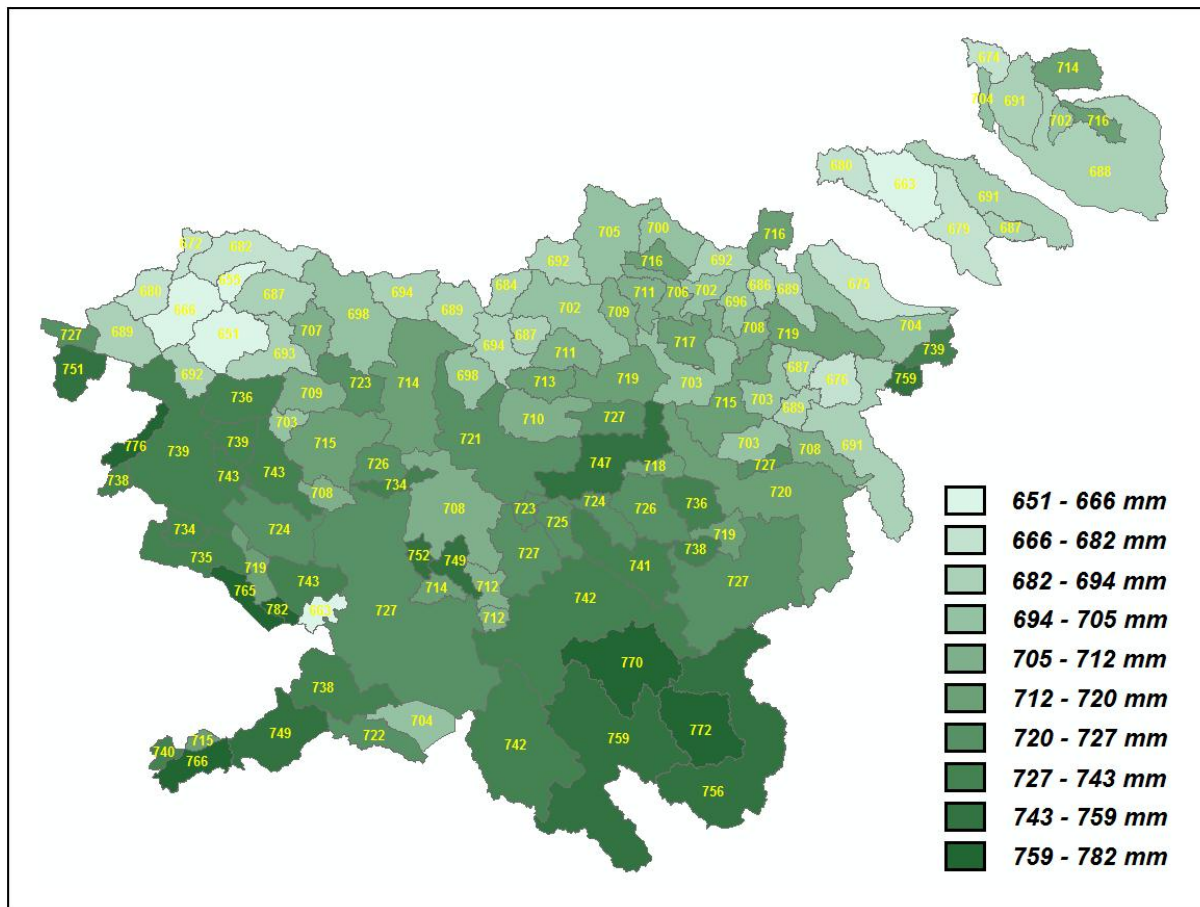
5.3.4 Karta srednje povprečne letne evapotranspiracije

Karta srednje povprečne letne evapotranspiracije hidrometričnih zaledij za obdobje 1971-2000 je bila izdelana iz podatkov v preglednici 2. Vrednosti evapotranspiracije nihajo med 651 in 782 mm (slika 22). Največjo imajo kraji v zahodni Sloveniji ter južni predeli države, najmanjšo pa kraji na severu in vzhodu.

Vrednosti evapotranspiracije, ki smo jih pripisali posameznim hidrometričnim zaledjem, so bile že korigirane z upoštevanjem pokrovnosti tal in rastlin, zato so primerne za neposredno primerjavo z vrednostmi evapotranspiracije, ki jih bomo določili po Zhangovem modelu. Korekcija je bila izvedena na osnovi standardnih korekcijskih koeficientov za posamezne sloje pokrovnosti (Frantar et al., 2008).

Preglednica 5: Vrednost korekcijskih koeficientov za posamezne skupine rabe tal.

Rastlina	mešan gozd	kmetijske rastline	vodne površine	urbano območje
Koeficient	1,10	0,82	0,6	1,00

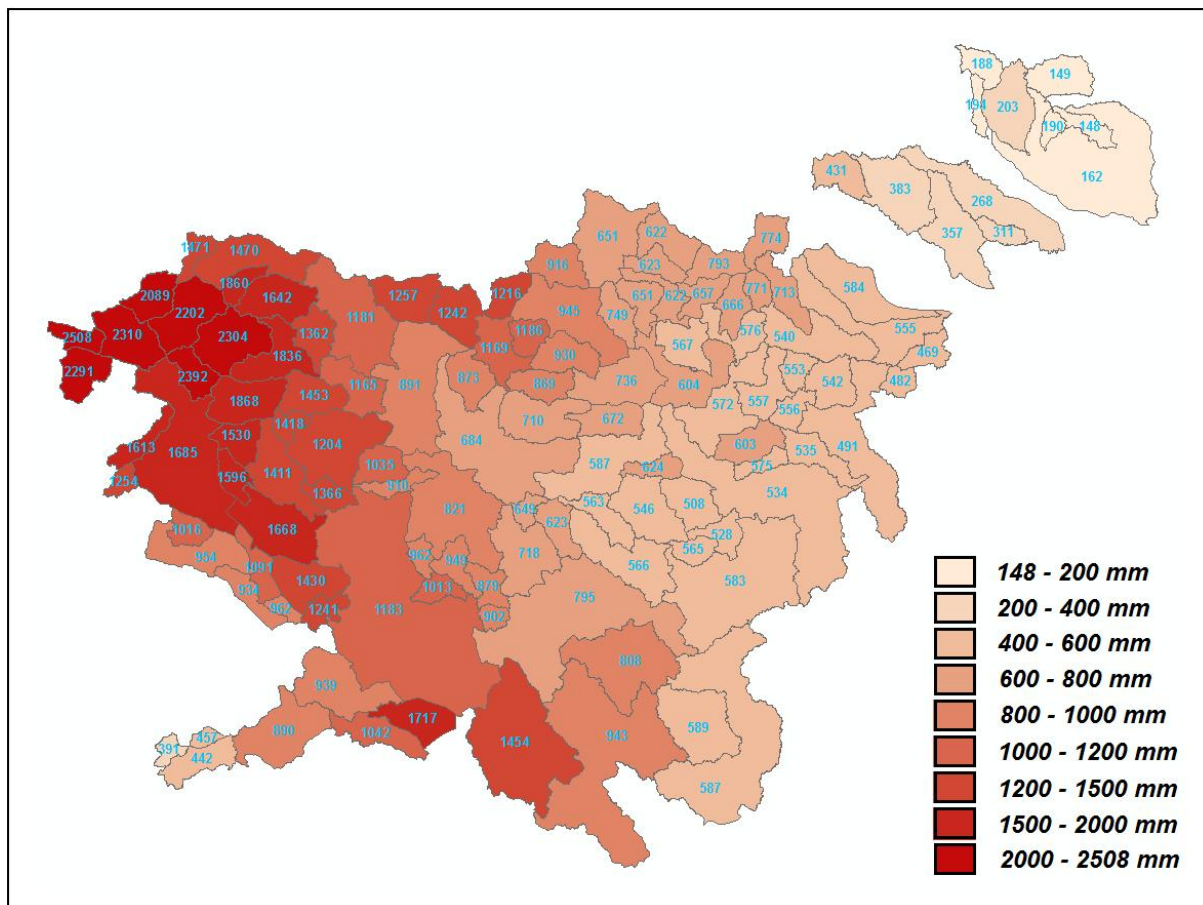


Slika 22: Srednja povprečna letna višina evapotranspiracije s hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000.

5.3.5 Karta srednjega povprečnega letnega specifičnega odtoka

Tudi karta srednjega povprečnega letnega specifičnega odtoka s hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000 (slika 23) je bila narejena na podlagi podatkov v preglednici 2. Vrednosti odtoka na izdelani karti so izračunane po bilančni enačbi (11) kot razlika med padavinami in evapotranspiracijo, iz česar izhaja tudi razporeditev odtoka na obravnavanem območju. Skladno s pričakovanji, je tako odtok največji na območju severo-zahoda in najmanjši na severo-vzhodu države, razlika med ekstremoma pa se odraža v razmerju skoraj 1:17. Razloge za najvišje vrednosti odtoka v goratih predelih na severo-zahodu države je mogoče iskati v dejstvu, da to območje prejme večjo količino padavin od ostalih, deloma pa tudi velikemu koeficientu odtoka, saj je na tem območju moč najti razmeroma veliko površine, na katerih ne uspeva rastlinje in so tako podvržena takojšnjem odtoku.

V nadaljevanju bomo tako izdelano karto uporabili za namene ponazoritev primerjav z odtokom, izračunanim po Zhangovem modelu.



Slika 22: Srednja povprečna letna višina specifičnega odtoka hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000.

5.4 Izračun deležev rabe tal na posameznih hidrometričnih zaledjih

Delež rabe tal na območju hidrometričnih zaledij smo izračunali z uporabo programov ArcMap in Excel. Vir vhodnih podatkov je bila karta pokrovnosti tal, katere izdelavo smo opisali v poglavju 5.3.2 in je prikazana na sliki 20. V ArcMap-u so bila najprej poiskana presečišča med karto pokrovnosti tal in karto hidrometričnih zaledij, s čimer smo določili površine posamezne rabe tal za vsako hidrometrično zaledje. Ker je bila atributna tabela karte pokrovnosti tal že pripravljena za razdelitev površine na stopnji, ki jo potrebujemo za modeliranje (glej preglednico 4), je bilo možno po izvozu rezultatov v Excel, takoj določiti odstotke površin različnih vrst vegetacije, ki pripadajo posameznim območjem. Deleži površine so bili izračunani za dve ravni modeliranja: z dvema (gozd, trava) in tremi (gozd, mešana vegetacija, trava) skupinami vegetacije (priloga A.1). Pri izračunu z dvema skupinama vegetacije, je površina mešane vegetacije upoštevana tako, da se enakomerno razdeli: 50 % travi in 50 % gozdu. V prilogi A.1 je s poševno pisavo označen delež površine, ki ne pripada vegetaciji. Na večini hidrometričnih zaledij je ta površina majhna, pri razdelitvi deležev na ravni modela pa jih ne upoštevamo (glej tudi razlago preglednice 4).

5.5 Ocena evapotranspiracije in odtoka po Zhangovem modelu

Srednja povprečna letna evapotranspiracija in srednji povprečni letni specifični odtok za posamezna hidrometrična zaledja v obdobju 1971-2000 sta bila izračunana po enačbah (25) in (11), kjer smo za vir podatkov o padavinah uporabili korigirane vrednosti padavin iz preglednice 2 ter deleže rabe tal, ki pripadajo travi in gozdu iz priloge A.1. Izračun evapotranspiracije smo izvedli postopno, in sicer ločeno za deleža, ki ga k skupni evapotranspiraciji prispevata površina trave in površina gozda. V preglednici 6 so prikazani rezultati izračuna izhlapevanja in odtoka po Zhangovem modelu ter primerjava z evapotranspiracijo ter odtokom iz preglednice 2.

Preglednica 6: Srednja povprečna letna evapotranspiracija in srednji povprečni letni specifični odtok hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000 določena z Zhangovim modelom ter primerjava z vrednostmi iz preglednice 2.

#	Šifra	Postaja	Preglednica 2			Zhangov model				Razlika ET [%]	Razlika odtok [%]
			P [mm]	ET [mm]	Odtok [mm]	ET			Odtok [mm]		
						Prispevek gozda [mm]	Prispevek trave [mm]	Skupaj [mm]			
1	1100	Cankova	898	704	194	301,31	365,36	666,67	231,33	-5,30	19,24
2	1140	Pristava	959	691	268	271,22	412,45	683,67	275,33	-1,06	2,74
3	1150	Branislavci	998	687	311	302,97	403,16	706,13	291,87	2,78	-6,15
4	1165	Nuskova	862	674	188	324,20	332,39	656,59	205,41	-2,58	9,26
5	1220	Polana	894	691	203	277,21	382,18	659,39	234,61	-4,57	15,57
6	1260	Čentiba	850	688	162	229,05	400,89	629,94	220,06	-8,44	35,84
7	1300	Martjanci	892	702	190	301,56	362,68	664,23	227,77	-5,38	19,88
8	1310	Kobilje	864	716	148	353,55	310,58	664,13	199,87	-7,24	35,05
9	1350	Hodoš	863	714	149	359,99	305,16	665,15	197,85	-6,84	32,79
10	16980	Idrija+Hubelj	2392	724	1668	1171,90	111,16	1283,06	1108,94	77,22	-33,52
11	2220	Črna	1608	692	916	929,14	140,75	1069,89	538,11	54,61	-41,25
12	2250	Otiški Vrh	1356	705	651	800,07	163,07	963,14	392,86	36,62	-39,65
13	2370	Dovže	1485	692	793	884,43	140,68	1025,10	459,90	48,14	-42,01
14	2390	Otiški Vrh	1322	700	622	658,20	252,52	910,72	411,28	30,10	-33,88
15	2420	Stari trg	1339	716	623	730,77	206,57	937,34	401,66	30,91	-35,53
16	2530	Ruta	1490	716	774	957,12	92,10	1049,22	440,78	46,54	-43,05
17	2600	Zreče	1457	686	771	754,70	222,60	977,29	479,71	42,46	-37,78
18	2640	Makole	1259	719	540	567,75	297,67	865,42	393,58	20,36	-27,11
19	2652	Videm	1259	704	555	553,44	307,83	861,27	397,73	22,34	-28,34
20	2670	Dražva vas	1402	689	713	654,92	277,14	932,06	469,94	35,28	-34,09
21	2720	Podlehnik	1208	739	469	669,88	208,59	878,48	329,52	18,87	-29,74
22	2754	Tržec	1259	675	584	368,85	438,89	807,74	451,26	19,67	-22,73
23	2830	Ranca	1111	680	431	346,78	410,01	756,79	354,21	11,29	-17,82
24	2880	Gočova	1046	663	383	228,82	475,14	703,96	342,04	6,18	-10,69
25	2900	Zamušani	1036	679	357	272,68	439,26	711,94	324,06	4,85	-9,23
26	3015	Kranjska Gora	2143	672	1471	905,38	252,30	1157,68	985,32	72,27	-33,02
27	3060	Jesenice	2152	682	1470	1027,94	173,96	1201,90	950,10	76,23	-35,37
28	3100	Mojstrana	2515	655	1860	839,35	337,22	1176,57	1338,43	79,63	-28,04
29	3180	Podhom	2329	687	1642	1117,84	138,60	1256,44	1072,56	82,89	-34,68
30	3200	Sveti Janez	2955	651	2304	907,68	328,95	1236,63	1718,37	89,96	-25,42
31	3220	Soteska	2529	693	1836	1144,20	143,50	1287,70	1241,30	85,82	-32,39
32	3250	Bodešče	2069	707	1362	1093,43	119,30	1212,73	856,27	71,53	-37,13
33	3465	Okroglo	1879	698	1181	863,86	239,00	1102,86	776,14	58,00	-34,28

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 6

34	3530	Medno	1605	714	891	716,28	284,18	1000,45	604,55	40,12	-32,15
35	3650	Litija	1405	721	684	636,84	290,49	927,32	477,68	28,62	-30,16
36	3725	Hrastnik	1334	747	587	817,23	144,44	961,67	372,33	28,74	-36,57
37	3850	Čatež	1254	720	534	573,05	292,38	865,43	388,57	20,20	-27,23
38	4050	Preska	1951	694	1257	1085,94	105,13	1191,08	759,92	71,63	-39,54
39	4120	Kokra	1931	689	1242	1081,29	104,74	1186,03	744,97	72,14	-40,02
40	4215	Žiri	2074	708	1366	914,09	236,97	1151,06	922,94	62,58	-32,43
41	4230	Zminec	1919	715	1204	964,84	179,30	1144,14	774,86	60,02	-35,64
42	4270	Železniki	2162	709	1453	1121,04	114,93	1235,97	926,03	74,33	-36,27
43	4298	Vešter	1888	723	1165	1014,19	141,35	1155,54	732,46	59,83	-37,13
44	4400	Kamnik	1863	694	1169	888,00	220,25	1108,24	754,76	59,69	-35,44
45	4480	Nevlje	1582	713	869	908,00	148,94	1056,94	525,06	48,24	-39,58
46	4520	Podrečje	1420	710	710	650,50	284,95	935,45	484,55	31,75	-31,75
47	4570	Topole	1571	698	873	598,07	356,94	955,01	615,99	36,82	-29,44
48	4630	Zagorje	1399	727	672	749,51	210,62	960,13	438,87	32,07	-34,69
49	4650	Žebnik	1342	718	624	729,22	208,53	937,76	404,24	30,61	-35,22
50	4660	Martinja vas	1272	726	546	619,34	265,03	884,36	387,64	21,81	-29,00
51	4695	Jelovec	1244	736	508	629,78	248,93	878,71	365,29	19,39	-28,09
52	4705	Orešje	1302	727	575	751,62	180,75	932,37	369,63	28,25	-35,72
53	4710	Rogatec	1241	759	482	718,68	184,66	903,35	337,65	19,02	-29,95
54	4740	Rakovec	1182	691	491	383,30	406,04	789,34	392,66	14,23	-20,03
55	4760	Sodna vas	1218	676	542	325,30	458,32	783,62	434,38	15,92	-19,86
56	4790	Zagaj	1243	708	535	592,57	275,10	867,68	375,32	22,55	-29,85
57	4820	Petrina	2196	742	1454	1240,63	42,15	1282,78	913,22	72,88	-37,19
58	4840	Radenci	1702	759	943	1037,39	89,10	1126,49	575,51	48,42	-38,97
59	4860	Metlika	1343	756	587	746,76	196,54	943,30	399,70	24,78	-31,91
60	4970	Gradac	1361	772	589	783,04	176,45	959,48	401,52	24,29	-31,83
61	5040	Komin	1910	727	1183	923,12	205,24	1128,36	781,64	55,21	-33,93
62	5080	Moste	1529	708	821	585,04	356,49	941,53	587,47	32,98	-28,44
63	5330	Borovnica	1714	752	962	980,68	129,68	1110,36	603,64	47,65	-37,25
64	5420	Iška	1698	749	949	1062,02	71,71	1133,73	564,27	51,37	-40,54
65	5500	Dvor	1761	726	1035	968,75	147,37	1116,12	644,88	53,74	-37,69
66	5540	Razori	1644	734	910	771,38	255,39	1026,77	617,23	39,89	-32,17
67	5770	Cerknica	1727	714	1013	902,88	184,45	1087,34	639,66	52,29	-36,85
68	5840	Mali Otok	1904	663	1241	504,35	480,23	984,57	919,43	48,50	-25,91
69	6020	Solčava	1900	684	1216	1058,27	114,42	1172,69	727,31	71,45	-40,19
70	6060	Nazarje	1647	702	945	863,02	194,26	1057,28	589,72	50,61	-37,60
71	6068	Letuš	1458	709	749	795,47	194,76	990,23	467,77	39,67	-37,55
72	6140	Celje-Brv	1307	703	604	496,48	362,02	858,50	448,50	22,12	-25,75
73	6210	Veliko Širje	1287	715	572	608,84	276,98	885,81	401,19	23,89	-29,86
74	6220	Luče	1873	687	1186	924,41	197,95	1122,37	750,63	63,37	-36,71
75	6240	Kraše	1641	711	930	879,39	181,89	1061,28	579,72	49,27	-37,66
76	6280	Velenje	1359	702	657	724,59	216,70	941,30	417,70	34,09	-36,42
77	6300	Šoštanj	1328	706	622	664,96	249,51	914,48	413,52	29,53	-33,52
78	6340	Rečica	1362	711	651	641,99	275,26	917,25	444,75	29,01	-31,68
79	6550	Dolenja vas	1455	719	736	750,05	225,28	975,33	479,67	35,65	-34,83
80	6630	Levec	1284	717	567	517,22	340,86	858,08	425,92	19,68	-24,88
81	6690	Črnomica	1245	689	556	495,48	344,83	840,31	404,69	21,96	-27,21
82	6720	Celje	1260	703	557	495,92	348,96	844,88	415,12	20,18	-25,47
83	6760	Grobelno	1240	687	553	400,57	410,94	811,51	428,49	18,12	-22,51
84	6770	Polže	1362	696	666	684,30	245,71	930,01	431,99	33,62	-35,14
85	6790	Škofja vas	1284	708	576	615,61	271,29	886,90	397,10	25,27	-31,06
86	6835	Vodiško	1306	703	603	615,00	278,24	893,24	412,76	27,06	-31,55
87	7030	Podbukovje	1445	727	718	682,17	269,53	951,69	493,31	30,91	-31,29
88	7070	Srebrniče	1537	742	795	833,13	189,00	1022,14	514,86	37,75	-35,24
89	7160	Podbočje	1310	727	583	556,64	320,50	877,14	432,86	20,65	-25,75
90	7200	Mlačevo	1372	723	649	631,79	285,14	916,92	455,08	26,82	-29,88
91	7220	Rašica	1591	712	879	729,10	272,39	1001,49	589,51	40,66	-32,93
92	7240	Trebnja Gorica	1348	725	623	626,15	282,43	908,58	439,42	25,32	-29,47
93	7270	Meniška vas	1578	770	808	1011,75	77,52	1089,27	488,73	41,46	-39,51

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 6

94	7310	Rožni Vrh	1287	724	563	563,24	309,20	872,44	414,56	20,50	-26,37
95	7340	Prečna	1307	741	566	617,03	277,10	894,13	412,87	20,67	-27,06
96	7370	Klevevž	1303	738	565	696,26	220,08	916,34	386,66	24,17	-31,56
97	7380	Škocjan	1247	719	528	495,96	345,08	841,04	405,96	16,97	-23,11
98	7440	Sodražica	1614	712	902	770,62	249,38	1020,00	594,00	43,26	-34,15
99	8030	Kršovec	2868	666	2202	921,71	314,01	1235,72	1632,28	85,54	-25,87
100	8080	Kobarid	2999	689	2310	1092,00	214,89	1306,89	1692,11	89,68	-26,75
101	8180	Solkan	2424	739	1685	1105,15	157,58	1262,74	1161,26	70,87	-31,08
102	8240	Kal-Koritnica	2769	680	2089	748,89	416,59	1165,48	1603,52	71,39	-23,24
103	8270	Žaga	3235	727	2508	1246,93	130,81	1377,74	1857,26	89,51	-25,95
104	8330	Tolmin	3084	692	2392	973,89	295,15	1269,05	1814,95	83,39	-24,12
105	8400	Reka	2154	743	1411	1134,46	105,10	1239,55	914,45	66,83	-35,19
106	8450	Hotešk	2269	739	1530	1086,60	151,41	1238,00	1031,00	67,52	-32,61
107	8455	Cerkno	2121	703	1418	973,67	204,89	1178,56	942,44	67,65	-33,54
108	8480	Dolenja Trebuša	2339	743	1596	1231,91	66,35	1298,26	1040,74	74,73	-34,79
109	8500	Bača pri Modreju	2604	736	1868	1219,57	102,60	1322,17	1281,83	79,64	-31,38
110	8560	Vipava	2173	743	1430	1112,23	122,18	1234,41	938,59	66,14	-34,36
111	8565	Dolenje	1810	719	1091	565,36	424,82	990,18	819,82	37,72	-24,86
112	8600	Miren	1689	735	954	599,36	380,26	979,62	709,38	33,28	-25,64
113	8610	Podnanos	1744	782	962	1008,32	117,49	1125,81	618,19	43,97	-35,74
114	8640	Branik	1699	765	934	864,81	204,17	1068,98	630,02	39,74	-32,55
115	8660	Volčja Draga	1750	734	1016	662,16	349,76	1011,92	738,08	37,86	-27,35
116	8680	Neblo	1992	738	1254	717,46	353,41	1070,88	921,12	45,11	-26,55
117	8690	Golo Brdo	2389	776	1613	1208,49	87,30	1295,80	1093,20	66,98	-32,23
118	8710	Potoki	3042	751	2291	1209,58	143,09	1352,67	1689,33	80,12	-26,26
119	9030	Trnovo	1764	722	1042	851,56	226,09	1077,65	686,35	49,26	-34,13
120	9050	Cerkvenikov Mlin	1677	738	939	830,54	222,57	1053,11	623,89	42,70	-33,56
121	9100	Ilirska Bistrica	2421	704	1717	1155,53	124,92	1280,45	1140,55	81,88	-33,57
122	9210	Kubed	1639	749	890	765,00	258,62	1023,62	615,38	36,66	-30,86
123	9275	Šalara	1172	715	457	360,00	419,76	779,76	392,24	9,06	-14,17
124	9280	Pišine	1131	740	391	435,70	351,85	787,55	343,45	6,43	-12,16
125	9300	Podkaštel	1208	766	442	639,67	230,24	869,91	338,09	13,56	-23,51

5.6 Prilagoditve in dopolnitve Zhangovega modela za izračune na območju Slovenije

Glede na razlike v evapotranspiraciji in specifičnem odtoku hidrometričnih zaledij, ki nastajajo med izračuni Zhangovega modela in podanimi (merjenimi, izračunanimi) podatki ARSO (preglednica 6), lahko ugotovimo, da model v svoji osnovni obliki velikokrat ne da zadovoljivih rezultatov. Če upoštevamo vseširoko naravnost modela in njegovo zasnovo na zbirki podatkov iz vseh koncev sveta, so taka odstopanja deloma pričakovana. Da bi model bolje ustrezal hidrometričnim zaledjem na območju Slovenije, smo ga na dva načina umerili na podatke iz preglednice 2.

5.6.1 Prilagoditev modela z določitvijo novih konstant

5.6.1.1 Algoritem prilagojenega Zhangovega modela

Posamezne deleže D , ki jih k skupni evapotranspiraciji po Zhangu prispevajo posamezne skupine vegetacije (indeks g za gozd, m za mešano vegetacijo in t za travo), smo analogno z enačbo (25) za

vsako hidrometrično zaledje $i = 1, 2, 3, \dots, 125$, določili z enačbami (27), (28) in (29), v katerih so E_g , E_m in E_t konstante, s katerimi smo umerili model.

$$D_g = f_g(i) \cdot \frac{1 + 2,0 \cdot \frac{E_g}{P(i)}}{1 + 2,0 \cdot \frac{E_g}{P(i)} + \frac{P(i)}{E_g}} \cdot P(i) \quad (27)$$

$$D_m = f_m(i) \cdot \frac{1 + 1,25 \cdot \frac{E_m}{P(i)}}{1 + 1,25 \cdot \frac{E_m}{P(i)} + \frac{P(i)}{E_m}} \cdot P(i) \quad (28)$$

$$D_t = f_t(i) \cdot \frac{1 + 0,50 \cdot \frac{E_t}{P(i)}}{1 + 0,50 \cdot \frac{E_t}{P(i)} + \frac{P(i)}{E_t}} \cdot P(i) \quad (29)$$

Če posamezne deleže seštejemo, dobimo skupno evapotranspiracijo s posameznega hidrometričnega zaledja:

$$ET_{Zhang}(i) = D_g + D_m + D_t \quad (30)$$

Specifični odtok s hidrometričnega zaledja po Zhangu dobimo z enačbo:

$$d(i) = P(i) - ET_{Zhang}(i) \quad (31)$$

Absolutno vrednost razlike evapotranspiracije oziroma odtoka med Zhangovim izračunom in podatki ARSO v preglednici 2 računamo po enačbi (32), kjer Y nadomestimo z odtokom d oziroma evapotranspiracijo ET (indeks A je uporabljen za podatke ARSO iz preglednice 2, indeks Z pa za izračun po Zhangovem modelu):

$$\Delta Y(i) = abs \left[100 - \frac{Y_Z(i) \cdot 100}{Y_A(i)} \right] \quad (32)$$

Model je bil umerjen na pogoje hidrometričnih zaledij z uporabo orodja »Reševalec« v programu Excel, s katerim smo določili konstante E_g , E_m in E_t , ki nastopajo v izrazih (27), (28) in (29). Funkcija

F , ki smo jo uporabili za meritev odstopanja izračuna po Zhangu od podatkov v preglednici 2, je naslednja:

$$F = \sum_{i=1}^{125} \Delta Y(i) \quad (33)$$

Da smo dobili rešitev, smo poiskali minimum funkcije F oziroma minimalno vsoto vseh razlik na hidrometričnih zaledjih med rezultati Zhangovega modela in ARSO-vimi podatki. Za izračun sta bila postavljena tudi dodatna pogoja, in sicer: a) iskane konstante E_g , E_m in E_t morajo biti večje od nič in b) določene morajo biti iz množice naravnih števil $N = 1, 2, 3, \dots$

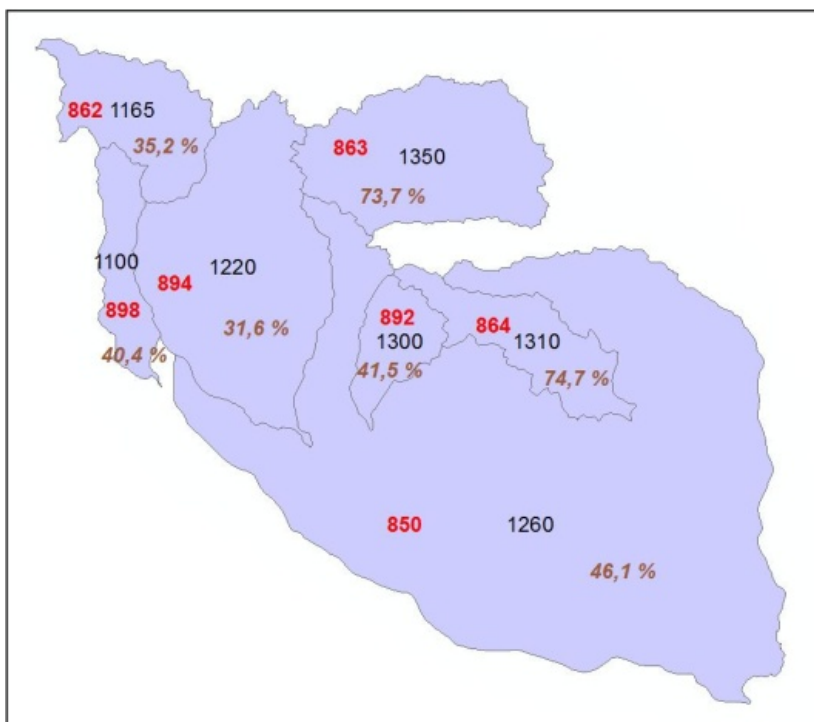
5.6.1.2 Določitev konstant prilagojenega Zhangovega modela

Konstante E_g , E_m in E_t so bile določene ločeno tako za ocenjevanje količine evapotranspiracije in odtoka, kot tudi za modeliranje z dvema oziroma tremi skupinami vegetacije (preglednica 7). Izbrano je bilo 5 % dovoljeno odstopanje. Rešitev smo poiskali s tisoč iteracijami po Newton-u in tangentno oceno. V preglednici 7 podajamo tudi vrednost funkcije F za izvirni in prilagojen Zhangov model ter povprečno odstopanje od pravih vrednosti pri ocenjevanju evapotranspiracije oziroma specifičnega odtoka posameznega hidrometričnega zaledja.

Preglednica 7: Konstante prilagojenega (E_g , E_m in E_t) in izvirnega (E_z) Zhangovega modela ter njuna učinkovitost ocenjevanja evapotranspiracije oziroma specifičnega odtoka.

Vrsta modela	Prilagojen Zhangov model				Zhangov model	
	Evapotranspiracija		Specifični odtok		Evapotranspiracija	Specifični odtok
Stopnja modeliranja	Dve skupini vegetacije	Tri skupine vegetacije	Dve skupini vegetacije	Tri skupine vegetacije	Dve skupini vegetacije	
E_g	643	643	640	657	1410	1410
E_m	-	848	-	748	-	-
E_t	1256	1273	1408	1438	1100	1100
Vrednost funkcije F	699,11	692,87	847,58	834,59	5117,40	3799,65
Največje odstopanje [%]	24,87	25,11	74,74	71,51	89,96	43,05
Povprečno odstopanje [%]	5,59	5,54	6,78	6,68	40,94	30,40
Standardni odklon [%]	5,30	5,28	11,64	11,24	23,87	7,53

Da bi dosegli sprejemljivejša največja odstopanja prilagojenega Zhangovega modela pri ocenjevanju specifičnega odtoka, je bilo potrebno uvesti dodatne popravke prilagojenega modela. Ugotovili smo, da so povprečne letne padavine vseh hidrometričnih zaledij, na katerih se zgodijo odstopanja, večja od 30 odstotkov, manjše od 900 mm. Takih hidrometričnih zaledij je 7 in vsa se nahajajo na severovzhodu Slovenije (slika 23).



Slika 23: Hidrometrična zaledja (črna barva pisave) s povprečnimi letnimi padavinami, manjšimi od 900 mm (rdeča barva pisave) na katerih ocene specifičnega odtoka primarnega prilagojenega Zhangovega modela močno odstopajo (rjava barva pisave) od dejanskih vrednosti.

Na teh sedmih hidrometričnih zaledjih smo izvedli popravek, in sicer z iskanjem novih vrednosti konstant E_g , E_m in E_t po algoritmu, ki smo ga opisali z enačbami (27) do (33). Na tak način smo na zaledjih dosegli oceno specifičnega odtoka, katerega največje odstopanje od ARSO-vih vrednosti, je manjše od 18 % (v primeru dveh skupin vegetacije) oziroma manjše od 15 % (pri modeliranju s tremi skupinami vegetacije). Izboljšava prilagojenega Zhangovega modela, pri katerem za oceno odtoka za hidrometrična zaledja s povprečnimi letnimi padavinami, manjšimi od 900 mm, uporabljamo drugačne vrednosti konstant E_g , E_m in E_t od tistih za hidrometrična zaledja z večjo količino povprečnih letnih padavin, kjer vrednosti konstant ostanejo iste kot pred popravkom, je prikazana v preglednici 8.

Preglednica 8: Izboljšava prilagojenega Zhangovega modela za ocenjevanje specifičnega odtoka na območju Slovenije ter primerjava z originalnim in prilagojenim (brez popravka) Zhangovim modelom.

Vrsta modela	Prilagojen Zhangov model (specifični odtok)						Zhangov model (specifični odtok)
	brez popravka			s popravkom			
Verzija modela	Dve skupini vegetacije		Tri skupine vegetacije		Dve skupini vegetacije		-
Stopnja modeliranja	Dve skupini vegetacije		Tri skupine vegetacije		Dve skupini vegetacije		Dve skupini vegetacije
Količina letnih padavin [mm]	-	-	< 900	900 in več	< 900	900 in več	-
E_g	640	657	1082	640	1128	657	1410
E_m	-	748	-	-	208	748	-
E_t	1408	1438	1613	1408	2049	1438	1100
Vrednost funkcije F	847,58	834,59	559,04		541,62		3799,65
Največje odstopanje [%]	74,74	71,51	19,11		21,59		43,05
Povprečno odstopanje [%]	6,78	6,68	4,47		4,33		30,40
Standardni odklon [%]	11,64	11,24	4,18		4,03		7,53

5.6.1.3 Ocena evapotranspiracije in odtoka po prilagojenem Zhangovem modelu

Za vseh 125 hidrometričnih zaledij smo ocenili letno količino evapotranspiracije (po prilagojenem Zhangovem modelu za tri skupine vegetacije) in letni specifični odtok (po prilagojenem Zhangovem modelu s popravkom za dve skupini vegetacije). Rezultati in odstopanja od dejanskih vrednosti so podani v preglednici 9.

Preglednica 9: Srednja povprečna letna evapotranspiracija in srednji povprečni letni specifični odtok hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000 določena s prilagojenim Zhangovim modelom ter primerjava z vrednostmi ARSO.

#	Šifra	Postaja	ARSO			Prilagojen Zhangov model		Razlika ET [%]	Razlika odtok [%]
			P [mm]	ET [mm]	Odtok [mm]	ET [mm]	Odtok [mm]		
1	1100	Cankova	898	704	194	610,45	192,87	-13,29	-0,58
2	1140	Pristava	959	691	268	635,54	305,08	-8,03	13,84
3	1150	Branislavci	998	687	311	646,16	333,32	-5,94	7,18
4	1165	Nuskova	862	674	188	594,74	174,87	-11,76	-6,99
5	1220	Polana	894	691	203	610,99	191,79	-11,58	-5,52
6	1260	Čentiba	850	688	162	597,40	172,70	-13,17	6,61
7	1300	Martjanci	892	702	190	608,17	189,95	-13,37	-0,03
8	1310	Kobilje	864	716	148	593,11	174,75	-17,16	18,07
9	1350	Hodoš	863	714	149	592,25	174,05	-17,05	16,81
10	16980	Idrija+Hubelj	2392	724	1668	731,50	1652,10	1,04	-0,95
11	2220	Črna	1608	692	916	704,03	896,39	1,74	-2,14
12	2250	Otiški Vrh	1356	705	651	680,83	666,30	-3,43	2,35
13	2370	Dovže	1485	692	793	692,50	785,41	0,07	-0,96
14	2390	Otiški Vrh	1322	700	622	692,71	615,26	-1,04	-1,08
15	2420	Stari trg	1339	716	623	686,99	640,91	-4,05	2,87
16	2530	Ruta	1490	716	774	682,68	803,20	-4,65	3,77
17	2600	Zreče	1457	686	771	706,00	738,50	2,92	-4,22
18	2640	Makole	1259	719	540	690,39	552,52	-3,98	2,32
19	2652	Videm	1259	704	555	691,93	550,16	-1,71	-0,87
20	2670	Dražva vas	1402	689	713	709,44	676,66	2,97	-5,10
21	2720	Podlehnik	1208	739	469	666,23	531,30	-9,85	13,28
22	2754	Tržec	1259	675	584	714,67	519,71	5,88	-11,01
23	2830	Ranca	1111	680	431	677,12	413,06	-0,42	-4,16
24	2880	Gočova	1046	663	383	669,34	353,55	0,96	-7,69
25	2900	Zamušani	1036	679	357	661,69	353,27	-2,55	-1,05
26	3015	Kranjska Gora	2143	672	1471	764,18	1358,81	13,72	-7,63
27	3060	Jesenice	2152	682	1470	742,97	1396,03	8,94	-5,03
28	3100	Mojstrana	2515	655	1860	802,15	1681,44	22,47	-9,60
29	3180	Podhom	2329	687	1642	739,38	1580,11	7,62	-3,77
30	3200	Sveti Janez	2955	651	2304	814,46	2110,92	25,11	-8,38
31	3220	Soteska	2529	693	1836	744,11	1773,13	7,38	-3,42
32	3250	Bodešče	2069	707	1362	724,77	1336,18	2,51	-1,90

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 9

33	3465	Okroglo	1879	698	1181	746,62	1115,32	6,97	-5,56
34	3530	Medno	1605	714	891	735,26	851,63	2,98	-4,42
35	3650	Litija	1405	721	684	712,27	675,75	-1,21	-1,21
36	3725	Hrastnik	1334	747	587	674,75	651,98	-9,67	11,07
37	3850	Čatež	1254	720	534	688,49	549,69	-4,38	2,94
38	4050	Preska	1951	694	1257	716,37	1228,26	3,22	-2,29
39	4120	Kokra	1931	689	1242	716,09	1209,35	3,93	-2,63
40	4215	Žiri	2074	708	1366	756,17	1298,97	6,80	-4,91
41	4230	Zminec	1919	715	1204	732,48	1172,74	2,44	-2,60
42	4270	Železniki	2162	709	1453	726,41	1427,28	2,46	-1,77
43	4298	Vešter	1888	723	1165	722,31	1156,28	-0,10	-0,75
44	4400	Kamnik	1863	694	1169	740,68	1106,65	6,73	-5,33
45	4480	Nevlje	1582	713	869	702,48	870,37	-1,47	0,16
46	4520	Podrečje	1420	710	710	712,90	689,98	0,41	-2,82
47	4570	Topole	1571	698	873	747,20	800,58	7,05	-8,30
48	4630	Zagorje	1399	727	672	695,82	691,30	-4,29	2,87
49	4650	Žebnik	1342	718	624	687,92	642,97	-4,19	3,04
50	4660	Martinja vas	1272	726	546	687,00	570,77	-5,37	4,54
51	4695	Jelovec	1244	736	508	679,41	551,56	-7,69	8,57
52	4705	Orešje	1302	727	575	676,75	615,83	-6,91	7,10
53	4710	Rogatec	1241	759	482	667,88	563,81	-12,01	16,97
54	4740	Rakovec	1182	691	491	692,87	467,37	0,27	-4,81
55	4760	Sodna vas	1218	676	542	709,21	483,45	4,91	-10,80
56	4790	Zagaj	1243	708	535	683,47	544,74	-3,47	1,82
57	4820	Petrina	2196	742	1454	707,50	1487,13	-4,65	2,28
58	4840	Radenci	1702	759	943	698,97	998,60	-7,91	5,90
59	4860	Metlika	1343	756	587	685,49	646,80	-9,33	10,19
60	4970	Gradac	1361	772	589	684,53	667,25	-11,33	13,29
61	5040	Komin	1910	727	1183	740,23	1155,54	1,82	-2,32
62	5080	Moste	1529	708	821	742,24	764,25	4,84	-6,91
63	5330	Borovnica	1714	752	962	709,66	997,23	-5,63	3,66
64	5420	Iška	1698	749	949	694,77	1000,22	-7,24	5,40
65	5500	Dvor	1761	726	1035	715,02	1035,34	-1,51	0,03
66	5540	Razori	1644	734	910	732,18	895,03	-0,25	-1,65
67	5770	Cerknica	1727	714	1013	722,32	992,23	1,16	-2,05
68	5840	Mali Otok	1904	663	1241	810,04	1057,55	22,18	-14,78
69	6020	Solčava	1900	684	1216	716,62	1176,64	4,77	-3,24
70	6060	Nazarje	1647	702	945	718,79	916,04	2,39	-3,06
71	6068	Letuš	1458	709	749	699,99	746,85	-1,27	-0,29
72	6140	Celje-Brv	1307	703	604	710,23	576,28	1,03	-4,59
73	6210	Veliko Širje	1287	715	572	691,42	580,29	-3,30	1,45
74	6220	Luče	1873	687	1186	736,28	1123,36	7,17	-5,28
75	6240	Kraše	1641	711	930	715,36	914,28	0,61	-1,69
76	6280	Velenje	1359	702	657	691,84	655,42	-1,45	-0,24
77	6300	Šoštanj	1328	706	622	693,51	621,03	-1,77	-0,16
78	6340	Rečica	1362	711	651	703,11	643,24	-1,11	-1,19
79	6550	Dolenja vas	1455	719	736	705,75	736,03	-1,84	0,00
80	6630	Levec	1284	717	567	702,50	562,67	-2,02	-0,76
81	6690	Črnomica	1245	689	556	695,49	530,36	0,94	-4,61
82	6720	Celje	1260	703	557	699,29	541,41	-0,53	-2,80
83	6760	Grobelno	1240	687	553	705,92	511,25	2,75	-7,55

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 9

84	6770	Polže	1362	696	666	697,69	650,68	0,24	-2,30
85	6790	Škofja vas	1284	708	576	689,98	579,17	-2,54	0,55
86	6835	Vodiško	1306	703	603	694,70	595,68	-1,18	-1,21
87	7030	Podbukovje	1445	727	718	713,68	715,53	-1,83	-0,34
88	7070	Srebrniče	1537	742	795	707,55	818,41	-4,64	2,95
89	7160	Podbočje	1310	727	583	703,27	588,77	-3,26	0,99
90	7200	Mlačevo	1372	723	649	706,66	649,17	-2,26	0,03
91	7220	Rašica	1591	712	879	731,51	842,63	2,74	-4,14
92	7240	Trebnja Gorica	1348	725	623	702,53	629,67	-3,10	1,07
93	7270	Meniška vas	1578	770	808	687,45	887,36	-10,72	9,82
94	7310	Rožni Vrh	1287	724	563	697,45	572,63	-3,67	1,71
95	7340	Prečna	1307	741	566	695,11	596,79	-6,19	5,44
96	7370	Klevevž	1303	738	565	683,97	607,20	-7,32	7,47
97	7380	Škocjan	1247	719	528	696,28	531,90	-3,16	0,74
98	7440	Sodražica	1614	712	902	728,55	869,89	2,32	-3,56
99	8030	Kršovec	2868	666	2202	805,31	2032,64	20,92	-7,69
100	8080	Kobarid	2999	689	2310	773,64	2204,17	12,28	-4,58
101	8180	Solkan	2424	739	1685	745,22	1665,07	0,84	-1,18
102	8240	Kal-Koritnica	2769	680	2089	837,06	1892,86	23,10	-9,39
103	8270	Žaga	3235	727	2508	749,74	2475,28	3,13	-1,30
104	8330	Tolmin	3084	692	2392	803,77	2251,99	16,15	-5,85
105	8400	Reka	2154	743	1411	722,39	1423,16	-2,77	0,86
106	8450	Hotešk	2269	739	1530	738,31	1517,08	-0,09	-0,84
107	8455	Cerkno	2121	703	1418	746,91	1355,14	6,25	-4,43
108	8480	Dolenja Trebuša	2339	743	1596	716,59	1617,70	-3,56	1,36
109	8500	Bača pri Modreju	2604	736	1868	732,33	1863,36	-0,50	-0,25
110	8560	Vipava	2173	743	1430	729,35	1435,24	-1,84	0,37
111	8565	Dolenje	1810	719	1091	788,26	991,35	9,63	-9,13
112	8600	Miren	1689	735	954	764,96	897,44	4,08	-5,93
113	8610	Podnanos	1744	782	962	708,94	1028,93	-9,34	6,96
114	8640	Branik	1699	765	934	725,35	960,44	-5,18	2,83
115	8660	Volčja Draga	1750	734	1016	763,50	961,40	4,02	-5,37
116	8680	Neblo	1992	738	1254	783,51	1181,22	6,17	-5,80
117	8690	Golo Brdo	2389	776	1613	723,04	1658,50	-6,83	2,82
118	8710	Potoki	3042	751	2291	750,79	2278,39	-0,03	-0,55
119	9030	Trnovo	1764	722	1042	735,08	1013,19	1,81	-2,76
120	9050	Cerkvenikov Mlin	1677	738	939	727,30	934,76	-1,45	-0,45
121	9100	Ilirska Bistrica	2421	704	1717	737,09	1675,01	4,70	-2,45
122	9210	Kubed	1639	749	890	731,90	889,57	-2,28	-0,05
123	9275	Šalara	1172	715	457	693,06	456,78	-3,07	-0,05
124	9280	Pišine	1131	740	391	673,27	439,94	-9,02	12,52
125	9300	Podkaštel	1208	766	442	669,62	526,49	-12,58	19,11

Zaradi omejitve s prostorom v preglednici niso prikazani izračuni prispevkov posameznih vegetacijskih skupin k skupni evapotranspiraciji oziroma specifičnemu odtoku, temveč samo končni rezultati. Ocene so bile določene po enačbah (27) do (32) z uporabo konstant E_g , E_m in E_t , ki so podane v preglednicah 7 in 8.

5.6.2 Dopolnitev Zhangovega modela na osnovi odnosov med spremenljivkami

Pri analiziranju rezultatov izvirnega Zhangovega modela ter primerjavi ocen evapotranspiracije z dejanskimi vrednostmi (podatki ARSO), se je izkazalo, da so odstopanja med podatki obeh virov odvisna od značilnosti hidrometričnih zaledij, kot sta delež gozda oziroma delež trave (slika 28). Omenjeni korelaciji sta razmeroma visoki s korelacijskim koeficientom R je 0,75, vendar še pomembnejše odkritje predstavlja zelo velika odvisnost med odstopanji ocen modela od ARSO-vih vrednosti in letno količino padavin (slika 29) s korelacijskim koeficientom R kar 0,976. Na osnovi izrazite odvisnosti je mogoče razviti model, ki bi korenito zmanjšal odstopanja ocen od dejanskih vrednosti.

5.6.2.1 Algoritem dopolnjenega Zhangovega modela

Odstopanje ocene evapotranspiracije ΔY po Zhangu od dejanskih vrednosti ARSO, lahko za posamezno hidrometrično zaledje i v odvisnosti od letne količine padavin P in na podlagi njune odvisnosti (slika 29), izrazimo z naslednjo enačbo:

$$\Delta Y(i) = -18 \cdot 10^{-6} \cdot P(i)^2 + 0,1139 \cdot P(i) - 93,0234 \quad (34)$$

Popravljen oceno evapotranspiracije ET_{pop} dobimo, če korigiramo izračunano oceno evapotranspiracije po originalnem Zhangovem modelu ET_Z na naslednji način:

$$ET_{pop}(i) = \frac{ET_Z(i)}{\left(\frac{\Delta Y(i) + 100}{100} \right)} \quad (35)$$

Z uporabo enačb (34) in (35) lahko razmeroma dobro določimo odstopanje ocen Zhangovega modela od merjenih vrednosti ter jih popravimo. Odtok izračunamo iz razlik med padavinami in evapotranspiracijo po osnovnem izrazu (11).

5.6.2.2 Ocena evapotranspiracije in odtoka po dopolnjenem Zhangovem modelu

Oceno evapotranspiracije Zhangovega modela (glej preglednico 6) smo korigirali z izrazoma (34) in (35). Popravljen oceno evapotranspiracije in končna odstopanja od dejanskih vrednosti prikazujemo v preglednici 10.

Preglednica 10: Ocena srednje povprečne evapotranspiracije in srednjega povprečnega specifičnega odtoka hidrometričnih zaledij v obdobju 1971-2000 z dopolnjenim Zhangovim modelom.

#	Šifra	Postaja	Preglednica 2			Dopolnjen Zhangov model			Razlika ET [%]	Razlika odtok [%]
			P [mm]	ET [mm]	Odtok [mm]	ET _Z [mm]	ET _{pop} [mm]	Odtok [mm]		
1	1100	Cankova	898	704	194	666,67	703,66	194,34	-0,05	0,17
2	1140	Pristava	959	691	268	683,67	686,05	272,95	-0,72	1,85
3	1150	Branislavci	998	687	311	706,13	687,43	310,57	0,06	-0,14
4	1165	Nuskova	862	674	188	656,59	715,36	146,64	6,14	-22,00
5	1220	Polana	894	691	203	659,39	698,38	195,62	1,07	-3,64
6	1260	Čentiba	850	688	162	629,94	693,87	156,13	0,85	-3,62
7	1300	Martjanci	892	702	190	664,23	704,73	187,27	0,39	-1,44
8	1310	Kobilje	864	716	148	664,13	722,28	141,72	0,88	-4,24
9	1350	Hodoš	863	714	149	665,15	724,04	138,96	1,41	-6,74
10	16980	Idrija+Hubelj	2392	724	1668	1283,06	727,21	1664,79	0,44	-0,19
11	2220	Črna	1608	692	916	1069,89	745,12	862,88	7,68	-5,80
12	2250	Otiški Vrh	1356	705	651	963,14	750,53	605,47	6,46	-6,99
13	2370	Dovže	1485	692	793	1025,10	751,41	733,59	8,59	-7,49
14	2390	Otiški Vrh	1322	700	622	910,72	722,25	599,75	3,18	-3,58
15	2420	Stari trg	1339	716	623	937,34	736,81	602,19	2,91	-3,34
16	2530	Ruta	1490	716	774	1049,22	767,39	722,61	7,18	-6,64
17	2600	Zreče	1457	686	771	977,29	725,44	731,56	5,75	-5,12
18	2640	Makole	1259	719	540	865,42	710,26	548,74	-1,22	1,62
19	2652	Videm	1259	704	555	861,27	706,85	552,15	0,41	-0,51
20	2670	Dražja vas	1402	689	713	932,06	709,96	692,04	3,04	-2,94
21	2720	Podlehnik	1208	739	469	878,48	742,58	465,42	0,48	-0,76
22	2754	Tržec	1259	675	584	807,74	662,92	596,08	-1,79	2,07
23	2830	Ranca	1111	680	431	756,79	679,94	431,06	-0,01	0,01
24	2880	Gočova	1046	663	383	703,96	661,48	384,52	-0,23	0,40
25	2900	Zamušani	1036	679	357	711,94	673,81	362,19	-0,76	1,45
26	3015	Kranjska Gora	2143	672	1471	1157,68	687,46	1455,54	2,30	-1,05
27	3060	Jesenice	2152	682	1470	1201,90	712,32	1439,68	4,45	-2,06
28	3100	Mojstrana	2515	655	1860	1176,57	655,17	1859,83	0,03	-0,01
29	3180	Podhom	2329	687	1642	1256,44	719,55	1609,45	4,74	-1,98
30	3200	Sveti Janez	2955	651	2304	1236,63	663,52	2291,48	1,92	-0,54
31	3220	Soteska	2529	693	1836	1287,70	715,77	1813,23	3,29	-1,24
32	3250	Bodešče	2069	707	1362	1212,73	732,40	1336,60	3,59	-1,87
33	3465	Okroglo	1879	698	1181	1102,86	700,48	1178,52	0,36	-0,21
34	3530	Medno	1605	714	891	1000,45	697,58	907,42	-2,30	1,84
35	3650	Litija	1405	721	684	927,32	705,33	699,67	-2,17	2,29
36	3725	Hrastnik	1334	747	587	961,67	757,89	576,11	1,46	-1,86
37	3850	Čatež	1254	720	534	865,43	712,28	541,72	-1,07	1,45
38	4050	Preska	1951	694	1257	1191,08	741,27	1209,73	6,81	-3,76
39	4120	Kokra	1931	689	1242	1186,03	742,20	1188,80	7,72	-4,28
40	4215	Žiri	2074	708	1366	1151,06	694,33	1379,67	-1,93	1,00
41	4230	Zminec	1919	715	1204	1144,14	718,39	1200,61	0,47	-0,28
42	4270	Železniki	2162	709	1453	1235,97	730,95	1431,05	3,10	-1,51
43	4298	Vešter	1888	723	1165	1155,54	732,01	1155,99	1,25	-0,77
44	4400	Kamnik	1863	694	1169	1108,24	707,25	1155,75	1,91	-1,13
45	4480	Nevlje	1582	713	869	1056,94	743,71	838,29	4,31	-3,53
46	4520	Podrečje	1420	710	710	935,45	706,43	713,57	-0,50	0,50
47	4570	Topole	1571	698	873	955,01	674,97	896,03	-3,30	2,64

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 10

48	4630	Zagorje	1399	727	672	960,13	732,40	666,60	0,74	-0,80
49	4650	Žebnik	1342	718	624	937,76	736,00	606,00	2,51	-2,88
50	4660	Martinja vas	1272	726	546	884,36	720,56	551,44	-0,75	1,00
51	4695	Jelovec	1244	736	508	878,71	727,33	516,67	-1,18	1,71
52	4705	Orešje	1302	727	575	932,37	747,33	554,67	2,80	-3,53
53	4710	Rogatec	1241	759	482	903,35	749,01	491,99	-1,32	2,07
54	4740	Rakovec	1182	691	491	789,34	677,79	504,21	-1,91	2,69
55	4760	Sodna vas	1218	676	542	783,62	658,49	559,51	-2,59	3,23
56	4790	Zagaj	1243	708	535	867,68	718,61	524,39	1,50	-1,98
57	4820	Petrina	2196	742	1454	1282,78	753,26	1442,74	1,52	-0,77
58	4840	Radenci	1702	759	943	1126,49	757,60	944,40	-0,18	0,15
59	4860	Metlika	1343	756	587	943,30	739,97	603,03	-2,12	2,73
60	4970	Gradac	1361	772	589	959,48	745,79	615,21	-3,39	4,45
61	5040	Komin	1910	727	1183	1128,36	710,29	1199,71	-2,30	1,41
62	5080	Moste	1529	708	821	941,53	677,12	851,88	-4,36	3,76
63	5330	Borovnica	1714	752	962	1110,36	743,61	970,39	-1,12	0,87
64	5420	Iška	1698	749	949	1133,73	763,55	934,45	1,94	-1,53
65	5500	Dvor	1761	726	1035	1116,12	735,58	1025,42	1,32	-0,93
66	5540	Razori	1644	734	910	1026,77	705,30	938,70	-3,91	3,15
67	5770	Cerknica	1727	714	1013	1087,34	724,91	1002,09	1,53	-1,08
68	5840	Mali Otok	1904	663	1241	984,57	620,84	1283,16	-6,36	3,40
69	6020	Solčava	1900	684	1216	1172,69	740,30	1159,70	8,23	-4,63
70	6060	Nazarje	1647	702	945	1057,28	725,44	921,56	3,34	-2,48
71	6068	Letuš	1458	709	749	990,23	734,70	723,30	3,63	-3,43
72	6140	Celje-Brv	1307	703	604	858,50	686,28	620,72	-2,38	2,77
73	6210	Veliko Širje	1287	715	572	885,81	715,80	571,20	0,11	-0,14
74	6220	Luče	1873	687	1186	1122,37	714,13	1158,87	3,95	-2,29
75	6240	Kraše	1641	711	930	1061,28	729,83	911,17	2,65	-2,02
76	6280	Velenje	1359	702	657	941,30	732,40	626,60	4,33	-4,63
77	6300	Šoštanj	1328	706	622	914,48	722,96	605,04	2,40	-2,73
78	6340	Rečica	1362	711	651	917,25	712,61	649,39	0,23	-0,25
79	6550	Dolenja vas	1455	719	736	975,33	724,64	730,36	0,78	-0,77
80	6630	Levec	1284	717	567	858,08	694,53	589,47	-3,13	3,96
81	6690	Črnlolica	1245	689	556	840,31	695,15	549,85	0,89	-1,11
82	6720	Celje	1260	703	557	844,88	693,02	566,98	-1,42	1,79
83	6760	Grobelno	1240	687	553	811,51	673,25	566,75	-2,00	2,49
84	6770	Polže	1362	696	666	930,01	722,52	639,48	3,81	-3,98
85	6790	Škofja vas	1284	708	576	886,90	717,86	566,14	1,39	-1,71
86	6835	Vodiško	1306	703	603	893,24	714,43	591,57	1,63	-1,90
87	7030	Podbukovje	1445	727	718	951,69	710,34	734,66	-2,29	2,32
88	7070	Srebrničje	1537	742	795	1022,14	732,62	804,38	-1,26	1,18
89	7160	Podbočje	1310	727	583	877,14	700,05	609,95	-3,71	4,62
90	7200	Mlačevo	1372	723	649	916,92	708,79	663,21	-1,97	2,19
91	7220	Rašica	1591	712	879	1001,49	702,17	888,83	-1,38	1,12
92	7240	Trebња Gorica	1348	725	623	908,58	710,91	637,09	-1,94	2,26
93	7270	Meniška vas	1578	770	808	1089,27	767,69	810,31	-0,30	0,29
94	7310	Rožni Vrh	1287	724	563	872,44	705,00	582,00	-2,62	3,38
95	7340	Prečna	1307	741	566	894,13	714,76	592,24	-3,54	4,64
96	7370	Klevevž	1303	738	565	916,34	734,08	568,92	-0,53	0,69
97	7380	Škocjan	1247	719	528	841,04	694,96	552,04	-3,34	4,55
98	7440	Sodražica	1614	712	902	1020,00	708,72	905,28	-0,46	0,36
99	8030	Kršovec	2868	666	2202	1235,72	665,85	2202,15	-0,02	0,01
100	8080	Kobarid	2999	689	2310	1306,89	700,10	2298,90	1,61	-0,48
101	8180	Solkan	2424	739	1685	1262,74	712,18	1711,82	-3,63	1,59

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 10

102	8240	Kal-Koritnica	2769	680	2089	1165,48	632,20	2136,80	-7,03	2,29
103	8270	Žaga	3235	727	2508	1377,74	736,49	2498,51	1,30	-0,38
104	8330	Tolmin	3084	692	2392	1269,05	678,47	2405,53	-1,96	0,57
105	8400	Reka	2154	743	1411	1239,55	734,32	1419,68	-1,17	0,61
106	8450	Hotešk	2269	739	1530	1238,00	716,66	1552,34	-3,02	1,46
107	8455	Cerkno	2121	703	1418	1178,56	703,27	1417,73	0,04	-0,02
108	8480	Dolenja Trebuša	2339	743	1596	1298,26	742,24	1596,76	-0,10	0,05
109	8500	Bača pri Modreju	2604	736	1868	1322,17	728,40	1875,60	-1,03	0,41
110	8560	Vipava	2173	743	1430	1234,41	728,32	1444,68	-1,98	1,03
111	8565	Dolenje	1810	719	1091	990,18	642,28	1167,72	-10,67	7,03
112	8600	Miren	1689	735	954	979,62	661,88	1027,12	-9,95	7,66
113	8610	Podnanos	1744	782	962	1125,81	746,21	997,79	-4,58	3,72
114	8640	Branik	1699	765	934	1068,98	719,69	979,31	-5,92	4,85
115	8660	Volčja Draga	1750	734	1016	1011,92	669,36	1080,64	-8,81	6,36
116	8680	Neblo	1992	738	1254	1070,88	659,24	1332,76	-10,67	6,28
117	8690	Golo Brdo	2389	776	1613	1295,80	734,78	1654,22	-5,31	2,56
118	8710	Potoki	3042	751	2291	1352,67	723,77	2318,23	-3,63	1,19
119	9030	Trnovo	1764	722	1042	1077,65	709,51	1054,49	-1,73	1,20
120	9050	Cerkvenikov Mlin	1677	738	939	1053,11	714,63	962,37	-3,17	2,49
121	9100	Ilirska Bistrica	2421	704	1717	1280,45	722,50	1698,50	2,63	-1,08
122	9210	Kubed	1639	749	890	1023,62	704,46	934,54	-5,95	5,00
123	9275	Šalara	1172	715	457	779,76	673,70	498,30	-5,78	9,04
124	9280	Pišine	1131	740	391	787,55	698,36	432,64	-5,63	10,65
125	9300	Podkaštel	1208	766	442	869,91	735,33	472,67	-4,00	6,94

Za dopolnjen Zhangov model smo izračunali tudi vrednost funkcije F , največje odstopanje, povprečno odstopanje in standardni odklon 125-ih hidrometričnih zaledij (preglednica 11).

Preglednica 11: Primerjava natančnosti ocene evapotranspiracije in specifičnega odtoka dopolnjenega in originalnega Zhangovega modela.

Vrsta modela	Dopolnjen Zhangov model		Zhangov model	
	Evapotranspiracija	Specifični odtok	Evapotranspiracija	Specifični odtok
Ocenjevanje				
Stopnja modeliranja	Dve skupini vegetacije		Dve skupini vegetacije	
E_g	1410		1410	
E_m	-		-	
E_t	1100		1100	
Vrednost funkcije F	346,94	328,31	5117,40	3799,65
Največje odstopanje [%]	10,67	22,00	89,96	43,05
Povprečno odstopanje [%]	2,78	2,63	40,94	30,40
Standardni odklon [%]	2,40	2,72	23,87	7,53

5.7 Uporaba dopolnjenega Zhangovega modela za ugotavljanje vplivov sprememb rabe tal na vodno bilanco porečja

5.7.1 Izbira hidrometričnega zaledja in modela

Za simulacijo vplivov sprememb rabe tal na komponente vodne bilance, je bilo izbrano porečje Ljubljance s šifro hidrometričnega zaledja 5040. Razlogov za tako izbiro je več:

- velika površina območja (1183 km²);
- ugodna lega z dobrimi pogoji in nadmorskimi višinami, ki omogočajo rastje na skoraj celotni površini območja;
- obstoječa površina, ki jo po definiciji rabe tal modela uvrščamo med »ostalo površino«, je zelo majhna v primerjavi s celotnim območjem hidrometričnega zaledja.

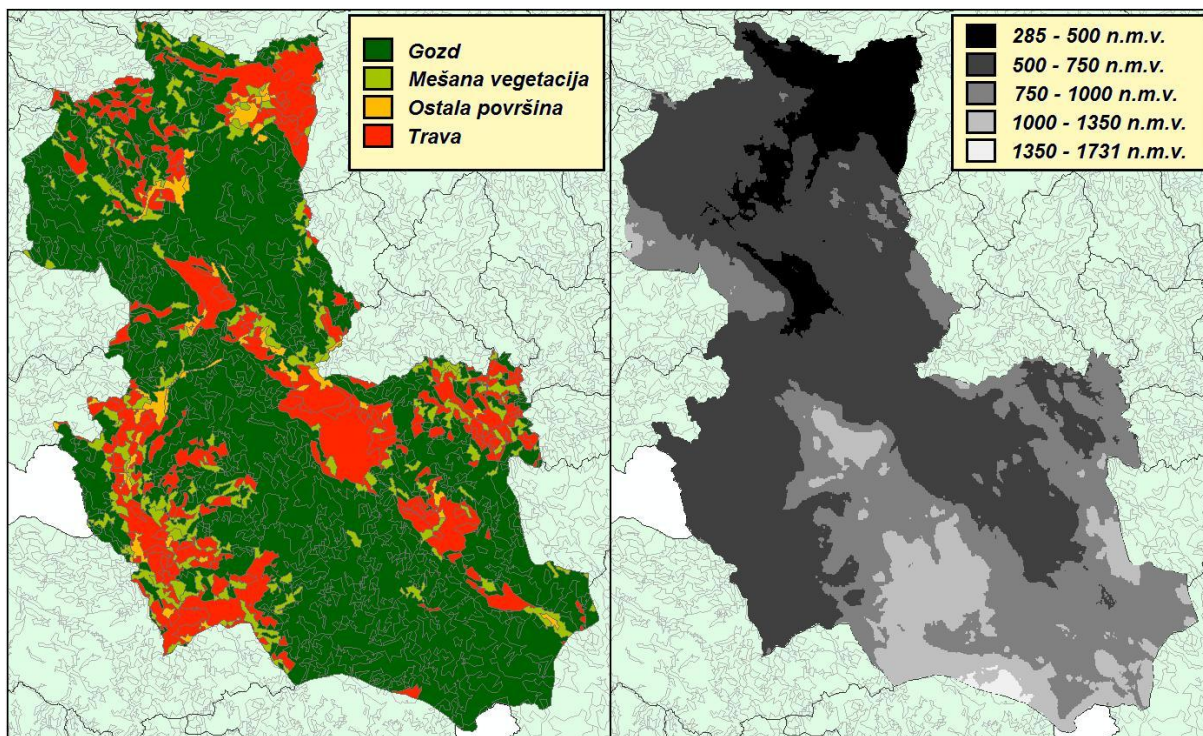
Za izračune smo uporabili dopolnjen Zhangov model, ki izkazuje najbolj pravilne ocene na področju hidrometričnih zaledij (glej preglednice 7, 8 in 11).

5.7.2 Izdelava scenarijev spremembe pokrovnosti tal in izračun

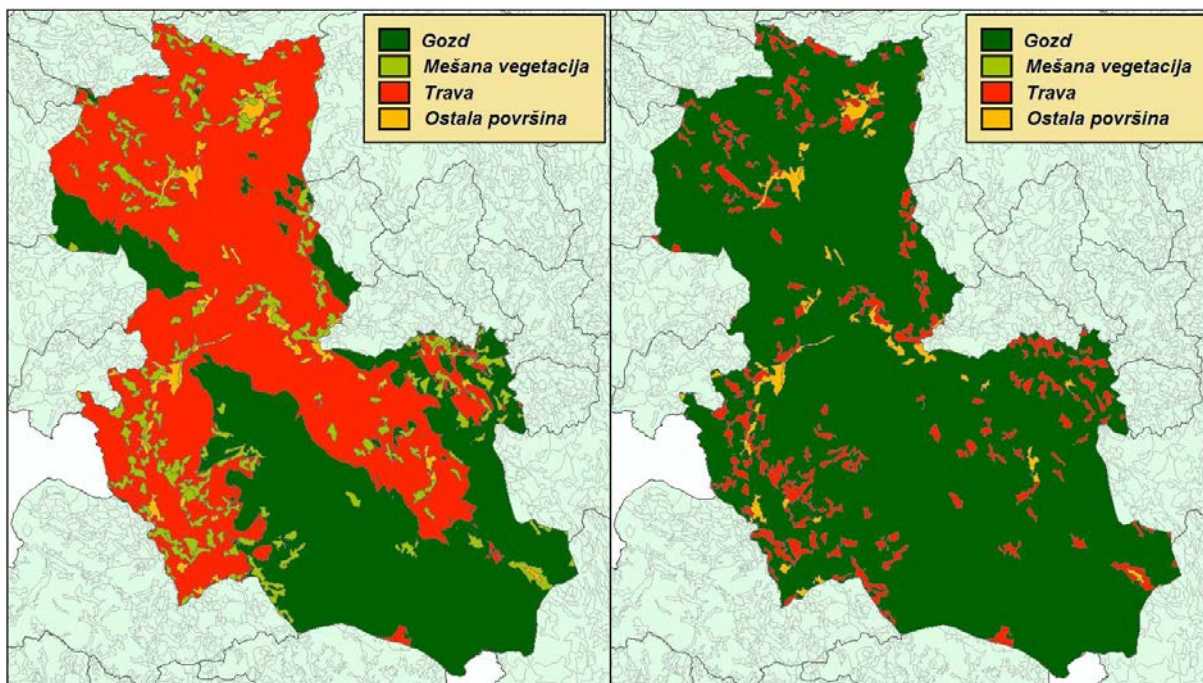
Na podlagi topografije ter z upoštevanjem nadmorskih višin (CIAT, 2004) na območju (slika 24), sta bili za hidrometrično zaledje pripravljene dve digitalni karti spremembe rabe tal (slika 25). Glede na ugotovitve Franca Lovrenčaka (Lovrenčak, 2007), da se na območju kraških planot zgornja gozdna meja giblje med 1450 in 1550 metri, smo za mejo, ki še dopušča gozdno rastje, izbrali 1500 m. Nad to višino smo upoštevali trenutni večinski delež rabe tal, ki pripada travi.

V primeru prve simulacije je bila hipotetično predpostavljena spodnja gozdna meja na višini 750 m. Tovrstna simulacija je lahko v pomoč pri ugotavljanju vplivov, ki bi ga imela povečana stopnja kmetijstva in živinoreje na vodno bilanco obravnavanega območja. Urbana območja (ostala površina) in mešana vegetacija, ostajajo v enakem obsegu, kot je trenutno stanje.

Razpored rabe tal v drugem primeru predvideva velik opust kmetijske in živinorejske panoge ter razrast gozda preko skoraj celotnega območja hidrometričnega zaledja. Trava (s katero zajamemo tudi kmetijstvo in živinorejo) se razprostira večinoma na območjih, ki jih trenutno zaseda mešana vegetacija. Urbanizirana območja ostajajo v enakem obsegu, medtem ko predelov z mešano vegetacijo ni (preglednica 12).



Slika 24: Prikaz trenutne rabe tal, glede na Zhangov model (levo) ter nadmorskih višin (desno) hidrometričnega zaledja Ljubljaniče.



Slika 25: Deleži rabe tal na hidrometričnem zaledju Ljubljaniče: simulacija porasta (levo) in opusta (desno) kmetijstva in živinoreje.

Preglednica 12: Deleži rabe tal hidrometričnega zaledja Ljubljaniče za trenutno stanje in primera dveh simulacij s podanim večkratnikom zmanjšanja oziroma povečanja deležev trave in gozda.

<i>Raba tal</i>	<i>Deleži rabe tal</i>				
	<i>Trenutno stanje</i> [%]	<i>Simulacija 1</i> [%]	<i>Večkratnik</i> <i>zmanjšanja/povečanja</i>	<i>Simulacija 2</i> [%]	<i>Večkratnik</i> <i>zmanjšanja/povečanja</i>
Gozd	69,11	37,69	-1,83	89,62	1,30
Mešana vegetacija	8,07	8,07	-	0	-
Trava	20,65	52,07	2,52	8,21	-2,52
Ostala površina	2,17	2,17	-	2,17	-

Ocene evapotranspiracije in specifičnega odtoka opisanih simulacij smo izračunali najprej z Zhangovim originalnim modelom, nakar smo rezultate korigirali še z dopolnjenim Zhangovim modelom (enačbi 38 in 39). V preglednici 13 prikazujemo ocene, ki so bile določene na opisani način.

Preglednica 13: Ocena evapotranspiracije in specifičnega odtoka za dva scenarija spremembe pokrovnosti tal in trenutno stanje na hidrometričnem zaledju Ljubljaniče.

<i>Scenarij</i>	<i>Delež gozda</i> [%]	<i>Delež trave</i> [%]	<i>P</i> [mm]	<i>ET_z</i> [mm]	<i>ΔY</i> [%]	<i>ET_{pop}</i> [mm]	<i>Odtok</i> [mm]
Trenutno stanje	74,77	25,23	1910	1128,359	58,8598	710,29	1199,71
Simulacija 1	42,65	57,35	1910	993,07	58,8598	625,12	1284,88
Simulacija 2	91,61	8,39	1910	1199,31	58,8598	754,95	1155,05

6 ANALIZA REZULTATOV

V tem poglavju bomo rezultate originalnega ter prirejenega in dopolnjenega Zhangovega modela primerjali z dejanskimi vrednostmi ARSO ter ocenili njihovo uporabnost na območju Slovenije.

6.1 Analiza kvalitete podatkov izdelane karte pokrovnosti tal

Pri vsakovrstnih izračunih modelov, prav tako pa tudi manipulaciji s prostorskimi podatki, so rezultati običajno močno odvisni od kvalitete vhodnih podatkov. Zato smo pred podrobnejšo analizo samih rezultatov modela preverili točnost podatkov karte rabe tal, ki je edina karta, pri kateri bi lahko prišlo do nepravilnosti. Pri izdelovanju tovrstne karte smo namreč uporabili vrsto operacij pri katerih lahko pride do poslabšanja geometrijske natančnosti (pri rasterskih kartah do povečanja osnovne celice). Najbolj problematična je bila umestitev karte v prostor oziroma georeferenciacija.

Točnost in kvaliteto podatkov iz izdelane karte pokrovnosti tal smo primerjali s karto rabe tal, ki je dosegljiva na spletnih straneh Geoportal-a in ima geometrijsko natančnost 100 m². Primerjava je bila izvedena na petih največjih hidrometričnih zaledjih znotraj meja države. V preglednici 14 označuje kratica CLC - DK karto pokrovnosti tal, ki smo jo s prireditvijo karte Corine Land Cover Europe 2006 (ArcGIS, 2013) izdelali za potrebe naše raziskave, CLC - ARSO pa karto iz Geoportal-a (ARSO, 2013a).

Preglednica 14: Kontrola kvalitete podatkov izdelane karte pokrovnosti tal.

7070 - Srebrnice - Krka									
Raba tal (po modelu)	CLC - DK		CLC - ARSO		CLC - DK	CLC - ARSO	CLC - DK	CLC - ARSO	Napaka
	Površina	[%]	Površina	[%]	Prilagojena površina	Prilagojena površina	Primerjava deležev		
Gozd	455130017,5430	70,44	455434317,0424	70,49	479331811,4620	479725833,6277	75,05	75,11	-0,00076
Mešana vegetacija	48403587,8380	7,49	48583033,1705	7,52	-	-	-	-	-
Ostala površina	7394053,0532	1,14	7354402,3089	1,14	-	-	-	-	-
Trava	135156914,7300	20,92	134712820,8731	20,85	159358708,6490	159004337,4583	24,95	24,89	0,00229
Skupaj	646084573,1642	100,00	646084573,3948	100,00	638690520,1110	638730171,0860	100,00	100,00	
8180 - Solkan - Soča									
Raba tal (po modelu)	CLC - DK		CLC - ARSO		CLC - DK	CLC - ARSO	CLC - DK	CLC - ARSO	Napaka
	Površina	[%]	Površina	[%]	Prilagojena površina	Prilagojena površina	Primerjava deležev		
Gozd	339660349,0980	73,16	339415017,1424	73,03	372214361,0287	372429322,5556	81,82	81,79	0,00045
Mešana vegetacija	65108023,8613	14,02	66028610,8263	14,21	-	-	-	-	-
Ostala površina	9370049,0313	2,02	9377194,0567	2,02	-	-	-	-	-
Trava	50136306,2386	10,80	49930118,2437	10,74	82690318,1693	82944423,6569	18,18	18,21	-0,00204
Skupaj	464274728,2292	100,00	464750940,2691	100,00	454904679,1979	455373746,2124	100,00	100,00	
3650 - Litija - Sava									
Raba tal (po modelu)	CLC - DK		CLC - ARSO		CLC - DK	CLC - ARSO	CLC - DK	CLC - ARSO	Napaka
	Površina	[%]	Površina	[%]	Prilagojena površina	Prilagojena površina	Primerjava deležev		
Gozd	207761934,6670	47,31	207067061,4580	47,15	223392642,8698	223082898,2311	60,35	60,31	0,00068
Mešana vegetacija	31261416,4056	7,12	32031673,5462	7,29	-	-	-	-	-
Ostala površina	69003569,9987	15,71	69265637,2572	15,77	-	-	-	-	-
Trava	131162489,9140	29,86	130825038,8277	29,79	146793198,1168	146840875,6008	39,65	39,69	-0,00103
Skupaj	439189410,9853	100,00	439189411,0890	100,00	370185840,9866	369923773,8318	100,00	100,00	

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 14

5080 - Moste - Ljubljana									
Raba tal (po modelu)	CLC - DK		CLC - ARSO		CLC - DK		CLC - ARSO		Napaka
	Površina	[%]	Površina	[%]	Prilagojena površina	Prilagojena površina	Primerjava deležev		
Gozd	155032439,5160	43,71	155300209,7176	43,78	166261830,7239	166516765,8281	52,85	52,84	0,00017
Mešana vegetacija	22458782,4157	6,33	22433112,2209	6,32	-	-	-	-	-
Ostala površina	40102023,0736	11,31	39567186,8440	11,16	-	-	-	-	-
Trava	137098337,0190	38,65	137391073,1770	38,74	148327728,2269	148607629,2875	47,15	47,16	-0,00019
Skupaj	354691582,0243	100,00	354691581,9595	100,00	314589558,9507	315124395,1155	100,00	100,00	
3530 - Medno - Sava									
Raba tal (po modelu)	CLC - DK		CLC - ARSO		CLC - DK		CLC - ARSO		Napaka
	Površina	[%]	Površina	[%]	Prilagojena površina	Prilagojena površina	Primerjava deležev		
Gozd	188935966,4950	54,58	188839465,0316	54,55	200111868,8172	200034282,8156	63,05	63,12	-0,00101
Mešana vegetacija	22351804,6443	6,46	22389635,5680	6,47	-	-	-	-	-
Ostala površina	28815889,2343	8,32	29259245,6911	8,45	-	-	-	-	-
Trava	106080366,0300	30,64	105695680,1668	30,53	117256268,3522	116890497,9509	36,95	36,88	0,00173
Skupaj	346184026,4036	100,00	346184026,4575	100,00	317368137,1693	316924780,7665	100,00	100,00	

Po primerjavi podatkov obeh kart na petih največjih hidrometričnih zaledjih, lahko ugotovimo, da ima največja napaka pri določitvi posameznega deleža rabe tal, velikost dveh desetink odstotka.

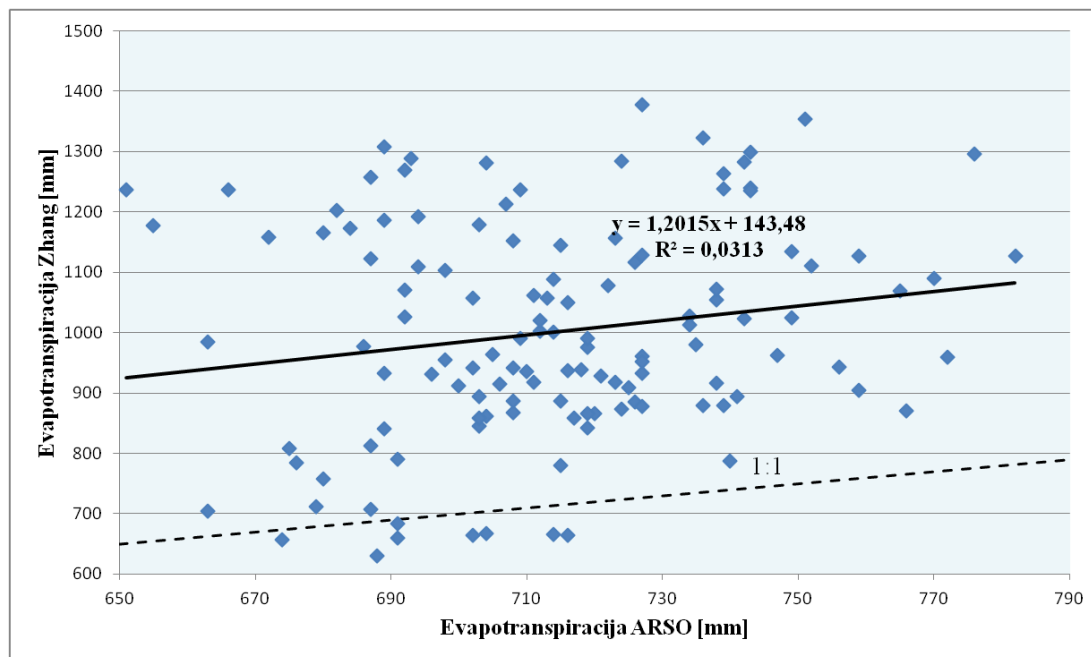
Veliko bolj problematično od natančnosti karte pokrovnosti tal, je dejstvo, da ne poznamo dejanskih deležev pokrovnosti tal v letih med 1971 in 2000. Tako moramo vzeti v zakup napake, ki se bodo pojavile zaradi posploševanja, saj predvidevamo, da so bili deleži posamezne rabe tal v letih 1971 do 2000 enaki tistim iz leta 2006, kar pa ni res. Če bi hoteli razviti model z visokimi mejami zaupanja, bi bilo potrebno upoštevati povprečne deleže rabe tal posameznih hidrometričnih zaledij oziroma razpolagati z dejanskim stanjem pokrovnosti za vsako izmed let v obdobju 1971-2000.

Čeprav bi odprava omenjenih pomanjkljivosti pripomogla k realnejšim rezultatom napovedi oziroma bolj točnim izračunom modelov, se bomo v raziskavi zadovoljili z razpoložljivimi vhodnimi podatki, na osnovi katerih je možno dovolj natančno razčleniti principe delovanja in učinkovitosti posameznih modelov v izbranem okolju.

6.2 Analiza rezultatov originalnega Zhangovega modela

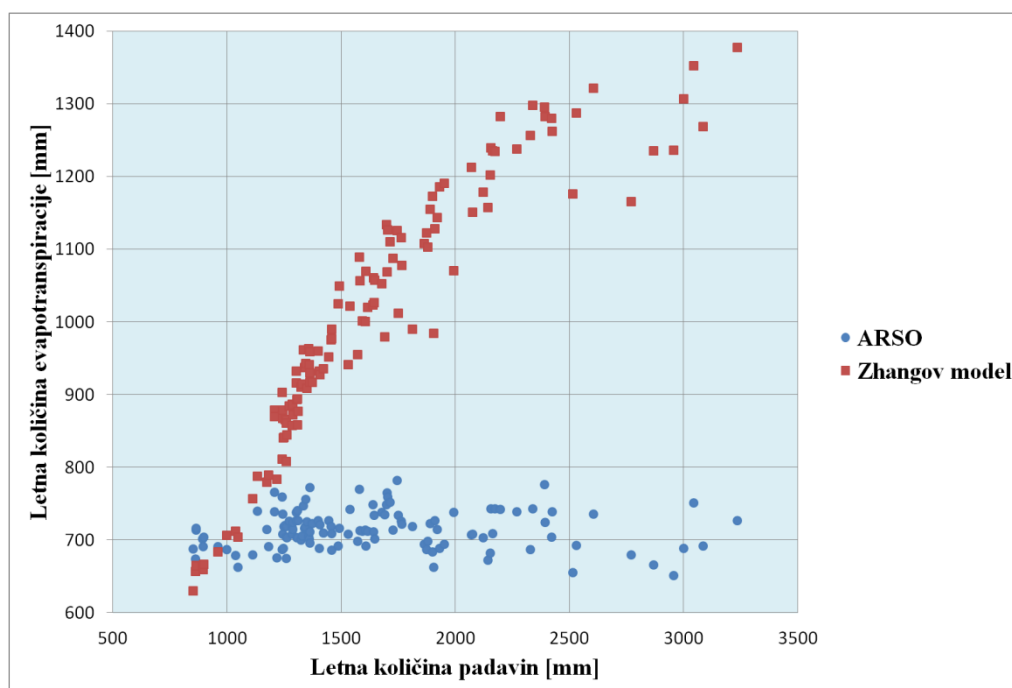
6.2.1 Analiza ocene evapotranspiracije

V preglednici 7 smo poleg rezultatov podali tudi odstopanja od vrednosti evapotranspiracije, ki jih je za posamezna hidrometrična zaledja določil ARSO. Razlike med rezultati modela in podatki agencije so velike in v skrajnem primeru dosežejo 90 % (na hidrometričnem zaledju 3200). Primerjava obeh virov evapotranspiracije izkazuje zelo slabo korelacijo (R^2 je 0,03) (slika 26). Za primerjavo lahko omenimo poročilo Durrant-a (2007), ki je v raziskavah v zahodni Avstraliji ugotovil korelacijo R^2 je 0,92.



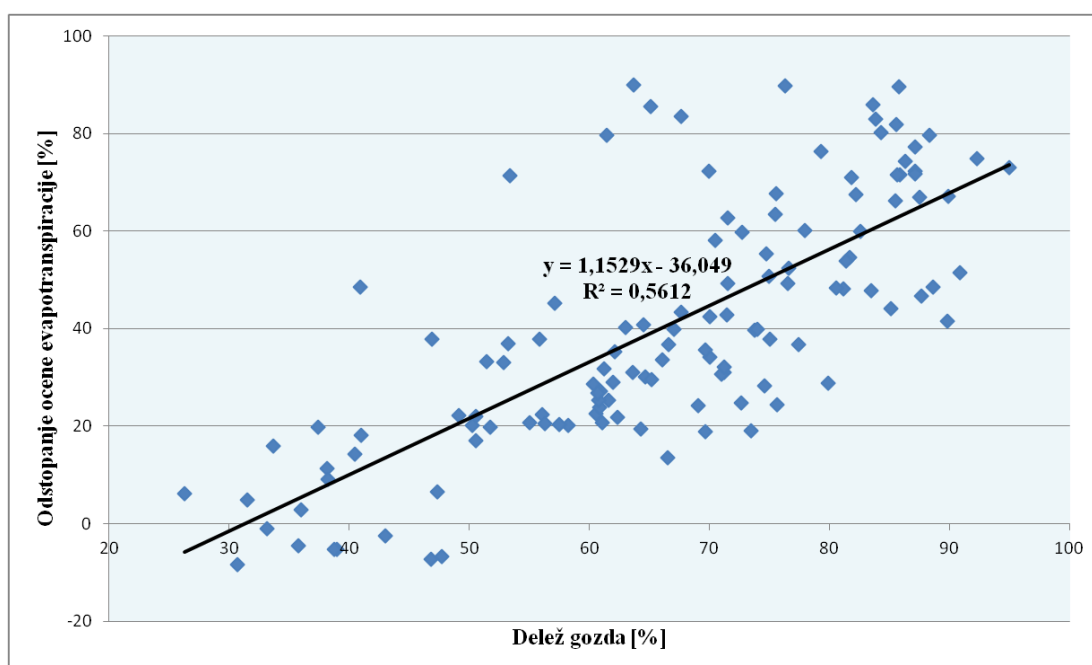
Slika 26: Primerjava evapotranspiracije Zhangovega originalnega modela in evapotranspiracije ARSO.

Razloge za take razlike je možno iskati v »neizrazitem« obnašanju odnosa med padavinami in izhlapevanjem, ki ne sledijo krivuljam Zhangovega modela (glej sliko 16), temveč imajo bolj linearno obliko. Iz slike 27 je razvidno, da dejanska evapotranspiracija na hidrometričnih zaledjih ostaja v enakih okvirih (med 651 in 782 mm), ne glede na letno količino padlih padavin, medtem ko Zhangov model predvideva njeno rast.



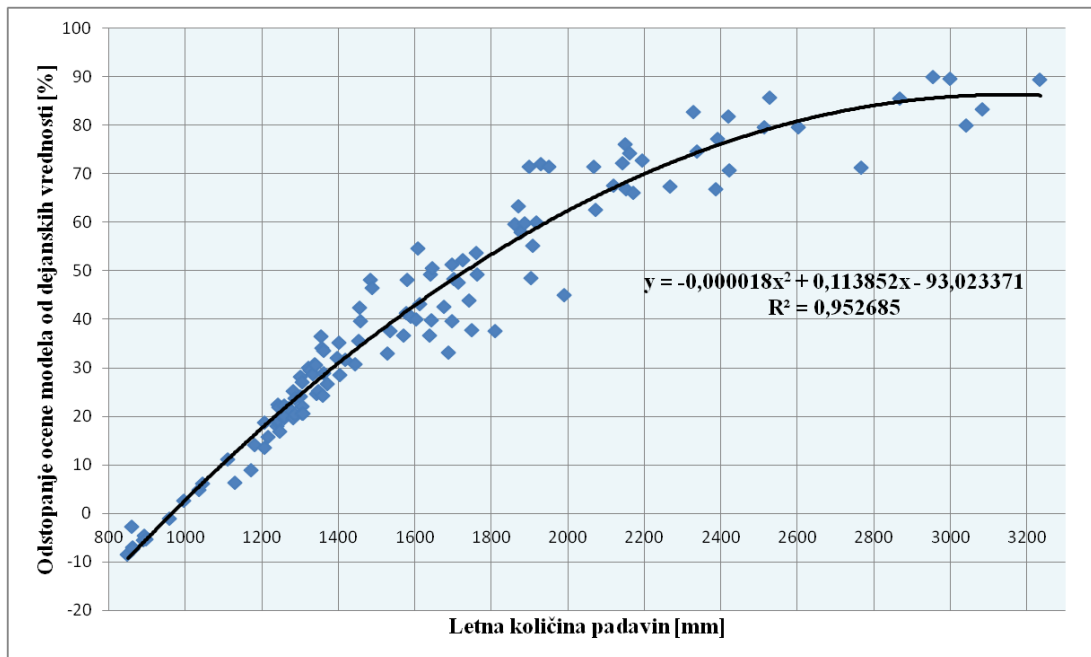
Slika 27: Spreminjanje evapotranspiracije izračunane po Zhangovem originalnem modelu in evapotranspiracije ARSO v odvisnosti od letne količine padavin.

Izhlapevanje je poleg gozdnatosti oziroma prisotnosti rastlin odvisno tudi od nadmorske višine, geografske lege, temperature, oddaljenosti od morja ter mnogih drugih dejavnikov, ki so zaradi lege Slovenije zelo pestri in raznoliki. Ker smo hoteli ugotoviti dejanski vpliv prisotnosti vegetacije na »ozka grla« modela in učinkovitost njegovega ocenjevanja, smo podrobneje preučili odnos med njima. Ugotovljeno je bilo, da so odstopanja med obema evapotranspiracijama relativno močno odvisna od deleža trave oziroma gozda na hidrometričnem zaledju (R^2 je 0,56) (slika 28). Na osnovi te odvisnosti je moč priti do zaključka, da se z večanjem deleža gozda oziroma manjšanjem deleža trave na danem hidrometričnem zaledju, večja tudi odstopanje rezultatov Zhangovega modela od dejanskih vrednosti. Model vrednosti v večini precenjuje, medtem ko je najbolj točen pri ocenah evapotranspiracije na hidrometričnih zaledjih z deležem gozda med 25 in 35 %. Evapotranspiracija pa je podcenjena na hidrometričnih zaledjih na severo-vzhodu države (slika 23).



Slika 28: Vpliv deleža gozda na odstopanje ocene evapotranspiracije (Zhangov model) od dejanskih vrednosti ARSO.

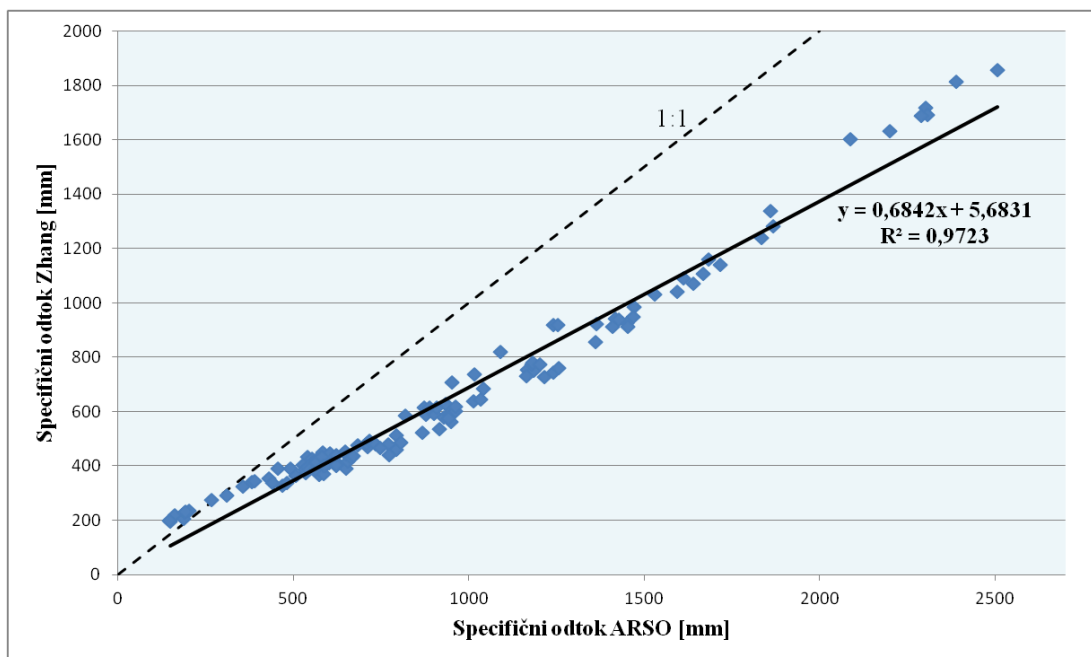
Zelo visoka odvisnost (R^2 je 0,95) je bila ugotovljena med odstopanji modela od ARSO-vih vrednosti in letno količino padavin (slika 29). Iz slike 29 vidimo, da se odstopanje ocene evapotranspiracije Zhangovega modela večja s količino letnih padavin. Odvisnost lahko matematično opišemo s polinomom 2. reda.



Slika 29: Visoka odvisnost med odstopanjem ocene evapotranspiracije Zhangovega modela od dejanskih vrednosti in letno količino padavin.

6.2.2 Analiza ocene specifičnega odtoka

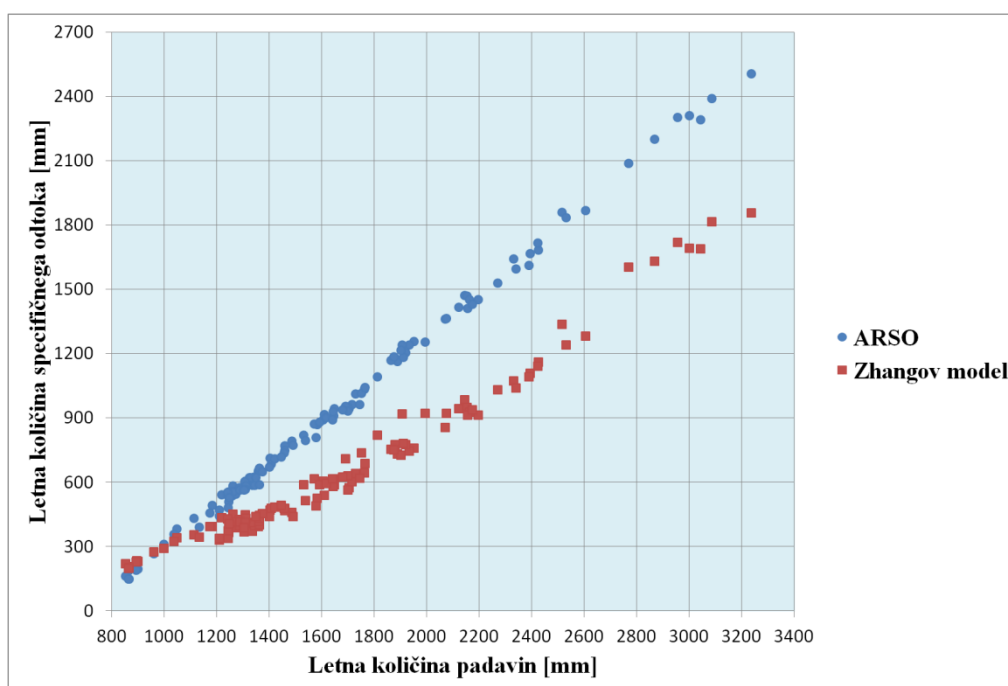
Odstopanja med vrednostmi specifičnega odtoka modela in podatki ARSO, so podana v preglednici 6. Povprečno odstopanje znaša 30 %, največje pa 43 % (preglednica 7).



Slika 30: Odnos med specifičnim odtokom računanim po Zhangovem modelu in podatki ARSO.

Korelacijski koeficient med podatki obeh virov je visok (R^2 je 0,97) (slika 30). Korelacije, ki jih je moč zaslediti v literaturi so manjše, na primer 0,78 (Durrant, 2007) in 0,64 (Bradford et al., 2001). Obe raziskavi izvirata iz Avstralije.

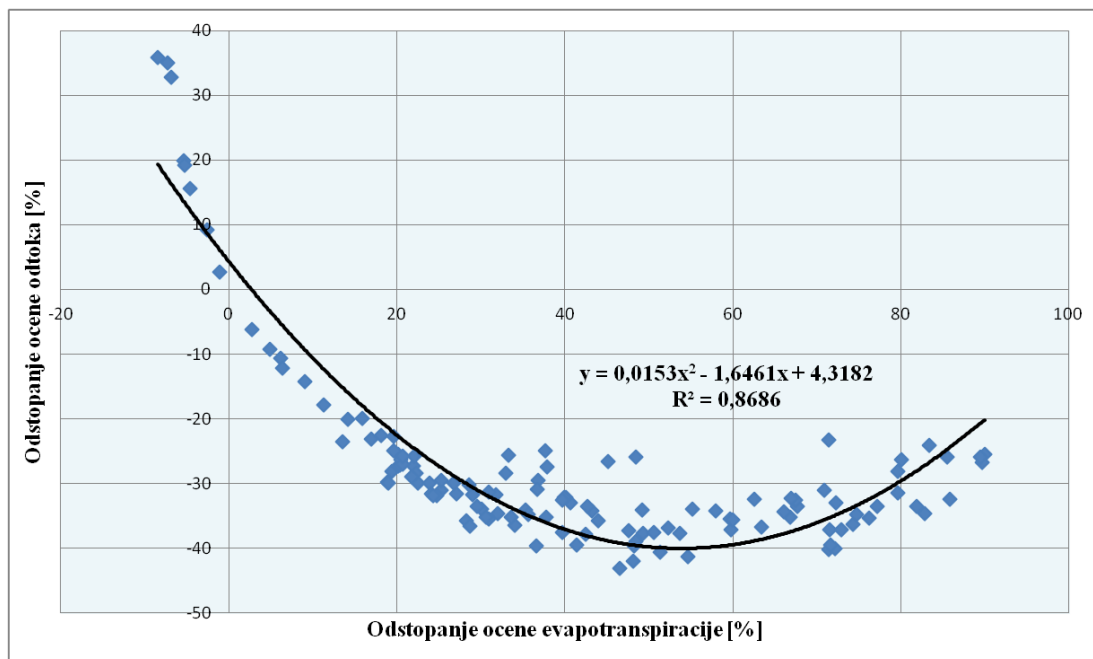
V skoraj celotnem spektru rezultati, dobljeni z Zhangovim modelom, nekoliko podcenjujejo dejanski specifični odtok (podatki ARSO), kar je razvidno tudi iz grafa odvisnosti med specifičnim odtokom in letno količino padavin (slika 31).



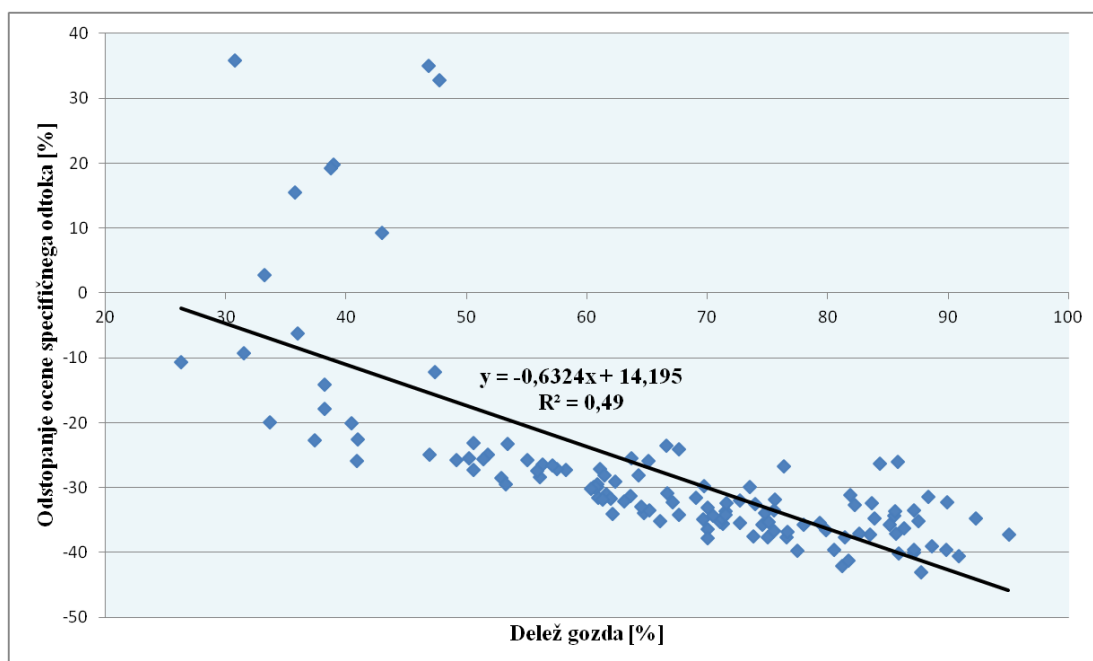
Slika 31: Letni specifični odtok kot funkcija letne količine padavin za Zhangov model in podatki ARSO.

Pri analizah odstopanja specifičnega odтока, določenega z Zhangovim modelom, se je potrebno zavedati, da so ta v neposredni povezavi z odstopanji ocene evapotranspiracije od dejanskih vrednosti (slika 32), saj ju povezuje enačba (11).

Podrobnejša analiza odvisnosti odstopanja ocene specifičnega odтока, izračunanega z Zhangovim modelom, od vrednosti ARSO in deleža trave oziroma gozda na hidrometričnem zaledju, kaže na srednje dobro korelacijo (R^2 je 0,49). Območje, ki najbolj vpliva na nižanje korelacijskega koeficienta, je pri deležih gozda do 50 % (slika 33) oziroma pri deležih trave nad 50 %, kjer se odstopanja ocene specifičnega odтока zaradi velikega variiranja ne da enostavno matematično izraziti.

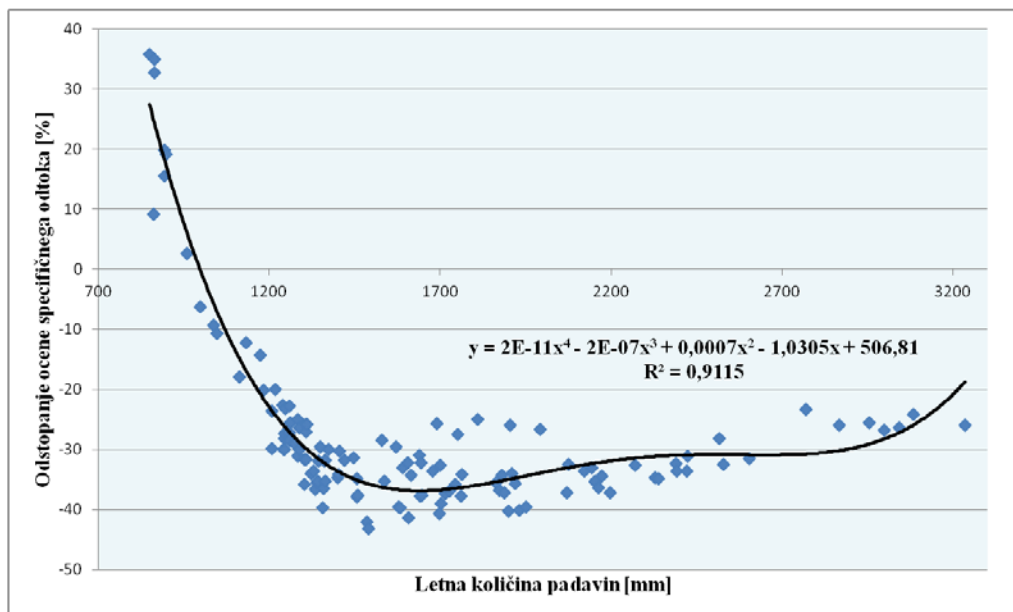


Slika 32: Odnos med odstopanjem ocene evapotranspiracije in specifičnega odtoka.



Slika 33: Vpliv deleža gozda na odstopanje ocene specifičnega odtoka (Zhangov model) od vrednosti ARSO.

Izrazite medsebojne odvisnosti med letno količino padavin in odstopanji ni moč opaziti (slika 34).



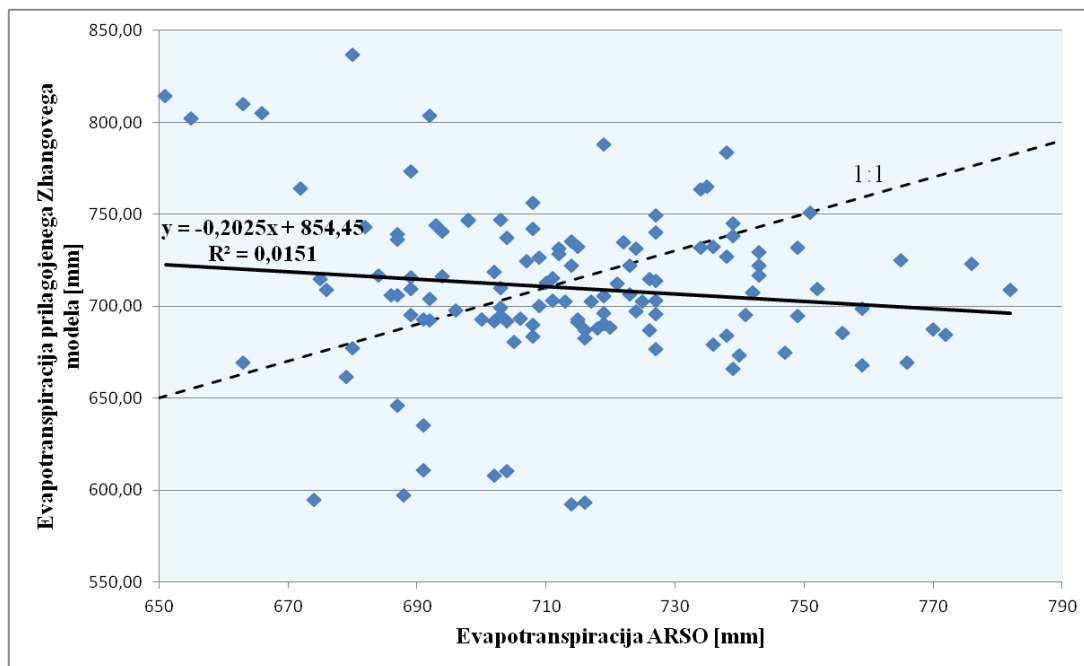
Slika 34: Odnos med letno količino padavin in odstopanjem Zhangovega modela od ARSO-vih vrednosti.

6.3 Analiza rezultatov prilagojenega Zhangovega modela

V analizi so bili uporabljeni rezultati prilagojenega Zhangovega modela za oceno evapotranspiracije s tremi skupinami vegetacije (preglednica 7) in rezultati prilagojenega Zhangovega modela s popravkom za oceno specifičnega odtoka z dvema skupinama vegetacije (preglednica 8), ki so prikazani v preglednici 9.

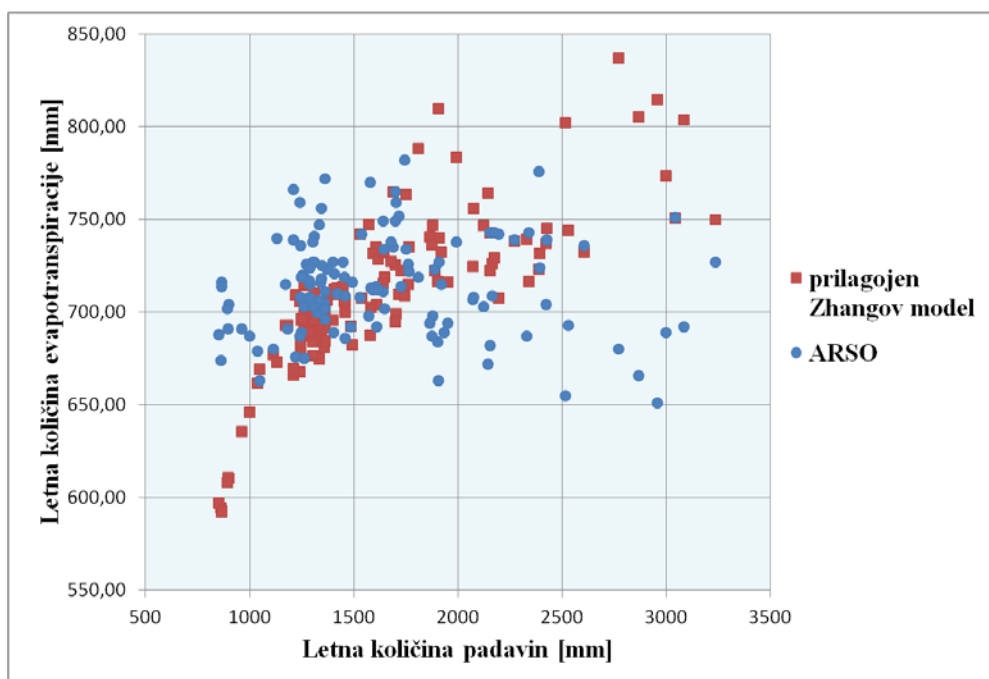
6.3.1 Analiza ocene evapotranspiracije

Korelacijski koeficient med izračuni evapotranspiracije prilagojenega Zhangovega modela in dejanskimi vrednostmi ARSO izkazuje nekoliko slabšo povezanost podatkov kot originalni model (slika 35), vendar že hitra primerjava s sliko 26 pokaže, da so izračuni prilagojenega modela veliko bolj točni. Boljšo oceno prilagojenega modela dokazuje tudi množica točk v neposredni bližini črte 1:1, ki predstavlja optimalen (vendar v stvarnosti nerealen) model.



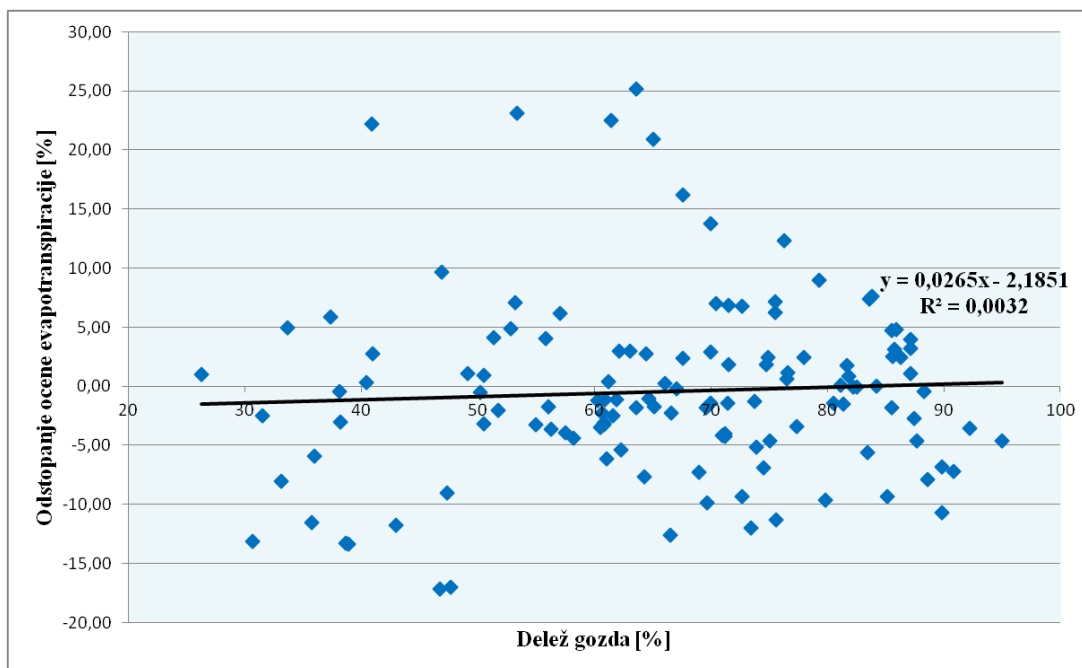
Slika 35: Primerjava evapotranspiracije, ocenjene s prilagojenim modelom in vrednosti ARSO.

Da so ocene evapotranspiracije prilagojenega Zhangovega modela res boljše od ocen originalnega modela, je dobro razvidno tudi iz grafa odvisnosti evapotranspiracije od padavin (slika 36). Pri manjši količini padavin model podcenjuje vrednosti, pri večjih pa precenjuje, kar je odraz izvirne zasnove modela, ki predvideva odziv evapotranspiracije na padavine v obliki naraščajoče krivulje. Najbolj točne ocene se gibljejo pri letnih padavinah med 1500 do 1700 mm.

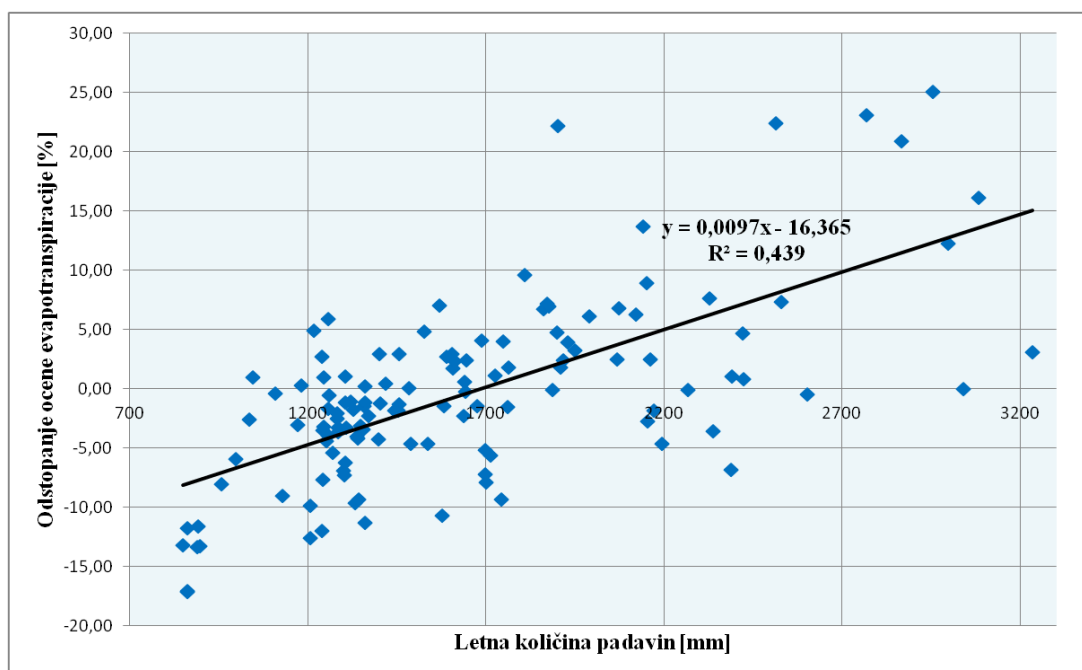


Slika 36: Odziv evapotranspiracije na padavine po prilagojenem Zhangovem modelu in primerjava s podatki ARSO.

Odstopanja ocene prilagojenega Zhangovega modela od dejanskih vrednosti ne kažejo odvisnosti od deleža gozda oziroma trave (slika 37). Povezanost med odstopanjem ocene evapotranspiracije izračunane po prilagojenem Zhangovem modelu od ARSO-vih vrednosti in letno količino padavin je srednje velika (R^2 je 0,44), razpršenost podatkov pa je večja pri večjih količinah padavin (slika 38).



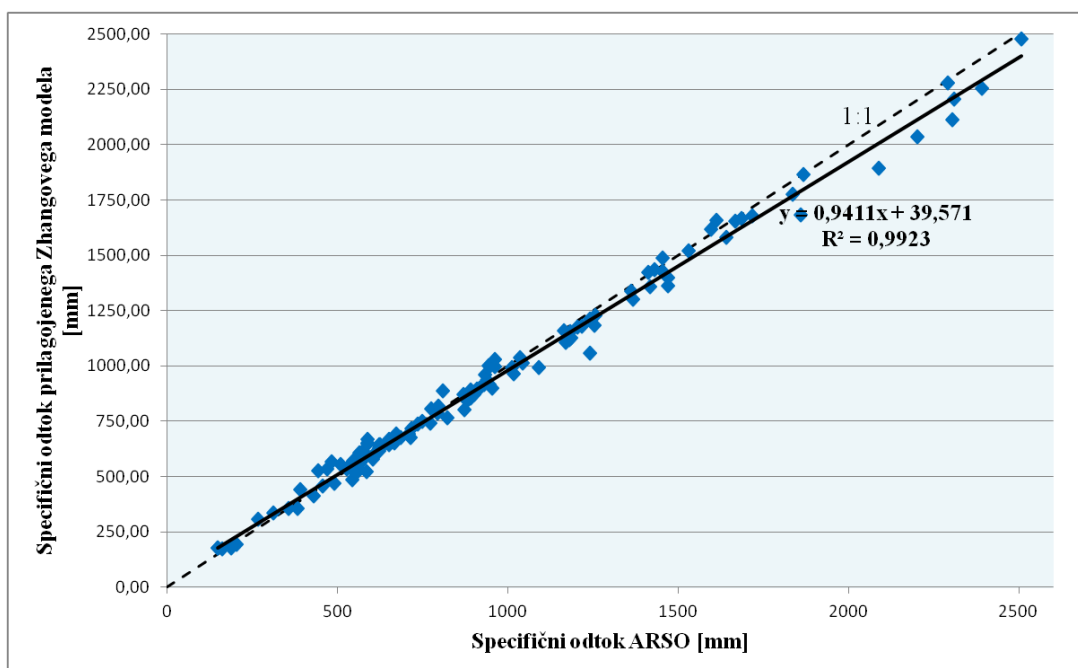
Slika 37: Odstopanje ocene evapotranspiracije prilagojenega Zhangovega modela v odvisnosti od deleža gozda.



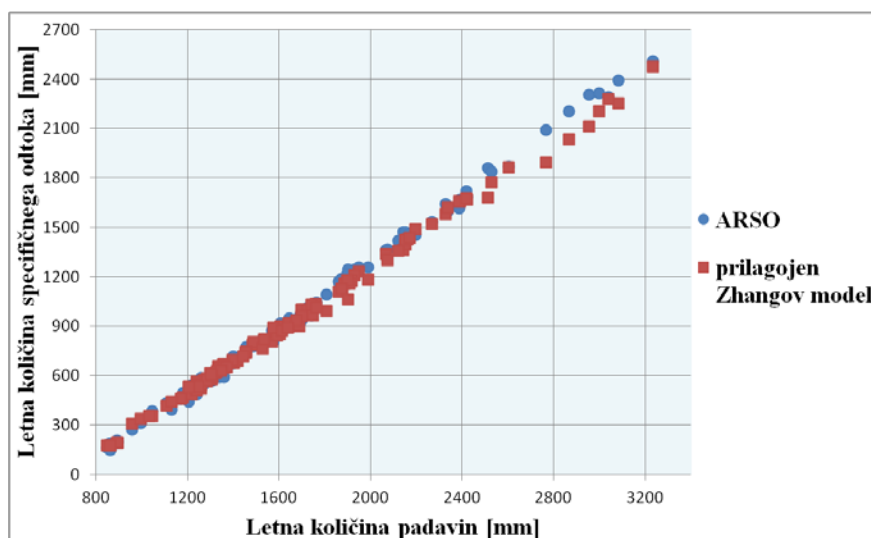
Slika 38: Odstopanje ocene evapotranspiracije prilagojenega Zhangovega modela v odvisnosti od letne količine padavin.

6.3.2 Analiza ocene specifičnega odtoka

Odstopanja med specifičnim odtokom, ki smo ga dobili s prilagojenim Zhangovim modelom in specifičnim odtokom ARSO, so bila s prilagoditvijo modela (in predvsem zaradi uvedenega popravka) zelo zmanjšana in se skoraj v celoti prilegajo premici 1:1 (slika 39), kar potrjuje tudi visok korelacijski koeficient (R^2 je 0,99). Dobra ocena specifičnega odtoka prilagojenega Zhangovega modela je razvidna tudi iz slike 40.

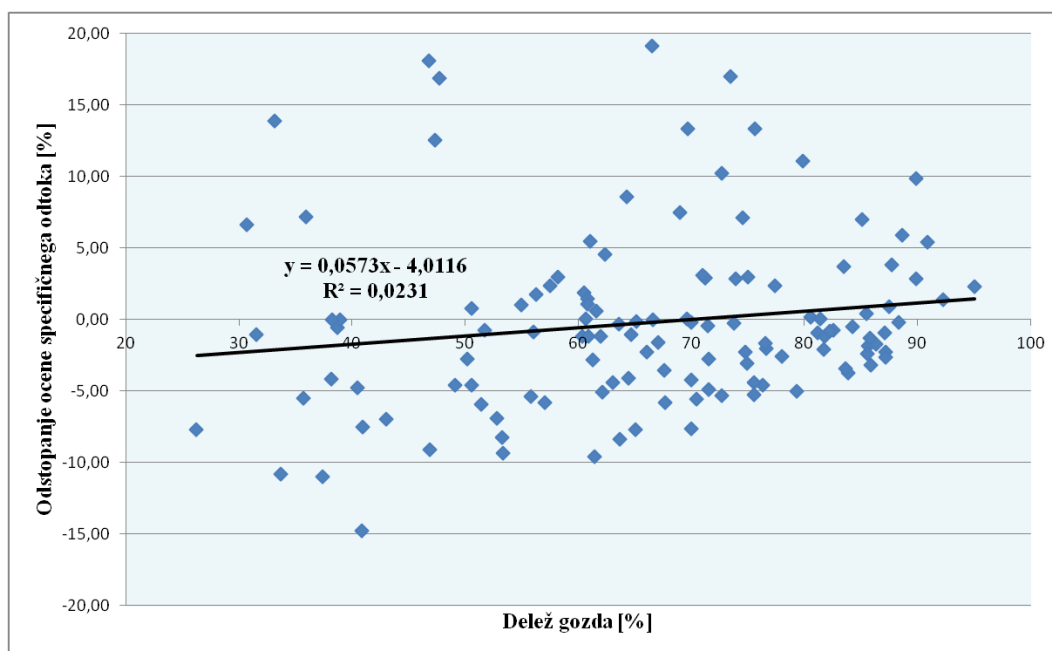


Slika 39: Primerjava specifičnih odtokov ARSO in prilagojenega Zhangovega modela.

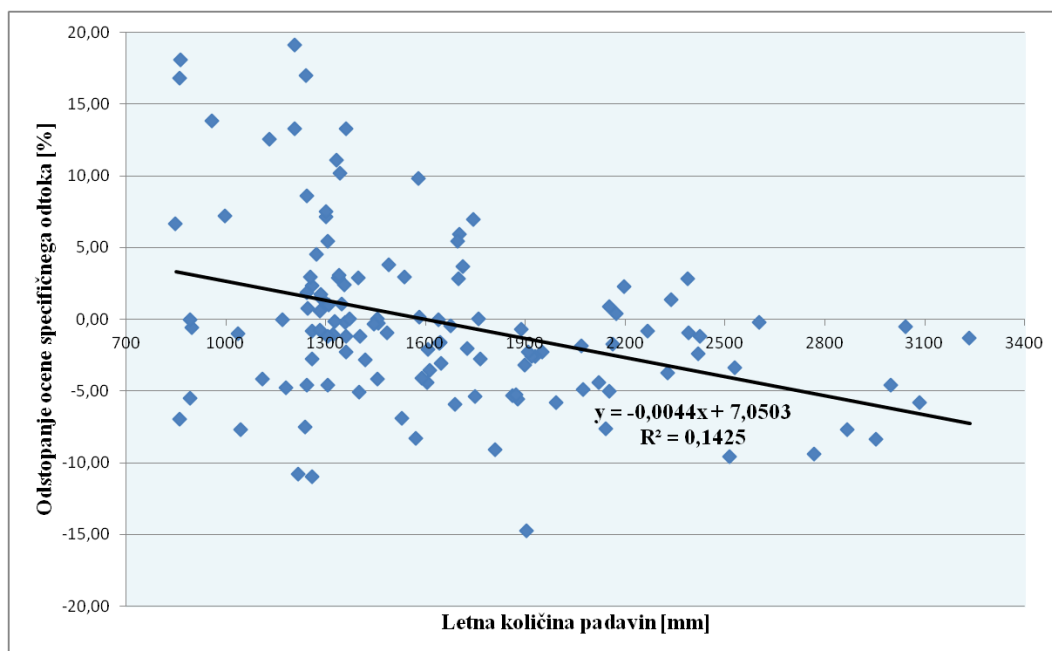


Slika 40: Podatki o letni količini specifičnega odtoka ARSO in prilagojenega Zhangovega modela v odvisnosti od letne količine padavin.

Znatnejše odvisnosti med odstopanjem ocene specifičnega odtoka prilagojenega Zhangovega modela od ARSO-vega izračuna in deležem gozda ni moč opaziti (slika 41). Podobno, ni zaznati večje povezave med letno količino padavin in odstopanjem ocene specifičnega odtoka prilagojenega Zhangovega modela (slika 42), kar pomeni, da je vpliv deležev rabe tal oziroma padavin v modelu utežen v mejah zmožnosti, ki jih dopuščajo robni pogoji.



Slika 41: Odstopanje ocene specifičnega odtoka prilagojenega Zhangovega modela kot funkcije deleža gozda.



Slika 42: Vpliv letne količine padavin na odstopanja ocene specifičnega odtoka prilagojenega Zhangovega modela.

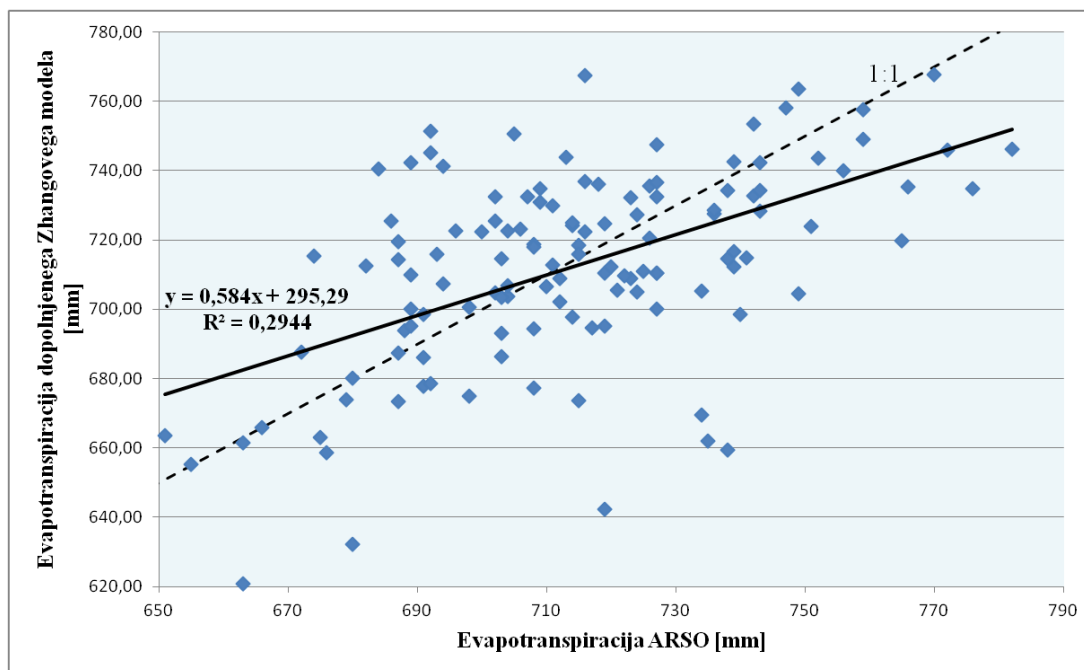
6.4 Analiza rezultatov dopolnjenega Zhangovega modela

V analizah dopolnjenega Zhangovega modela so bili uporabljeni rezultati iz preglednice 10.

6.4.1 Analiza ocene evapotranspiracije

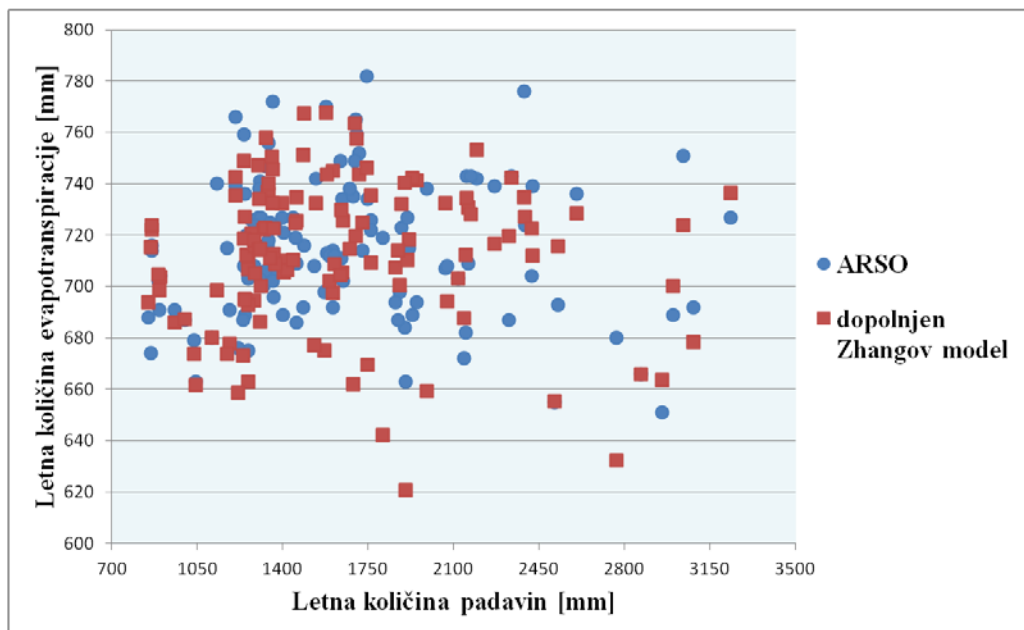
Odvisnost med izračunano evapotranspiracijo po dopolnjenem Zhangovem modelu in evapotranspiracijo ARSO (slika 43) kaže višjo korelacijo, kot v primerih originalnega in prilagojenega Zhangovega modela (R^2 je 0,29). Razlogi za boljše prileganje izračunov dejanskemu stanju tičijo v odpravi velikih odstopanj, ki ne presežejo meje 10,7 % in so v povprečju velika le 2,8 % (preglednica 11). V primerjavi s primerom prilagojenega Zhangovega modela je razvidno tudi manjše odstopanje naklona linearne trendne črte od črte idealnega prileganja podatkov obeh virov (1:1), kar veča veljavo podanemu korelacijskemu koeficientu.

Za primer, ko se išče kompromis med modelom, katerega funkcija nakazuje različen odziv oziroma način obnašanja, natančnostjo izračuna in uporabnostjo (na velikem številu raznolikih območij), je dobljena korelacija zadovoljiva.



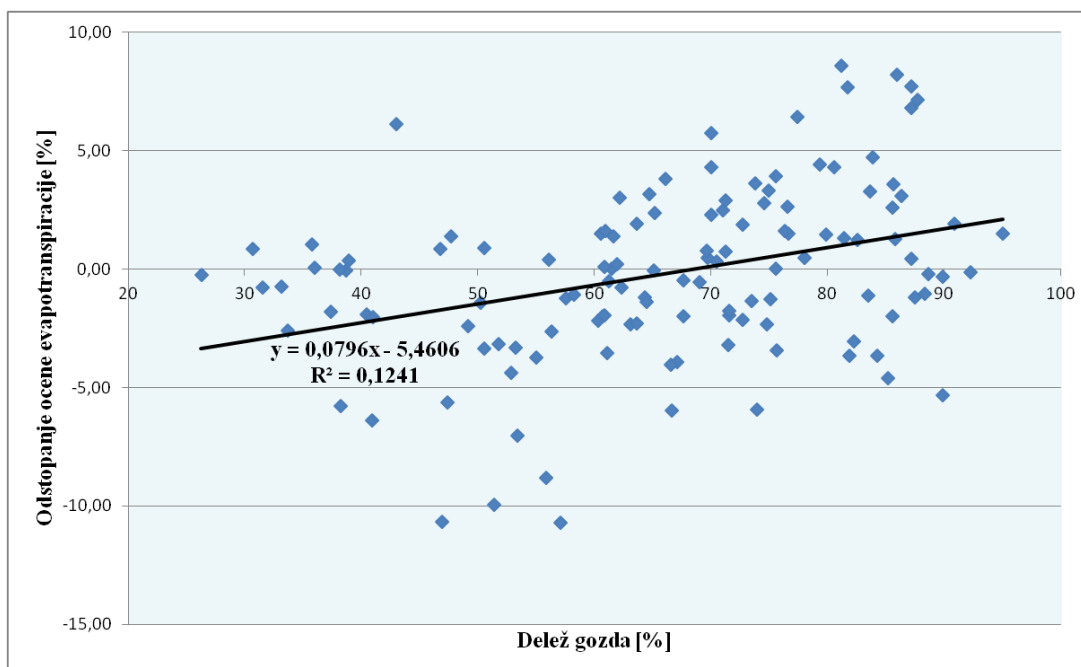
Slika 43: Primerjava evapotranspiracije dopolnjenega Zhangovega modela s podatki ARSO.

Velik napredek v usklajenosti izračunanih in dejanskih vrednosti evapotranspiracije v primerjavi z originalnim modelom je viden na tudi na sliki 44.



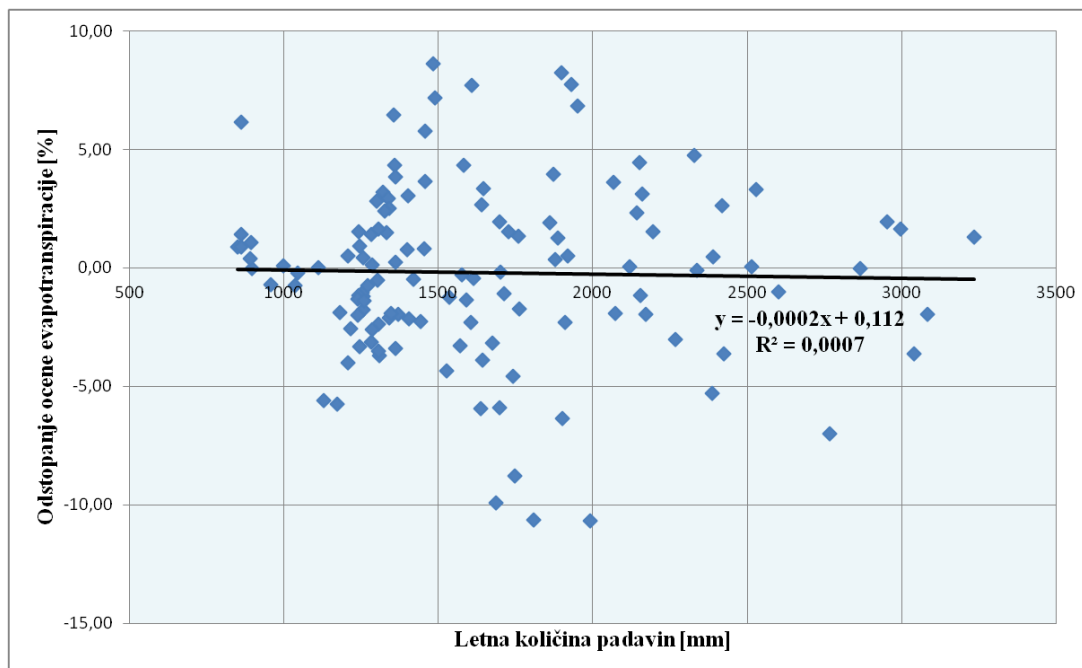
Slika 44: Primerjava izračuna evapotranspiracije po dopolnjenem Zhangovem modelu
In dejanskih vrednosti v odvisnosti od letne količine padavin.

Odstopanje ocene evapotranspiracije dopolnjenega Zhangovega modela ni izrazito odvisno od deleža gozda oziroma trave (slika 45).



Slika 45: Odstopanje ocene evapotranspiracije dopolnjenega Zhangovega modela od deleža gozda.

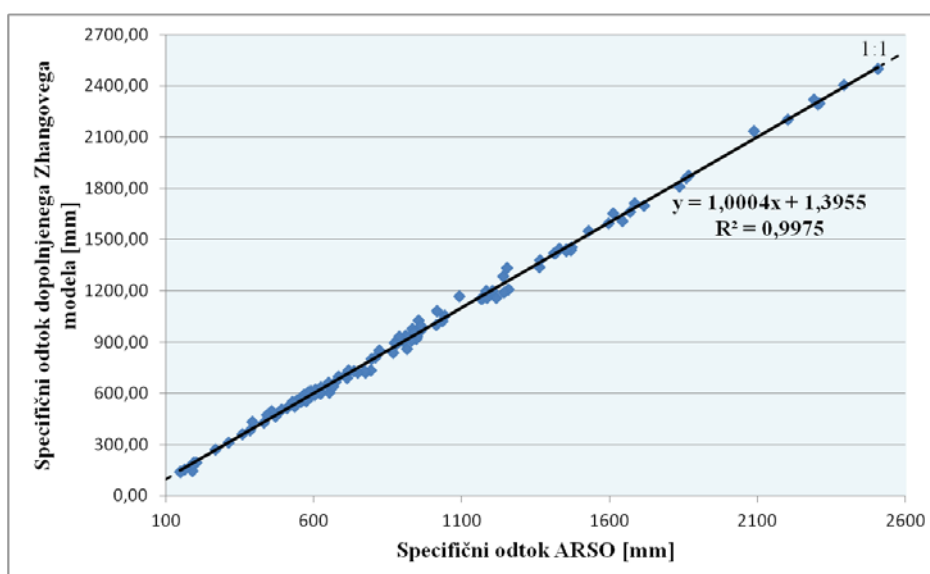
Odstopanja ocene evapotranspiracije dopolnjenega Zhangovega modela prav tako niso odvisna od količine letnih padavin (slika 46), za kar je zaslužen algoritem dodatka k modelu (izraza (34) in (35)).



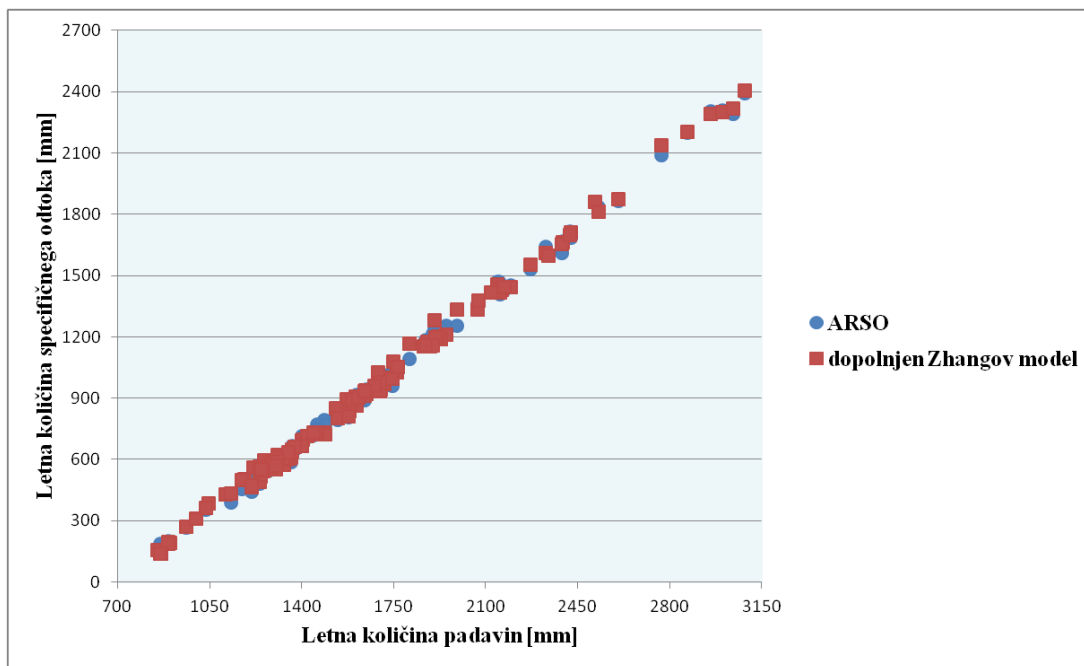
Slika 46: Odstopanje ocene evapotranspiracije dopolnjenega Zhangovega modela v odvisnosti od letne količine padavin.

6.4.2 Analiza ocene specifičnega odtoka

Izredno dobro povezavo med specifičnim odtokom ARSO in izračuni dopolnjenega Zhangovega modela s koeficientom korelacije skoraj 1 lahko vidimo na sliki 47. Pomembno je opozoriti tudi na pravilno usmerjenost trendne črte, ki prekriva črto 1:1. Podatki ARSO in ocene specifičnega odtoka dopolnjenega Zhangovega modela so v odvisnosti od letne količine padavin prikazani na sliki 48.

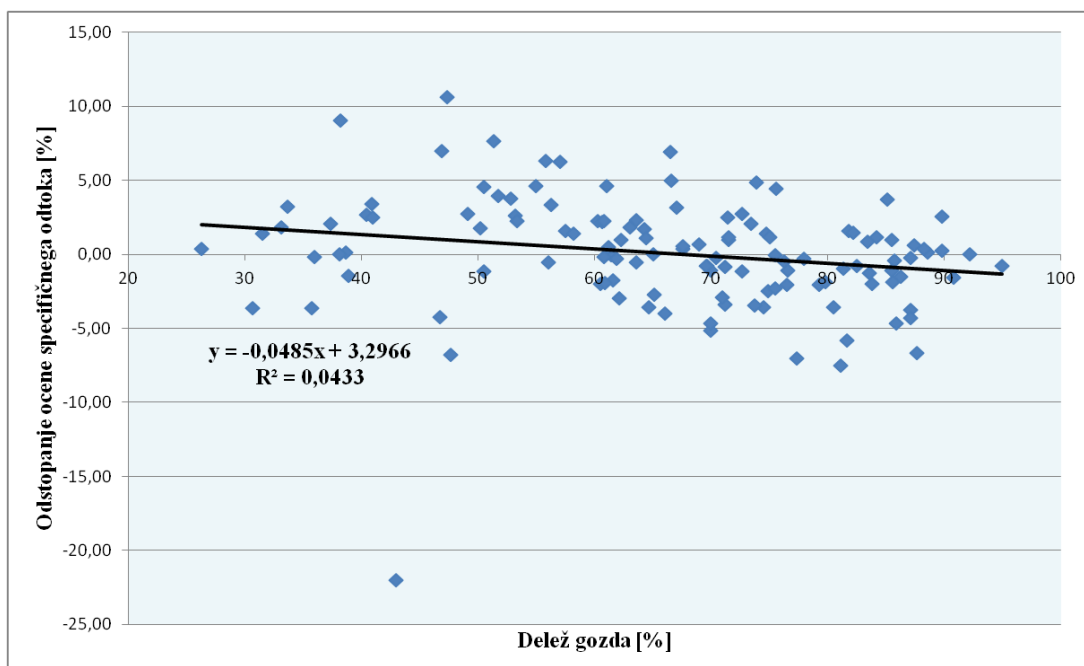


Slika 47: Zelo dobra usklajenost podatkov ARSO in ocene specifičnega odtoka dopolnjenega Zhangovega modela.

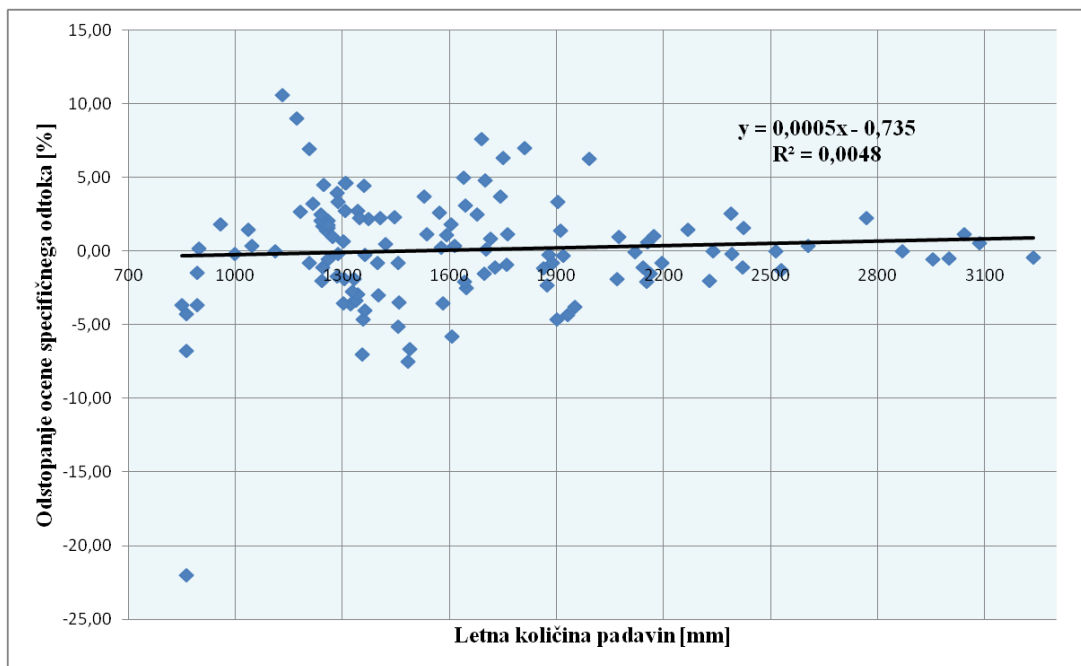


Slika 48: Izračuni specifičnega odтока ARSO in dopoljenega Zhangovega modela v odvisnosti od letne količine padavin.

Odstopanja specifičnega odтока, določenega z dopolnjenim Zhangovim modelom, od dejanskih vrednosti, ne izkazujejo statistično značilne odvisnosti od deleža rabe tal (slika 49). Na odstopanja ne vpliva niti letna količina padavin (slika 50).



Slika 49: Vpliv deleža gozda na odstopanja ocene specifičnega odтока dopoljenega Zhangovega modela.



Slika 50: Odnos med odstopanjem ocene specifičnega odtoka dopolnjenega Zhangovega modela in letno količino padavin.

6.5 Primerjava originalnega, prilagojenega in dopolnjenega Zhangovega modela

Povzetek osnovnih statistik učinkovitosti vseh treh modelov iz preglednic 7, 8 in 11 podajamo v preglednici 15 (za oceno evapotranspiracije) in preglednici 16 (za oceno specifičnega odtoka).

Preglednica 15: Primerjava učinkovitosti ocenjevanja evapotranspiracije originalnega, prilagojenega in dopolnjenega Zhangovega modela.

<i>Vrsta modela</i>	<i>Zhangov model</i>	<i>Prilagojen Zhangov model</i>		<i>Dopolnjen Zhangov model</i>
<i>Stopnja modeliranja</i>	<i>Dve skupini vegetacije</i>	<i>Dve skupini vegetacije</i>	<i>Tri skupine vegetacije</i>	<i>Dve skupini vegetacije</i>
<i>Vrednost funkcije F</i>	5117,40	699,11	692,87	346,94
<i>Največje odstopanje [%]</i>	89,96	24,87	25,11	10,67
<i>Povprečno odstopanje [%]</i>	40,94	5,59	5,54	2,78
<i>Standardni odklon [%]</i>	23,87	5,30	5,28	2,40

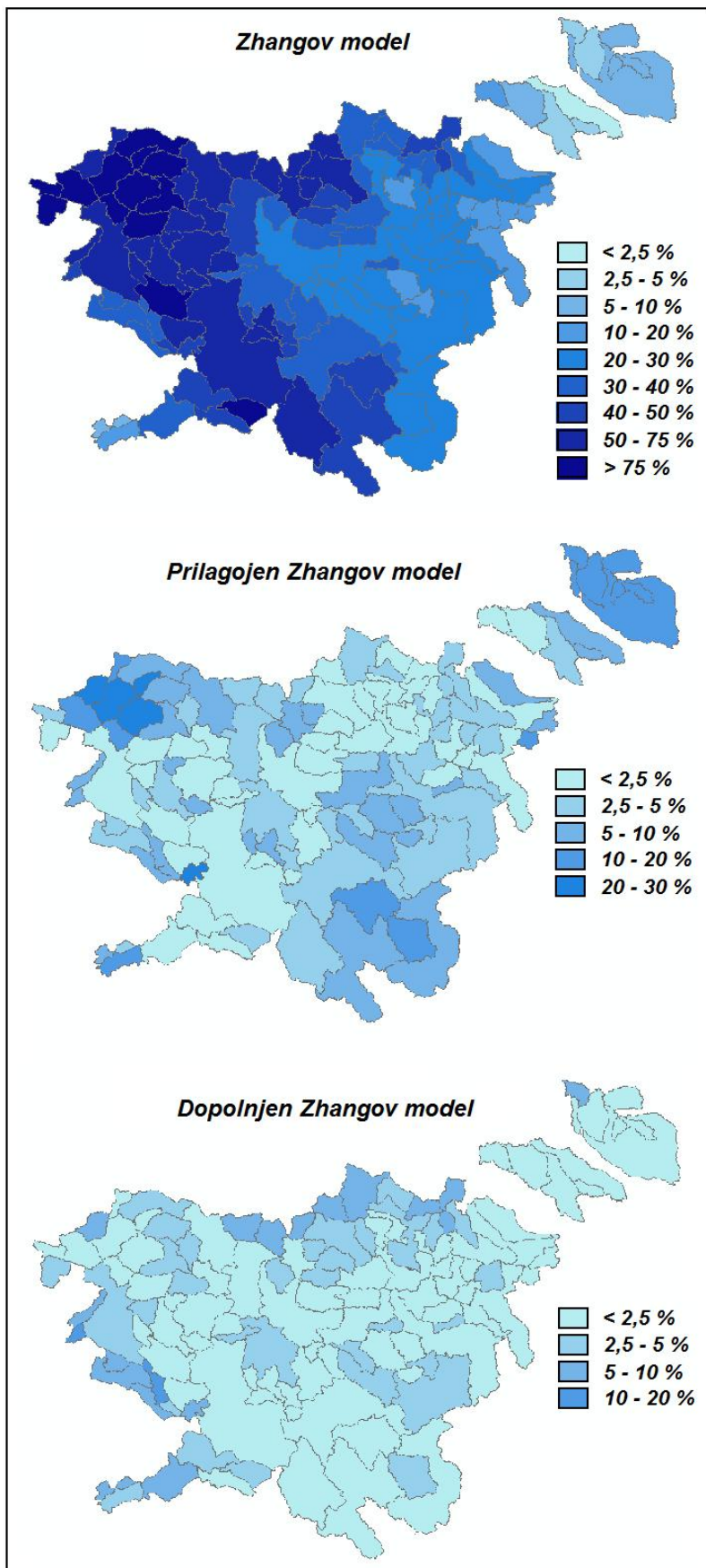
Ugotovimo, da sta pri ocenjevanju evapotranspiracije v primerjavi z originalnim modelom, prilagojen in dopolnjen model bistveno izboljšala vse navedene statistike. Z dobrimi rezultati izstopa predvsem dopolnjen Zhangov model s povprečnim odstopanjem ocene samo 2,78 % in največjo ugotovljeno napako 10,67 %. Primerjava med prilagojenim Zhangovim modelom za dve in tri skupine vegetacije kaže, da podrobnejša razčlenitev vegetacije na različne skupine ne prispeva bistveno k izboljšanju ocene modela. Uporabnik se tako lahko odloča za uporabo enega ali drugega modela glede na razčlenitev vegetacije na karti pokrovnosti tal, s katero razpolaga.

Preglednica 16: Primerjava učinkovitosti ocenjevanja specifičnega odtoka originalnega, prilagojenega in dopoljenega Zhangovega modela.

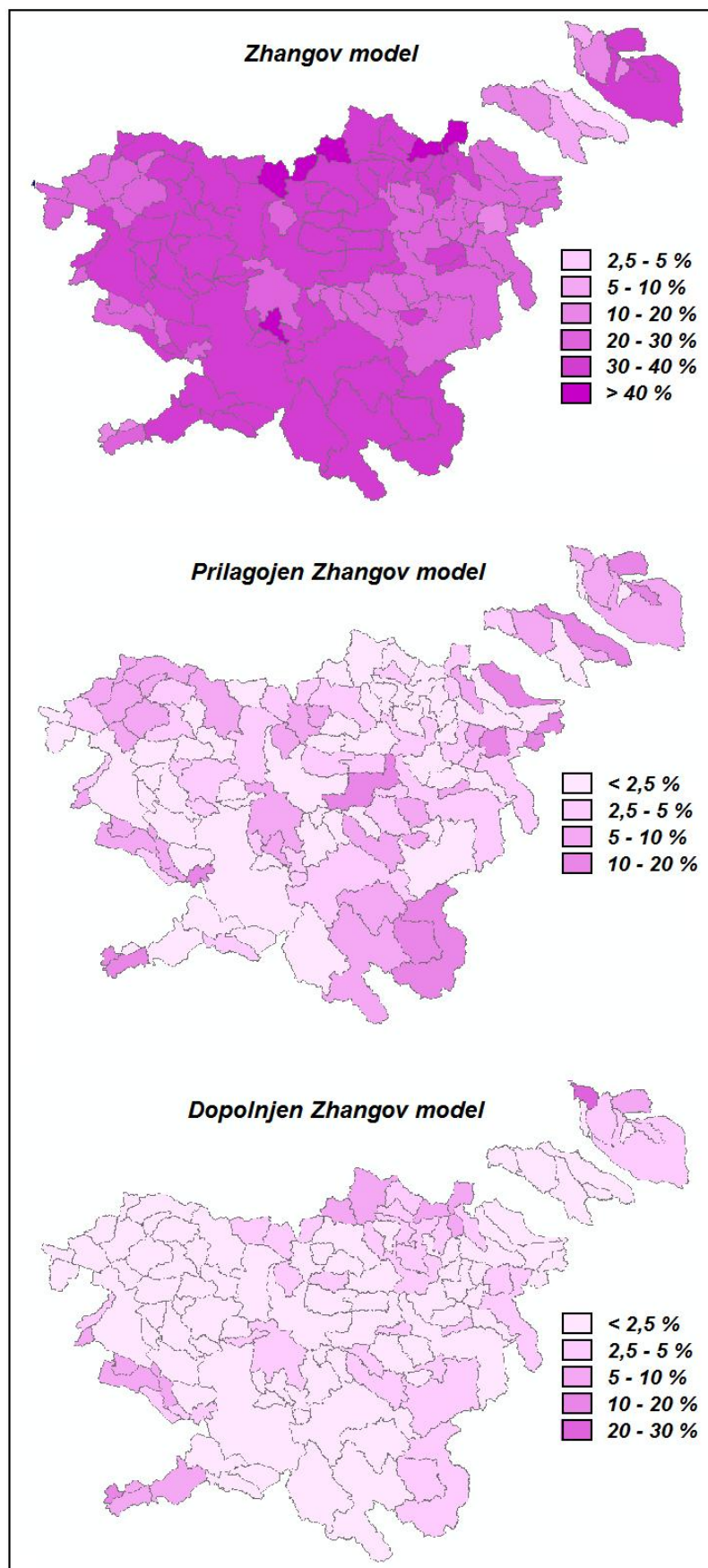
<i>Vrsta modela</i>	<i>Zhangov model</i>	<i>Prilagojen Zhangov model</i>		<i>Dopolnjen Zhangov model</i>
<i>Stopnja modeliranja</i>	<i>Dve skupini vegetacije</i>	<i>Dve skupini vegetacije</i>	<i>Tri skupine vegetacije</i>	<i>Dve skupini vegetacije</i>
<i>Vrednost funkcije F</i>	3799,65	559,04	541,62	328,31
<i>Največje odstopanje [%]</i>	43,05	19,11	21,59	22,00
<i>Povprečno odstopanje [%]</i>	30,40	4,47	4,33	2,63
<i>Standardni odklon [%]</i>	7,53	4,18	4,03	2,72

Tudi pri oceni specifičnega odtoka se veliko bolje od originalnega Zhangovega modela, obneseta prilagojen in dopolnjen model. Najnižje povprečno odstopanje ima dopolnjen Zhangov model, ki pa ima nekoliko večje največje odstopanje kot prilagojen model. Iz preglednice 11 lahko razberemo, da je odstopanje tega reda (22 %) izjemno redko, saj se pojavi le na enem od 125-ih hidrometričnih zaledij. Podobno kot pri ocenjevanju evapotranspiracije, sta prilagojena modela z različnim številom vegetacijskih skupin enako učinkovita.

Odstopanja ocene evapotranspiracije in specifičnega odtoka vseh treh modelov od dejanskih vrednosti so lepo vidna tudi na slikah 51 in 52.

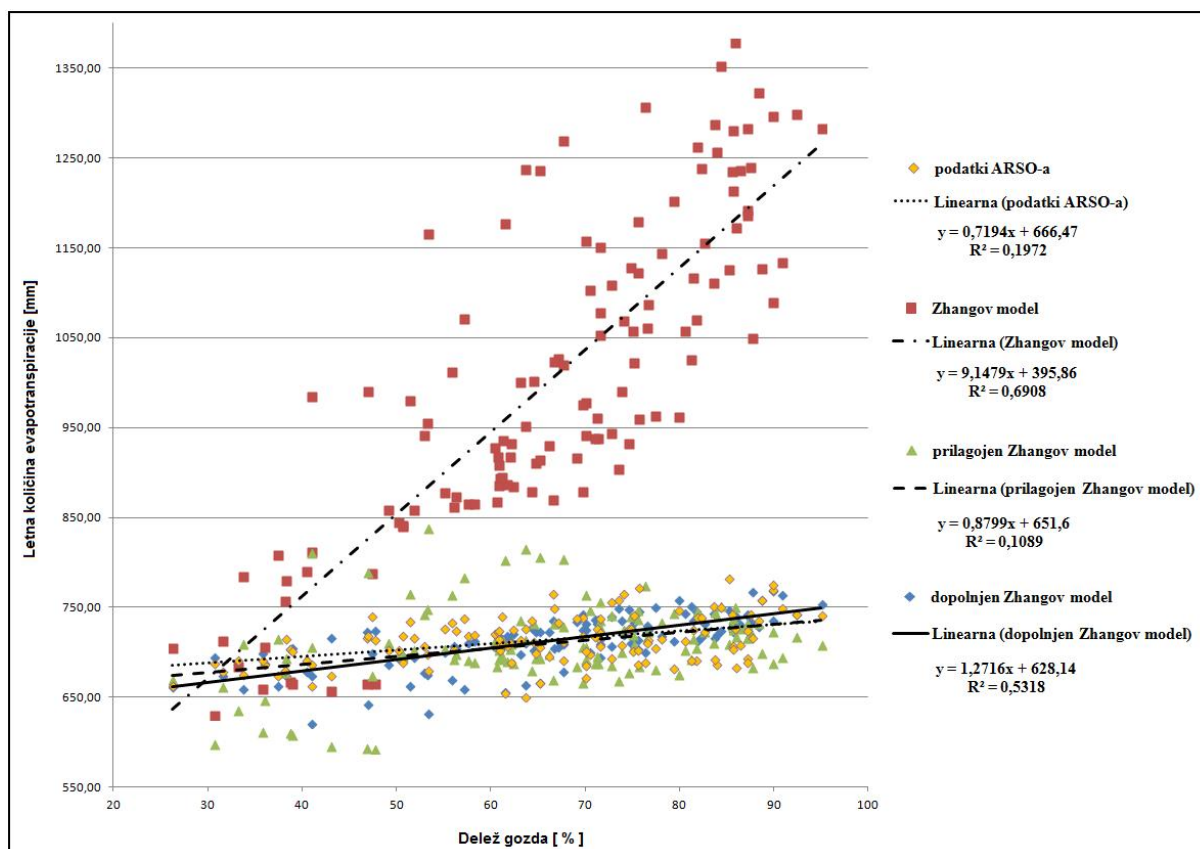


Slika 51: Odstopanje ocene evapotranspiracije od dejanskih vrednosti na posameznih hidrometričnih zaledjih za originalni, prilagojeni (za dve skupini vegetacije) in dopolnjeni Zhangov model.



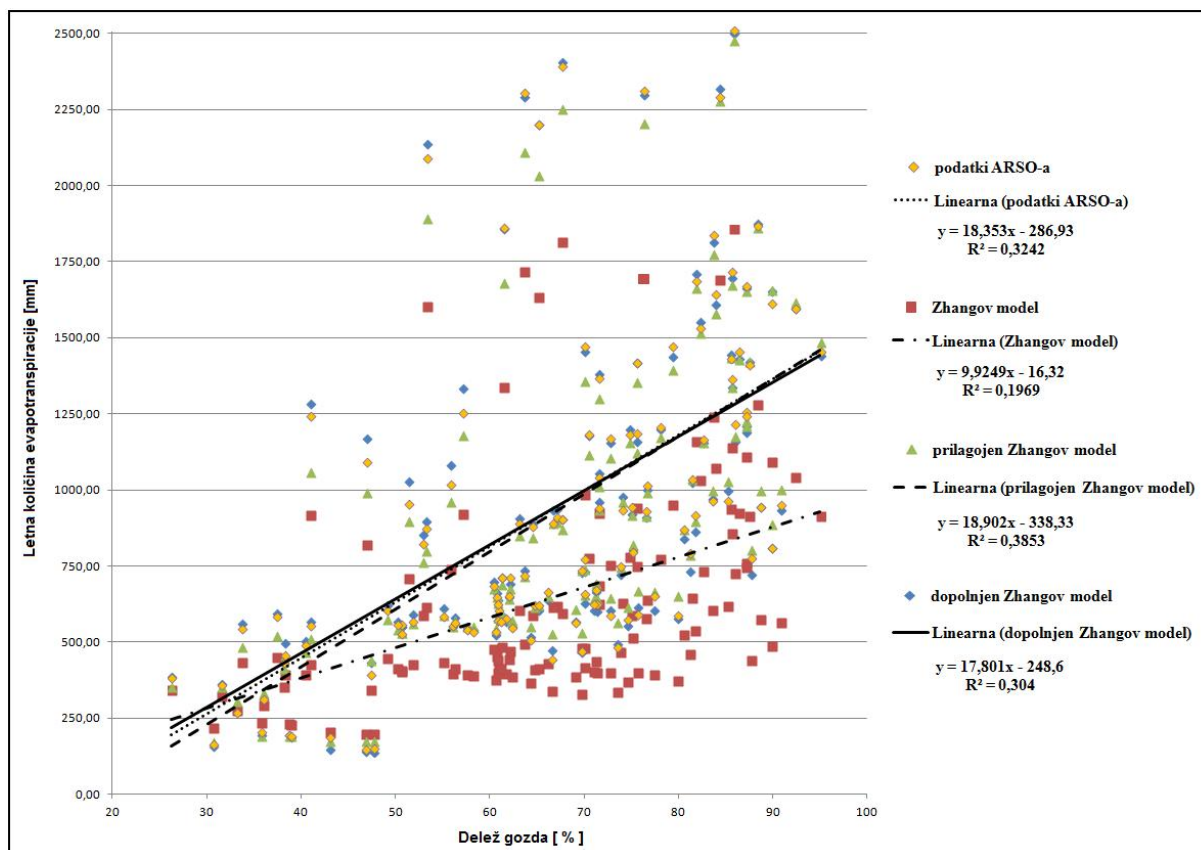
Slika 52: Odstopanje ocene specifičnega odtoka od dejanskih vrednosti na posameznih hidrometričnih zaledjih za originalni, prilagojeni (za dve skupini vegetacije) in dopolnjeni Zhangov model.

Obnašanje modela v odvisnosti od deleža gozda je za vse tri modele prikazan na sliki 53. Vidimo, da se razmerju, ki prikazuje dejansko stanje (podatki ARSO) glede na usmeritev trendne črte najbolj približa prilagojen Zhangov model, ki pa ne izkazuje visoke korelacije. Veliko odvisnost od deleža gozda izkazuje originalni Zhangov model, vendar so odstopanja od ARSO-vih podatkov zelo velika. Dober kompromis, z razmeroma visokim koeficientom korelacije (R^2 je 0,53) in majhnim odstopanjem naklona trendne črte, predstavlja dopolnjen Zhangov model.



Slika 53: Vpliv deleža gozda na letno količino evapotranspiracije za podatke ARSO in izračunane vrednosti originalnega, prirejenega in dopoljenega Zhangovega modela.

V odzivu modelov z gledišča odvisnosti letne količine specifičnega odtoka od deleža gozda (slika 54) lahko opazimo najmanjšo korelacijo pri Zhangovem originalnem modelu. Prilagojen Zhangov model in dopolnjen Zhangov model se dobro prilagajata dejanskemu stanju (podatki ARSO), njun korelacijski koeficient pa je istega ranga velikosti. Usklajenost z ARSO-vimi podatki je malenkost boljša pri dopolnjenem Zhangovem modelu, kar je najverjetneje posledica majhnih odstopanj ocen modela od dejanskih vrednosti. Podobnost rezultatov dopoljenega Zhangovega modela z dejanskimi vrednostmi potrjujeta tudi korelacijska koeficienta, katerih vrednost je enakega ranga velikosti (R^2 je 0,32 in 0,30).



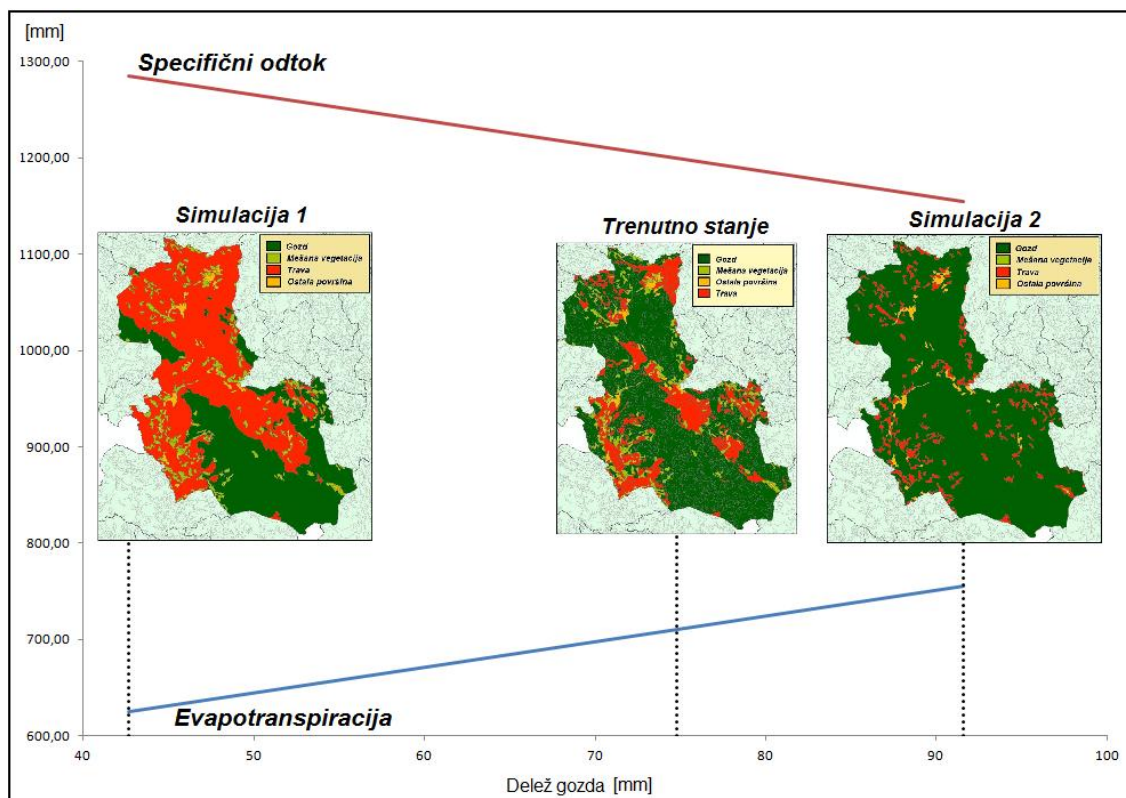
Slika 54: Vpliv deleža gozda na letno količino specifičnega odtoka za podatke ARSO in izračune originalnega, prirejenega in dopoljenega Zhangovega modela.

Pomembno je poudariti, da moramo imeti pri razbiranju podatkov iz slik 53 in 54 upoštevati dejstvo, da ne opazujemo odziva modelov za izključno spremenljivko deleža gozda, temveč opazujemo sistem točk, ki predstavljajo različna hidrometrična zaledja z različnimi količinami padavin. Tak način je najprimernejši za prepoznavanje odstopanj in razbiranje delovanja modelov kot celote v okolju, ki ga želimo analizirati.

Obnašanje modela pri stalni količini letnih padavin na istem hidrometričnem zaledju, v katerem se spreminja le delež gozda, je prikazano na sliki 55.

6.6 Analiza rezultatov simulacij spremembe pokrovnosti tal izbranega porečja

Rezultati izdelanih simulacij so skladni s pričakovanji teorije. Ugotovimo, da se specifični odtok z manjšanjem deleža gozda povečuje, medtem ko se evapotranspiracija zmanjšuje (slika 55). V primeru, ko predstavlja gozd le 38 % hidrometričnega zaledja, znaša evapotranspiracija samo 33 % letnih padavin, 67 odstotni delež pa pripade odtoku (primer simulacije 1). Če gozd prerašča večino hidrometričnega zaledja (90 %), se evapotranspiracija povzpne na 40 %, odtok pa zmanjša na 60 % (primer simulacije 2). Podrobnejši podatki o zasnovi simulacij so prikazani v preglednicah 12 in 13.



Slika 55: Rezultati simulacije spremembe pokrovnosti tal z uporabo dopoljenega Zhangovega modela.

Hipotetičen primer, ko bi se na hidrometričnem zaledju 5040 v določenem časovnem obdobju trenutna pokrovnost tal spremenila, kot predvideva simulacija 1, bi to pomenilo povečanje specifičnega odtoka za 85 mm, kar na površini, ki jo prekriva vegetacija (98 % celotne površine oziroma 1157 km²) pomeni letno povečanje odtoka velikosti 98550558 m³ ali 3,12 m³/s. Za boljšo predstavbo lahko povemo, da je dobljena vrednost ekvivalent povprečnemu pretoku reke Save na postaji Čatež v obdobju 1971-2000 (Bat et al., 2008b).

Po scenariju situacije 2, bi se specifični odtok zmanjšal za 45 mm. Če dobljeni vodni stolpec upoštevamo na površini, ki jo prekriva vegetacija, to pomeni letno zmanjšanje odtoka velikosti 51682338 m³ ali 1,64 m³/s.

Na podlagi podatkov iz preglednice 10 lahko sklepamo o odstopanjih ocen od dejanskih vrednosti. Za trenutno pokrovnost tal so odstopanja velikosti 1,41 % za specifični odtok (precenjen) in 2,30 % za evapotranspiracijo (podcenjena). V splošnem lahko pričakujemo enaka odstopanja tudi v primerih simulacij oziroma lahko upoštevamo toleranco povprečnega odstopanja dopoljenega Zhangovega modela, če želimo biti na varni strani. Ta znaša $\pm 2,8$ % za oceno evapotranspiracije in $\pm 2,6$ % za specifični odtok.

7 ZAKLJUČKI

Da zasnova Zhangovega modela temelji na veliki svetovni zbirki podatkov, je hkrati njegova prednost in slabost. Njegova univerzalnost in enostavnost, obenem pa tudi »monopol« na področju modeliranja vplivov pokrovnosti tal na vodno bilanco, neposredno spodbuja raziskovalce, ki jih to področje zanima, da ga uporabijo v svojih raziskavah. Po drugi strani, se model s preširokim spektrom predvidene uporabe, saj je vanj vgrajenih preko 250 naključnih vzorcev (Zhang et al., 1999), ne more dobro obnesti v vsaki situaciji ali okolju. Območje Slovenije je zaradi velike raznolikosti eno takih.

Modela, ki smo ju razvili v tej nalogi izhajata iz Zhangovega originalnega modela in sta prilagojena pogojem obravnavanih hidrometričnih zaledij (Bat et al., 2008b). Uporabljena sta bila dva različna pristopa popravljanja modela: prilagoditev na osnovi določitve novih konstant (prilagojen Zhangov model) in dopolnitev z algoritmom odnosa, ki je bil ugotovljen med spremenljivkami (dopolnjeni Zhangov model). Izkaže se, da je za področje Slovenije najprimernejši dopolnjeni Zhangov model.

Z dopolnjenim Zhangovim modelom uporabnik dobi orodje, ki je razmeroma močno odvisno od deleža gozda oziroma trave, hkrati pa predstavlja njegova ocena dober približek dejanskega stanja in je v tem pogledu za Slovenska porečja boljši od ostalih modelov, vključujoč originalni Zhangov model. Njegovo izračunano povprečno odstopanje ocene na 125-ih obravnavanih hidrometričnih zaledjih je samo 2,8 % za evapotranspiracijo in 2,6 % za specifični odtok.

Pri izračunih na območju Slovenije se veliko bolje od originalnega Zhangovega modela obnese tudi prilagojen Zhangov model, ki povprečno odstopanje ocene originalnega Zhangovega modela znižuje iz 40,9 na 5,5 % za evapotranspiracijo, oziroma iz 30,4 na 4,3 % za specifični odtok.

Opravljeni simulaciji kažeta uporabnost (v našem primeru dopolnjenega Zhangovega) modela v praksi, kjer lahko z njegovo pomočjo ugotavljamo vplive spremembe pokrovnosti tal (vegetacije) na zaloge vode, nevarnost poplav, stanje vodostajev ipd. ter se nanje odzovemo s primernimi tehničnimi in drugimi ukrepi.

Uporaba modelov je manj primerna za pridobivanje manjkajočih podatkov (izgubljene, manjkajoče meritve), kjer je pomembna natančnost podatka. Kljub temu je logično sklepati, da bi s podrobnejšimi analizami posameznih hidrometričnih zaledij oziroma manjših zaključenih prostorskih enot in razvojem pripadajočega modela po algoritmih, ki so predlagani v tej nalogi, lahko dosegli rezultate, ki bi ustrezali tudi takim zahtevam.

8 VIRI

8.1 Uporabljeni viri

Abramowitz, M., Stegun, I.A. 1964. Handbook of mathematical functions. National Bureau of Standards, Dover, New York: 1046 str.

http://people.math.sfu.ca/~cbm/aands/abramowitz_and_stegun.pdf (Pridobljeno 11. 3. 2013.)

Açar, I., Ak, B.E., Kirnak, H. 2001. Irrigation and irrigation management strategies of pistachio orchards. V: Ak, B.E. (ur.). XI GREMPA Seminar on Pistachios and Almonds: 271–278.

<http://om.ciheam.org/om/pdf/c56/01600190.pdf> (Pridobljeno 2. 3. 2013.)

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. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Rome: 246 str.

<http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/fao56.pdf> (Pridobljeno 15. 12. 2011.)

Arora, V.K. 2002. The use of the aridity index to assess climate change effect on annual runoff. *Journal of Hydrology* 265: 164–177.

http://www.cccma.ec.gc.ca/papers/varora/aridity_index_journal_paper.pdf (Pridobljeno 10. 3. 2013.)

Barilotti, A., Turco, S., Alberti, G. 2006. LAI determination in forestry ecosystems by LIDAR data analysis. 3D Remote Sensing in Forestry, International Workshop, 14–15 February – PDF presentation: 17 str.

http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H85/H857/workshops/3drsforestry/presentations/8b.3-barilotti.pdf (Pridobljeno 26. 12. 2011.)

Bastrup-Birk, A., Bréda, N. 2004. MANUAL on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part XI: Sampling and Analysis of Litterfall. United Nations Economic Commission for Europe – Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution: 12 str.

http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt11_compl2004.pdf (Pridobljeno 26. 12. 2011.)

Bat, M., Frantar, P. 2008a. Vodna bilanca. V: Frantar, P. (ur.). Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. = Water Balance of Slovenia 1971–2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor – Agencija Republike Slovenije za okolje: 9–14.

Bat, M., Dolinar, M., Frantar, P., Hrvatin, M., Kobold, M., Kurnik, B., Nadbath, M., Ožura, V., Uhan, J., Ulaga, F. 2008b. Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. = Water Balance of Slovenia 1971–2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor – Agencija Republike Slovenije za okolje: 120 str.

Bellot J., Sanchez, J.R., Chirino, E., Hernandez, N., Abdelli, F., Martinez, J.M. 1999. Effect of different vegetation type cover on the soil water balance in semi-arid areas of South Eastern Spain. *Physics and Chemistry of the Earth , Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 24 (4): 353–357.

Bohmalk, G.T., Frisbie, R.E., Sterling, W.L., Metzger, R.B., Knutson, A.E. 1983. Identification, Biology and Sampling of Cotton Insects. Texas A&M University: 44 str.

<http://www.extension.org/mediawiki/files/8/8e/B933CottonIdentification.pdf>

(Pridobljeno 25. 1. 2013.)

Botkin, D.B., Davis, M., Estes, J. et al. 1986. Remote sensing of the biosphere. Report of the Committee on Planetary Biology. National Research Council. Washington, D.C. National Academy Press: 135 str.

Bradford, A., Zhang, L., Hairsine, P. 2001. Implementation of a mean annual water balance model within a GIS framework and application to the Murray-Darling basin. Technical report 01/8. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology – CSIRO Land and Water: 40 str.

<http://www.fao.org/forestry/5865-06c5b4f34ca7eb9155af198cbfdf42498.pdf> (Pridobljeno 6. 3. 2013.)

Brilly, M., Šraj, M. 2000. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 234 str.

Bunderson, L. 2005. Turfgrass rooting depth under optimal conditions. *Plant nutrition – PSB* 6430: 8 str.

http://www.usu.edu/cpl/PDF/LandonBunderson_turfgrass_root.pdf (Pridobljeno 4. 3. 2013.)

Canadell, J., Jackson, R.B., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E., Schulze, O.E. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* 108: 583–595.

ftp://ftp.aphis.usda.gov/foia/FOLDER_10/AR00038244%20Canadell%20et%20al%201996.pdf

(Pridobljeno 5. 3. 2013.)

Carlson, T. 2007. An Overview of the "Triangle Method" for Estimating Surface Evapotranspiration and Soil Moisture from Satellite Imagery. *Sensors* 7: 1612–1629.

Cegnar, T. 2003. Padavine. V: Uhan, J. (ur.), Bat, M. (ur.). Vodno bogastvo Slovenije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo – Agencija Republike Slovenije za okolje: 13–25.

Chang, M. 2002. Forest Hydrology. An introduction to water and forests. CRC Press LLC: 392 str.

Chen, J.M., Black, T.A. 1992. Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant, Cell & Environment* 15: 421–429.

Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J.M., Plummer, S. 1997. Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research* 102: 29429–29443.
http://faculty.geog.utoronto.ca/Chen/Chen%27s%20homepage/PDFfiles/laitheory_jchen.pdf
(Pridobljeno 2. 3. 2013.)

Choudhury, B.J., DiGirolamo, N.E. 1998a. A biophysical process-based estimate of global land surface evaporation using satellite and ancillary data: I. Model description and comparison with observations. *Journal of Hydrology* 205: 164–185.

Coakley, J.A. 2002. Reflectance and albedo, surface. *Encyclopedia of the atmosphere*. Eds. Academic Press.: 1914–1923.
http://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter9/Ency_Atmos/Reflectance_Albedo_Surface.pdf
(Pridobljeno 10. 2. 2013.)

Coutts, M.P. 1987. Developmental processes in tree root systems. *Canadian Journal of Forest Research* 17(8): 761–767.
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/x87-122#.UTdYDDfur3Q>
(Pridobljeno 23. 2. 2013.)

Coutts, M.P., Nielsen, C.C.N., Nicoll, B.C. 1999. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root system of conifers. *Plant and Soil* 217: 1–15.
<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1004578032481?LI=true> (Pridobljeno 23. 2. 2013.)

Crow, P. 2005. The Influence of Soils and Species on Tree Root Depth. *Forestry Commission Information Note – FCIN078*: 8 str.
[http://www.forestry.gov.uk/pdf/fcin078.pdf/\\$file/fcin078.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/fcin078.pdf/$file/fcin078.pdf) (Pridobljeno 3. 3. 2013.)

Dabral, B.G., Subba, R.B.K. 1968. Interception Studies in Chir and Teak Plantations – New Forest. *The Indian Forester* 94: 541–551.

<http://www.indianforester.co.in/index.php/indianforester/article/view/26032> (Pridobljeno 23. 1. 2013.)

Davie, T. 2008. *Fundamentals of hydrology* (second edition). USA, Canada, Routledge: 199 str.

http://cs5538.userapi.com/u11728334/docs/198906e9aa8e/Tim_Davie_Fundamentals_of_Hydrology_284930.pdf (Pridobljeno 8. 1. 2013.)

Decagon Devices. 2010. *AccuPAR. PAR/LAI ceptometer: Model LP-80. Operator's Manual. Version 10*. Decagon Devices, Inc., Washington, ZDA: 105 str.

<http://www.decagon.com/assets/Manuals/AccuPAR-LP-80.pdf> (Pridobljeno 24. 12. 2011.)

Díaz, I.A., Sieving, K.E., Peña-Foxon, M.E., Larraín, J., Armesto, J.J. 2010. Epiphyte diversity and biomass loads of canopy emergent trees in Chilean temperate rain forests: A neglected functional component. *Forest Ecology and Management* 259: 1490–1501.

van Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel L.A. 2001a. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. *Journal of Hydrology* 247: 230–238.

van Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel L.A. 2001b. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 2. Model validation for a tropical upland mixed cropping system. *Journal of Hydrology* 247: 239–262.

Van Dijk, A.I.J.M., Peñna-Arancibia, J.L., (Sampurno) Bruijnzeel, L.A. 2012. Land cover and water yield: inference problems when comparing catchments with mixed land cover. *Hydrology and Earth System Sciences* 16: 3461–3473.

Dobson, M. 1995. *Tree Root Systems*. Arboriculture Research and Information Note 130/95/ARB.
www.treehelp.info (Pridobljeno 2. 3. 2013.)

Dockter, D. 1994. Computation of the 1982 Kimberly-Penman and the Jensen-Haise Evapotranspiration Equations as Applied in the U.S. Bureau of Reclamation's Pacific Northwest AgriMet Program. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation: 26 str.

<http://www.usbr.gov/pn/agrimet/aginfo/AgriMet%20Kimberly%20Penman%20Equation.pdf>
(Pridobljeno 9. 12. 2011.)

- Dowling, T., Dawes, W., Evans, R., Dyson, P., Walker, G. 2004. Prioritising upland catchments in the Murray-Darling Basin with respect to salinity benefits from afforestation. Technical report 15/04. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology – CSIRO Land and Water: 66 str.
<http://www.clw.csiro.au/publications/technical2004/tr15-04.pdf> (Pridobljeno 11. 3. 2013.)
- Dunkerley, D. 2000. Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrological Processes* 14: 669–678.
- Durrant, J. 2007. REG75 – A tool to estimate mean annual flow for the South West of Western Australia. *Surface Water Hydrology* 25: 52 str.
www.water.wa.gov.au/PublicationStore/.../77123.pdf (Pridobljeno 10. 12. 2012.)
- Eagleson, P.S. 1982. Ecological optimality in water-limited natural soil-vegetation systems. 1. Theory and hypothesis. *Water Resources Research* 18 (2): 325–340.
http://www.engr.colostate.edu/~ramirez/ce_old/classes/ce722_ramirez/Readings/Eagleson-Tellers-1.pdf (Pridobljeno 25. 2. 2013.)
- Eriksson, H., Eklundh, L., Hall, K., Lindroth, A. 2005. Estimating LAI in deciduous forest stands. *Agricultural and Forest Meteorology* 129: 27–37.
- Fahey, B.D. 1964. Throughfall and interception of rainfall in a stand of radiata pine. *Journal of Hydrology* 3: 17–26.
http://www.hydrologynz.org.nz/downloads/JoHNZ_1964_v3_1_Fahey.pdf (Pridobljeno 1. 12. 2011.)
- Fazio, J.R. 2011. How Trees Can Retain Stormwater Runoff. *Tree City USA Bulletin No.55*: 8 str.
http://www.fs.fed.us/psw/programs/uesd/uep/products/11/800TreeCityUSABulletin_55.pdf
(Pridobljeno 9. 1. 2013.)
- Fleck, S., Mölder, I., Dammann, I. 2011. Action C1-tree-30 (NWD) – Manual for LAI-assessments. Northwest German Forest Research Station: 10 str.
http://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Publikationen/2011/Fleck_Moelder_Dammann2011_Futmon.pdf (Pridobljeno 27. 12. 2011.)
- Frantar, P. 2008. Hidrometrična zaledja za projekt Vodna bilanca 1971–2000. Vektorski sloj. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. Osebna komunikacija. (7. 2. 2013.)

Frantar, P., Kurnik, B., Ožura, V. 2008. 4.2 Izhlapevanje. V: Frantar, P. (ur.). Vodna bilanca Slovenije 1971–2000. = Water Balance of Slovenia 1971–2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor – Agencija Republike Slovenije za okolje: 39–41.

Frantar, P. 2013. Posredovanje GIS podlag: raster realne evapotranspiracije, raster specifičnega odtoka in vektorski sloj hidrometričnih zaledij za projekt Vodna bilanca 1971–2000. Osebna komunikacija. (7. 2. 2013.)

Frazer, G.W., Canham, C.D., Lertzman, K.P. 1999. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York: 36 str.

<http://www.rem.sfu.ca/forestry/publications/downloads/gaplightanalyzer.htm>

(Pridobljeno 13. 8. 2012.)

Frazer, G.W., Fournier, R.A., Trofymow, J.A., Hall, R.J. 2001. A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission. *Agricultural and Forest Meteorology* 109: 249–263.

Fritsch, J.M. 1993. The hydrological effects of clearing tropical rainforest and of the implementation of alternative land uses. V: Gladwell, J.S. (ur.). *Hydrology of Warm Humid Regions: Proceedings of an international symposium held at Yokohama, Japan, 13–15 July 1993.* (IAHS Publication No. 216). Oxfordshire, UK.: p. 53–66.

Gash, J.H.C., Morton, A.J. 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford forest. *Journal of Hydrology* 38: 49–58.

Gash, J.H.C. 1979. An analytical model of rainfall interception by forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 105: 43–55.

http://iss.iae.kyoto-u.ac.jp/iss/jp/lecture/sidle_2008/lect5-6/GashInterceptionModel.pdf

(Pridobljeno 9. 11. 2011.)

Gash, J.H.C., Lloyd, C.R., Lachaud, G. 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology* 170: 79–86.

Geiger, R., Aron, R.H., Todhunter, P. 2003. *The climate near the ground (Sixth Edition).* United States of America, Rowman & Littlefield Publishers, Inc.: 584 str.

http://books.google.si/books?id=KaJHBv9FbYIC&printsec=frontcover&hl=sl&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (Pridobljeno 16. 1. 2013.)

Gerrits, A.M.J., Savenije, H.H.G., Veling, E.J.M., Pfister, L. 2009. Analytical derivation of the Budyko curve based on rainfall characteristics and a simple evaporation model. *Water Resources Research* 45, W04403: 15 str.

Gerrits, A.M.J. 2010. The role of interception in the hydrological cycle. Netherlands, VSSD, Delft: 126 str.

Giambelluca, T.W., DeLay, J.K., Nullet, M.A., Scholl, M.A., Gingerich, S.B. 2010. Interpreting canopy water balance and fog screen observations: separating cloud water from wind-blown rainfall at two contrasting forest sites in Hawai'i. V: Bruijnzeel, L.A. (ur.), Scatena, F.N. (ur.), Hamilton, L.S. (ur.). *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*. Cambridge University Press: Cambridge, UK: str. 342–351.

Giambelluca, T.W., DeLay, J.K., Nullet, M.A., Scholl, M.A., Gingerich, S.B. 2011. Canopy water balance of windward and leeward Hawaiian cloud forests on Haleakalā, Maui, Hawai'i. *Hydrological Processes* 25: 438–447.

Glantz, M. 2011. The Arctic: The Achilles' heel of the world as we have come to know it. *Fragilecologies Blog*, August 30 2011.

<http://fragilecologies.com/blog/?p=2185> (Pridobljeno 2. 3. 2012.)

von Glasow, R., Bott, A. 1999. Interaction of radiation fog with tall vegetation. *Atmospheric Environment* 33: 1333–1346.

<http://www.iup.uni->

[heidelberg.de/institut/aktuelles/studium/lehre/physikII/stellenangebote/institut/forschung/en/groups/atmosphere/modell/glasow/papers/vonGlasowBott99.pdf](http://www.iup.uni-heidelberg.de/institut/aktuelles/studium/lehre/physikII/stellenangebote/institut/forschung/en/groups/atmosphere/modell/glasow/papers/vonGlasowBott99.pdf) (Pridobljeno 25. 11. 2011.)

Gobron, N., Verstraete, M.M. 2009. LAI. Leaf Area Index. Assessment of the status of the development of the standards for the Terrestrial Essential Climate Variables. T11: Essential Climate Variables. Version 10. Rome, GTOS (Global Terrestrial Observing System): 12 str.

<http://www.fao.org/gtos/doc/ECVs/T11/T11.pdf> (Pridobljeno 24. 12. 2011.)

Gonsamo, A., Pellikka, P. 2008. Methodology comparison for slope correction in canopy leaf area index estimation using hemispherical photography. *Forest Ecology and Management* 256: 749–759.

Guo, X., Si, B.C. 2008. Characterizing LAI spatial and temporal variability using a wavelet approach. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37 – Part B7: 31–34.

Hargreaves, G.H., Allen, R.G. 2003. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129: 53–63.

Hawthornthwaite, H., Atkinson, F.B. 1926. *A year in the wonderland of trees*. New York, Chicago idr. C. Scribner's Son: 214 str.

http://www.publicbookshelf.com/public_html/A_Year_in_the_Wonderland_of_Trees_/whatcause_dd.html (Pridobljeno 5. 1. 2013.)

Heiskanen, J. 2006. Estimating aboveground tree biomass and leaf area index in a mountain birch forest using ASTER satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 27, 6: 1135–1158.

Hibbert, A.R. 1967. Forest treatment effects on water yield. V: Sopper, W.E. (ur.), Lull, H.W. (ur.). *International symposium for hydrology*, Pergamon, Oxford: p. 527–543.

<http://coweeta.uga.edu/publications/842.pdf> (Pridobljeno 20. 11. 2011.)

Hodnett, M.G., Pimentel da Silva, L., da Rocha, H.R., Cruz Senna, R. 1995. Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. *Journal of Hydrology* 170: 233–254.

Hölscher, D., Köhler, L., van Dijk, A.I.J.M., Bruijnzeel, L.A.(S.). 2004. The importance of epiphytes to total rainfall interception by a tropical montane rain forest in Costa Rica. *Journal of Hydrology* 292: 308–322.

Horton, R.E. 1919. Rainfall interception. *Monthly Weather Review* 47, 9: 608–623.

<http://www.scribd.com/doc/40893394/Horton-Rainfall-Interception> (Pridobljeno 7. 12. 2011.)

Howell, T.A., Evett, S.R. 2004. *The Penman-Monteith method*. USDA – Agricultural Research Service, Conservation and Production Research Laboratory: 16 str.

<http://www.cpri.ars.usda.gov/pdfs/PM%20COLO%20Bar%202004%20corrected%209apr04.pdf> (Pridobljeno 10. 12. 2011.)

Jarvis, A. 2000. Quantifying the hydrological role of cloud deposition onto epiphytes in a tropical montane cloud forest, Colombia. B.Sc. thesis. King's College London, University of London, UK.

<http://www.ambiotek.com/herb/hydjar.pdf> (Pridobljeno 27. 11. 2011.)

Ji, F., Littleboy, M., Summerell, G. 2009. Water Balance Modelling – Impact of land use, soil properties and rainfall seasonality. V: 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13–17 July 2009: p. 3386–3392.

http://www.mssanz.org.au/modsim09/I7/ji_I7b.pdf (Pridobljeno 19. 3. 2013.)

Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F. 2004. Methods for Leaf Area Index Determination Part 1: Theories, Techniques and Instruments. *Area* 121: 1–42.

Jonckheere, I., Muys, B., Coppin, P. 2005. Allometry and evaluation of in situ optical LAI determination in Scots Pine: a case study in Belgium. *Tree Physiology* 25: 723–732.

<http://treephys.oxfordjournals.org/content/25/6/723.full.pdf> (Pridobljeno 5. 1. 2012.)

Jovanovic, N.Z., Jarman, C., de Clercq, W.P., Vermeulen, T., Fey, M.V. 2011. Total evaporation estimates from a Renosterveld and dryland wheat/fallow surface at the Voëlvlei Nature Reserve (South Africa). *Water SA* 37: 471–482.

<http://www.ajol.info/index.php/wsa/article/viewFile/71424/60371> (Pridobljeno 11. 12. 2011.)

Keim, R.F., Skaugset, A.E., Link, T.E., Iroumé, A. 2004. A stochastic model of throughfall for extreme events. *Hydrology and Earth System Sciences* 8: 23–34.

<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/8/23/2004/hess-8-23-2004.pdf> (Pridobljeno 22. 1. 2012.)

Kim, K.H., Woo, B.M. 1988. Study on rainfall interception loss from canopy in forest. *Journal of Korean Forestry Society* 77: 331–337.

<http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=1990%2FKR%2FKR90009.xml%3BK8935784> (Pridobljeno 22. 1. 2013.)

Kiniry, J.R., Bean, B., Xie, Y., Chen, P. 2004. Maize yield potential: critical processes and simulation modeling in a high-yielding environment. *Agricultural Systems* 82: 45–56.

Kite, G., Droogers, P. 2000. Comparing estimates of actual evapotranspiration from satellites, hydrological models, and field data: A case study from Western Turkey. Research Report 42. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute: 33 str.

http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/Pub042/Report42.pdf (Pridobljeno 10. 12. 2011.)

Knyazikhin, Y., Martonchik, J.V., Myneni, R.B., Diner, D.J., Running, S.W. 1998. Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data. *Journal of Geophysical Research* 103: 257–276.

Kolbenzen, M., Pristov, J. 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. = Surface streams and water balance of Slovenia. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor – Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 29 str.

http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/bilanca6190_2_BESEDILO.pdf
(Pridobljeno 25. 12. 2012.)

Kompare, B. 1991. Modeliranje deževnega odtoka iz urbaniziranih področij. Magistrska naloga. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 509 str.

Kongo, V., Jewitt, G., Lorentz, S. 2008. Application of scintillation and remote sensing techniques to estimate total evaporation in the Thukela River basin – South Africa. V: The BSCW, UNESCO–IHE Symposium, 28th August 2008: 25 str.

<http://www.bscw.ihe.nl/pub/bscw.cgi/d2606784/Kongo2.pdf> (Pridobljeno 14. 12. 2011.)

Kosa, P. 2011. The Effect of Temperature on Actual Evapotranspiration based on Landsat 5 TM Satellite Imagery. V: Łabędzki, L. (ur.). Evapotranspiration. Rijeka, Croatia. InTech: str. 209–228.

Kozakiv, D. 2012. Prestrežene padavine. Seminarjska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Kozakiv): 79 str.

Kumagai, T., Saitoh, T.M., Sato, Y., Takahashi, H., Manfroi, O.J., Morooka, T., Kuraji, K., Suzuki, M., Yasunari, T., Komatsu, H. 2005. Annual water balance and seasonality of evapotranspiration in a Bornean tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 128: 81–92.

Kurtyka, J.C. 1953. Precipitation measurements study: Methods of measuring precipitation for use with the automatic weather station. Authority of State of Illinois: 178 str.

<http://www.isws.uiuc.edu/pubdoc/RI/ISWSRI-20.pdf> (Pridobljeno 7. 12. 2011.)

Kutnar, L., Martinčič, A. 2008. Bryophyte species diversity of forest ecosystems in Slovenia (Intensive monitoring programme). = Pestrost mahovnih vrst v gozdnih ekosistemih Slovenije (Program intenzivnega spremljanja stanja gozdnih ekosistemov). *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 85: 11–26.

<http://www.gozdis.si/zbgl/2008/zbgl-85-2.pdf> (Pridobljeno 18. 1. 2013.)

Kwak, D.A., Lee, W.K., Cho, H.K. 2007. Estimation of LAI using LIDAR remote sensing in forest. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12–14, 2007, Finland: 5 str.

http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W52/final_papers/Kwak_2007.pdf

(Pridobljeno 27. 12. 2011.)

Łabędzki, L. (ur.). 2011. Evapotranspiration. Rijeka, Croatia. InTech: 446 str.

Lah, A. 2007. Meritve in analiza prestreženih padavin. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Lah): 110 str.

Lange, H., Solberg, S. 2007. Leaf area index estimation using LIDAR and forest reflectance modelling of airborne hyperspectral data. *Landscape* 3: 475–478.

<http://www.skogoglandskap.no/filearchive/0300475.pdf> (Pridobljeno 26. 12. 2011.)

Lankreijer, H.J.M., Hendriks, M.J., Klaassen, W. 1993. A comparison of models simulating rainfall interception of forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 64: 187–199.

Lawrence, D.M., Thornton, P.E., Oleson, K.W., Bonan, G.B. 2007. The Partitioning of Evapotranspiration into Transpiration, Soil Evaporation, and Canopy Evaporation in a GCM: Impacts on Land-Atmosphere Interaction. *Journal of Hydrometeorology* 8: 862–880.

Lima, W.P. 1984. The hydrology of Eucalypt forests in Australia – A review. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais* 28: 11–32.

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr28/cap01.pdf> (Pridobljeno 21. 1. 2013.)

Link, T.E., Unsworth, M., Marks, D. 2004. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 124: 171–191.

Liu, S. 1997. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies. *Ecological Modelling* 99: 151–159.

Liu, W.J., Liu, W.Y., Li, P.J., Gao, L., Shen, Y.X., Wang, P.Y., Zhang, Y.P., Li, H.M. 2007. Using stable isotopes to determine sources of fog drip in a tropical seasonal rain forest of Xishuangbanna, SW China. *Agricultural and Forest Meteorology* 143: 80–91.

Lovett, G.M., Reiners, W.A., Olson, R.K. 1989. Factors controlling throughfall chemistry in a balsam fir canopy: A modeling approach. *Biogeochemistry* 8: 239–264.

Lovrenčak, F. 2007. Zgornja gozdna meja slovenskih Alp, visokih kraških planot in Prokletij. Razprave Filozofske fakultete. Znanstvenoraziskovalni inštitut Filozofske fakultete, Ljubljana: 217 str.

Lowdermilk, W.C. 1930. Influence of forest litter on run-off, percolation, and erosion. *Journal of Forestry* 28: 474–491.

http://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/ffip/Lowdermilk_WC1930JFor.pdf (Pridobljeno 3. 1. 2013.)

Manfroi, O.J., Koichiro, K., Nobuaki, T., Masakazu, S., Nakagawa, M., Nakashizuka, T., Chong, L. 2004. The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest. *Hydrological Processes* 18: 2455–2474.

Maass, J.M., Vose, J.M., Swank, W.T., Martínez-Yrizar, A. 1995. Seasonal changes of leaf area index (LAI) in a tropical deciduous forest in west Mexico. *Forest Ecology and Management* 74: 171–180.

Mall, L.P., Billore, S.K. 1974. Seasonal variation in leaf area index of a grassland community. *Proceedings of the Indian National Science Academy* 40 B (4): 430–432.

http://www.dli.gov.in/rawdataupload/upload/insa/INSA_1/20008280_430.pdf

(Pridobljeno 26. 2. 2013.)

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2002. Hidrološko izrazje. = Terminology in hydrology. *Acta hydrotechnica* 20/32: 1–326.

ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf (Pridobljeno 13. 12. 2011.)

Monteith, J.L. 1965. *Evaporation and Environment*. V: The state and movement of water in living organisms: 19th Symposia of the Society for Experimental Biology, University Press, Cambridge: 205–234.

Moore, C.J. 1976. A comparative study of radiation balance above forest and grassland. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 102: 889–899.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.49710243416/abstract> (Pridobljeno 12. 2. 2013.)

Murphy, S.R. 2010. Tropical perennial grasses – root depths, growth and water use efficiency. *PrimeFacts* 1027: 3 str.

http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/343695/Tropical-perennial-grasses-root-depths-growth-and-water-use-efficiency.pdf (Pridobljeno 4. 3. 2013.)

Mussche, S., Samson, R., Nachtergale, L., Schrijver, A.D., Lemeur, R., Lust, N. 2001. A comparison of optical and direct methods for monitoring the seasonal dynamics of leaf area index in deciduous forests. *Silva Fennica* 35: 373–384.

Nadkarni, N.M., Schaefer, D., Matelson, T.J., Solano, R. 2004. Biomass and nutrient pools of canopy and terrestrial components in a primary and a secondary montane cloud forest, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 198: 223–236.

Nakai, Y., Sakamoto, T., Terajima, T., Kitahara, H., Saito, T. 1994. Snow interception by forest canopies: weighing a conifer tree, meteorological observation and analysis by the Penman-Monteith formula. V: *Snow and Ice Covers: Interactions with the Atmosphere and Ecosystems. Proceedings of Yokohama Symposia J2 and J5, July 1993. IAHS Publ. No. 223: 227–236.*
http://iahs.info/redbooks/a223/iahs_223_0227.pdf (Pridobljeno 16. 1. 2012.)

Ódor, P., van Dort, K. 2002. Beech dead wood inhabiting bryophyte vegetation in two Slovenian forest reserves. = Mahovi na odmrlih lesnih ostankih bukve v dveh gozdnih rezervatih v Sloveniji. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 69: 155–169.
<http://www.gozdis.si/zbg1/2002/zbg1-69-6.pdf> (Pridobljeno 17. 1. 2013.)

Ovington, J.D. 1954. A Comparison of rainfall in different woodlands. *Forestry* 27: 41–53.
doi:10.1093/forestry/27.1.41

Peel, M.C., McMahon, T.A., Finlayson, B.L. 2010. Vegetation impact on mean annual evapotranspiration at a global catchment scale. *Water Resources Research* 46, W09508: 22 str.
<http://ozflux.org.au/meetings/OCEJune2012/Peel.pdf> (Pridobljeno 9. 3. 2013.)

Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. V: *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Volume 193, Issue 1032: 120–145.*
<http://www.unc.edu/courses/2007fall/geog/801/001/www/ET/Penman45.pdf>
(Pridobljeno 15. 12. 2011.)

Peper, P.J., McPherson, E.G. 1998. Comparison of five methods for estimating Leaf Area Index of Open-grown deciduous trees. *Journal of Arboriculture* 24/2: 98–111.

Pike, J.G. 1964. The estimation of annual run-off from meteorological data in a tropical climate. *Journal of Hydrology* 2: 116–123.

Pomeroy, J.W., Gray, D.M., Hedstrom, N.R., Janowicz, J.R. 2002. Physically Based Estimation of Seasonal Snow Accumulation in the Boreal Forest. V: 59th Eastern Snow conference, Stowe, Vermont: 93–108.

Pook, E.W., Moore, P.H.R., Hall, T. 1991. Rainfall interception by trees of *Pinus Radiata*, and *Eucalyptus Viminalis*, in a 1300 mm rainfall area of southeastern New South Wales: I. Gross losses and their variability. *Hydrological Processes* 5: 127–141.

Porporato, A., Daly, E., Rodriguez-Iturbe, I. 2004. Soil Water Balance and Ecosystem Response to Climate Change. *The American Naturalist* 164 (5): 625–632.

http://www.konza.ksu.edu/ramps/publications_files/Porporato%20Am%20Nat%202004.pdf

(Pridobljeno 11. 3. 2013.)

Priestley, C.H.B., Taylor, R.J. 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review* 100 (2): 81–92.

<http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/100/mwr-100-02-0081.pdf> (Pridobljeno 14. 12. 2011.)

Pypker, T.G., Bond, B.J., Unsworth, M.H. 2004. The role of epiphytes in the interception and evaporation of rainfall in old-growth Douglas-fir forests in the Pacific Northwest. V: 26th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, August 23–26, Vancouver, BC. Section 1.6. Boston, American Meteorological Society: 6 str.

<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/80040.pdf> (Pridobljeno 19. 12. 2011.)

Pypker, T.G., Bond, B.J., Link, T.E., Marks, D., Unsworth, M.H. 2005. The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 130: 113–129.

Pypker, T.G., Unsworth, M.H., Bond, B.J. 2006a. The role of epiphytes in rainfall interception by forests in the Pacific Northwest: I. Laboratory measurements of water storage. *Canadian Journal of Forest Research* 36 (4): 809–818.

Pypker, T.G., Unsworth, M.H., Bond, B.J. 2006b. The role of epiphytes in rainfall interception by forests in the Pacific Northwest: II. Field measurements at the branch and canopy scale. *Canadian Journal of Forest Research* 36 (4): 819–832.

- Qureshi, M.E., Connor, J., Kirby, M., Mainuddin, M. 2005. Integrated assessment and management of stochastic water resources in the Murray Darling Basin. V: Australian Agricultural and Resource Economics Society' 2005 Conference (49th), February 9–11, Coff's Harbour, Australia: 26 str.
http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/137944/2/2005_qureshi.pdf (Pridobljeno 14. 3. 2013.)
- Raupach, M.R., Kirby, J.M., Barrett, D.J., Briggs, P.R., Lu, H., Zhang, L. 2001. Balances of Water, Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Australian Landscapes: (2) Model Formulation and Testing. Technical report 40/01. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology – CSIRO Land and Water: 70 str.
<http://www.anra.gov.au/topics/soils/pubs/national/biotechreportb10.pdf> (Pridobljeno 14. 3. 2013.)
- Rich, P.M., Wood, J., Vieglais, D.A., Burek, K., Webb, N. 1999. Hemiview User Manual. Delta-T Devices Ltd: 79 str.
ftp://ftp.dynamax.com/manuals/HemiView_Manual.pdf (Pridobljeno 8. 8. 2012.)
- Roth, B.E., Slatton, K.C., Cohen, M.J. 2007. On the potential for high-resolution lidar to improve rainfall interception estimates in forest ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 (8): 421–428.
- Running, S.W., Baldocchi, D.D., Turner, D.P., Gower, S.T., Bakwin, P.S., Hibbard, K.A. 1999. A Global Terrestrial Monitoring Network Integrating Tower Fluxes, Flask Sampling, Ecosystem Modeling and EOS Satellite Data. *Remote Sensing of Environment* 70: 108–127.
- Sankarasubramanian, A., Vogel, R.M. 2003. Hydroclimatology of the continental United States. *Geophysical Research Letters* 30 (7): 4 str.
<http://water.columbia.edu/files/2011/11/Sankar2003Hydroclimatology.pdf> (Pridobljeno 9. 3. 2013.)
- Schmugge, T.J., Kustas, W.P., Ritchie, J.C., Jackson, T.J., Rango, A. 2002. Remote sensing in hydrology. *Advances in Water Resources* 25: 1367–1385.
- Scholl, M., Eugster, W., Burkard, R. 2010. Understanding the role of fog in forest hydrology: Stable isotopes as tools for determining input and partitioning of cloud water in montane forests. *Hydrological Processes* 25: 353–366.
- Schulze, E.D., Küppers, M. 1979. Short-term and long-term effects of plant water deficits on stomatal response to humidity in *Corylus avellana* L. *Planta* 24: 319–326.

Scurlock, J.M.O., Asner, G.P., Gower, S.T. 2001. Worldwide historical estimates of Leaf Area Index, 1932–2000. ORNL Technical Memorandum ORNL/TM-2001/268. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn: 40 str.

Serreze, M.C. 2011. Introduction to Hydrology. Class Notes – Set 9. The University of Colorado: 45 str.

http://www.colorado.edu/geography/class_homepages/geog_3511_s11/ (Pridobljeno 10. 3. 2013.)

Smith, S. 2013. How does wind speed affect evaporation?. eHow.

http://www.ehow.com/how-does_5009327_wind-speed-affect-evaporation.html

(Pridobljeno 26.5.2013.)

Smolej, I. 1988. Gozdna hidrologija. V: Rejic, M., Smolej, I. Sladkovodni ekosistemi, varstvo voda in gozdna hidrologija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, VTOZD za gozdarstvo: str. 187–225.

Sonnentag, O., Talbot, J., Chen, J.M., Roulet, N.T. 2007. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. *Agricultural and Forest Meteorology* 144: 200–212.

Specht, R.L., Specht, A. 1989. Canopy structure in Eucalyptus-dominated communities in Australia along climatic gradients. *Acta Oecologica* 10 (2): 191–213.

Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. 2012. Crop yield response to water. *FAO Irrigation and drainage paper* 66: 246–295.

<http://www.fao.org/docrep/016/i2800e/i2800e00.htm> (Pridobljeno 25. 2. 2013.)

Stenberg, P., Linder, S., Smolander, H., Flower-Ellis, J. 1994. Performance of the LAI-2000 plant canopy analyzer in estimating leaf area index of some Scots pine stands. *Tree Physiology* 14: 981–995.

Stone, E.L., Kalisz, P.J. 1991. On the maximum extent of roots. *Forest Ecology and Management* 46: 59–102.

<http://soilslab.cfr.washington.edu/publications/Stone&Kalicz-1991.pdf> (Pridobljeno 12. 2. 2013.)

Storck, P., Lettenmaier, D.P., Bolton, S.M. 2002. Measurement of snow interception and canopy effects on snow accumulation and melt in a mountainous maritime climate, Oregon, United States. *Water resources research* 38: 16 str.

http://www.cof.orst.edu/cof/fe/watershd/fe538/SnowHydrologyModule/storck_et_al_snow_interception_WRR02.pdf (Pridobljeno 13. 11. 2011.)

Šraj, M. 2003a. Določanje indeksa listne površine listnatega gozda na povodju Dragonje – 1.del: Metode in meritve. = Estimating Leaf Area Index of the Deciduous Forest in the Dragonja Watershed – Part I: Methods and Measuring. *Acta hydrotechnica* 21/35: 105–128.

Šraj, M. 2003b. Merjenje in modeliranje prestreženih padavin. V: Kuhar, M. (ur.). *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2003: zbornik predavanj*, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana: 11 str.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2004/SZGG_04_Sraj.pdf (Pridobljeno 20. 11. 2011.)

Šraj, M. 2003c. Modeliranje in merjenje prestreženih padavin. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Šraj): 236 f.

Šraj, M. 2008. Measurements of single elements of the forest hydrological cycle. V: *Savjetovanje. Hidrološka mjerenja i obrada podataka: Nacionalni park Plitvička jezera 26. – 28. Studeni 2008*: 8 str.

http://www.hhd.hr/fileovi/publikacije_drustva/zbornici/z_2008_plitvice/plitvice_01.pdf

(Pridobljeno 5. 1. 2012.)

Šraj, M. 2009. Prestrežene padavine: meritve in analiza. *Geografski vestnik* 81 (1): 99–111.

Teixeira, A.H. de C. 2010. Determining Regional Actual Evapotranspiration of Irrigated Crops and Natural Vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) Using Remote Sensing and Penman-Monteith Equation. *Remote Sensing* 2: 1287–1319.

www.mdpi.com/2072-4292/2/5/1287/pdf (Pridobljeno 15. 12. 2011.)

Teklehaimanot, Z., Jarvis, P.J., Ledger, D.C. 1991. Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. *Journal of Hydrology* 123: 261–278.

Tobin, B., Black, K., Osborne, B., Reidy, B., Bolger, T., Nieuwenhuis, M. 2006. Assessment of allometric algorithms for estimating leaf biomass, leaf area index and litter fall in different-aged Sitka spruce forests. *Forestry* 79: 453–465.

Troendle, C.A., Nankervis, J.M., Peavy, A. 2007. The Herger-Feinstein Quincy Library Group Project – Impacts of Vegetation Management on Water Yield. Final Report: 23 str.

http://www.fs.fed.us/r5/hfqlg/monitoring/resource_reports/hydrology_and_fisheries/Water_Yield_Full_Report_Feb242007.pdf (Pridobljeno 27. 3. 2012.)

Tsouni, A., Kontoes, C., Koutsoyiannis, D., Elias, P., Mamassis, N. 2008. Estimation of Actual Evapotranspiration by Remote Sensing: Application in Thessaly Plain, Greece. *Sensors* 8: 3586–3600.

Turner, K.M. 1991. Annual Evapotranspiration of Native Vegetation in a Mediterranean-Type Climate. *Journal of the American Water Resources Association* 27: 1–6.

Turner, D.P., Acker, S.A., Means, J.E., Garman, S.L. 2000. Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands. *Forest Ecology and Management* 126: 61–76.

Twine, T.E., Kucharik, C.J., Foley, J.A. 2004. Effects of land cover change on the energy and water balance of the Mississippi River Basin. *Journal of Hydrometeorology* 5: 640–655.

<http://www.sage.wisc.edu/pubs/articles/M-Z/Twine/Twine2004JHydroMet.pdf>
(Pridobljeno 25. 3. 2013.)

Ufoegbune, G.C., Ogunyemi, O., Eruola, A.O., Awomeso, J.A. 2010. Variation of interception loss with different plant species at the University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology* 4: 831–844.

<http://www.ajol.info/index.php/ajest/article/viewFile/71358/60311> (Pridobljeno 16. 11. 2011.)

Vertessy, R.A., Benyon, R.G., O' Sullivan, S.K., Gribben, P.R. 1995. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology* 15: 559–567.

Vertessy, R.A., Watson, F.G.R., O' Sullivan, S.K. 2001. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. *Forest Ecology and Management* 143: 13–26.

doi:10.1016/S0378-1127(00)00501-6

Vilhar, B. 2013. Korenina. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 14 str.

<http://botanika.biologija.org/zeleni-skrat/student/BSc-Bio/gradivo/Bio-P06-Korenina-izrocki.pdf>
(Pridobljeno 4. 3. 2013.)

Vinukollu, R.K., Wood, E.F., Ferguson, C.R., Fisher, J.B. 2011. Global estimates of evapotranspiration for climate studies using multi-sensor remote sensing data: Evaluation of three process-based approaches. *Remote Sensing of Environment* 115: 801–823.

Vreča, P., Brenčič, M. 2008. Izotopska sestava padavin v Sloveniji in njen pomen za raziskave kroženja vode. V: Kuhar, M. (ur.). *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2008: zbornik predavanj*, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana: 12 str.

http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2009/SZGG09_Vreca_Brencic.pdf (Pridobljeno 15. 11. 2011.)

Zhang, G.H., Fu, S.H., Fang, W.H., Imura, H., Zhang, X.C. 2007. Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River basin of China. *Transactions of the ASABE* 50 (3): 911–918.

<http://naldc.nal.usda.gov/download/10743/PDF> (Pridobljeno 16. 3. 2013.)

Zhang, J., Jiang, J., Liu, D., DeAngelis, D.L. 2009. Vegetation coverage influence on rainfall-runoff relation based on wavelet analysis. *Journal of American Science* 5: 97–104.

Zhang, L., Dawes, W.R., Hatton, T.J. 1996. Modelling hydrologic processes using a biophysically based model – application of WAVES to FIFE and HAPEX-MOBILHY. *Journal of Hydrology* 185: 147–169.

Zhang, L., Dawes, W.R., Walker, G.R. 1999. Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance. Technical report 99/12. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology – CSIRO Land and Water: 42 str.

<http://www.catchment.crc.org.au/pdfs/technical199912.pdf> (Pridobljeno 18. 11. 2011.)

Zhang, L., Dawes, W.R., Walker, G.R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research* 37 (3): 701–708.

<ftp://ftp.biosfera.dea.ufv.br/users/francisca/Franciz/papers/Zhang%20et%20al.%20WRR%202001.pdf> (Pridobljeno 12. 1. 2013.)

Zhang, L., Dowling, T., Hocking, M., Morris, J., Adams, G., Hickel, K., Best, A., Vertessy, R. 2003a. Modelling the Effects of Large-Scale Plantation on Streamflow and Water Allocation: A Case Study for the Goulburn-Broken Catchments. V: *Proceedings of MODSIM 2003*, Townsville, 14–17 July 2003: p. 702–707.

http://www.mssanz.org.au/MODSIM03/Volume_02/A13/08_Zhang.pdf (Pridobljeno 12. 3. 2013.)

Zhang, L., Dowling, T., Hocking, M., Morris, J., Adams, G., Hickel, K., Best, A., Vertessy, R. 2003b. Predicting the effects of large-scale afforestation on annual flow regime and water allocation: An example for the Goulburn-Broken catchments. Technical report 03/5. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology – CSIRO Land and Water: 26 str.

<http://www.catchment.crc.org.au/pdfs/technical200305.pdf> (Pridobljeno 11. 3. 2013.)

Zheng, G., Moskal, L.M. 2009. Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. *Sensors* 9: 2719–2745.

Walker, D.A., Epstein, H.E., Jia, G.J., Balser, A., Copass, C., Edwards, E.J., Gould, W.A., Hollingsworth, J., Knudson, J., Maier, H.A., Moody, A., Reynolds, M.K. 2003. Phytomass, LAI, and NDVI in northern Alaska: Relationships to summer warmth, soil pH, plant functional types, and extrapolation to the circumpolar Arctic. *Journal of Geophysical Research* 108: 15 str.

http://www.geobotany.uaf.edu/library/pubs/WalkerDA2003_jgr_108_8169.pdf

(Pridobljeno 24. 12. 2011.)

Walter, J-M.N. 2009. CIMES – Fisheye. Université de Strasbourg: 5 str.

<http://jmnw.free.fr/> (Pridobljeno 2. 8. 2012.)

Weiβ, M., Menzel, L. 2008. A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modelling in semi-arid environments. *Advances in Geosciences* 18: 15–23.

Weiss, M., Baret, F. 2010. CAN-EYE V6.1 – User manual. INRA (French National Institute of Agricultural Research): 47 str.

<http://www4.paca.inra.fr/can-eye/Download> (Pridobljeno 28. 7. 2012.)

Williams, L.E. 2010. Potential vineyard evapotranspiration (ET) due to global warming: Comparison of vineyard ET at three locations in California differing in mean seasonal temperatures. V: XVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for people: International Symposium on the Effect of Climate Change on Production and Quality of Grapevines and their Products: 7 str.

<http://www.ucanr.edu/seek/profileFiles.cfm?filenum=126> (Pridobljeno 26. 2. 2013.)

Williams, M.B. 2004. Investigating the contribution of stemflow to the hydrology of a forest catchment. Bachelor of Science in Environmental Science. University of Southampton: 52 str.

[http://www.forestry.gov.uk/pdf/Measuring_stemflow_dissertation_Williams_2004.pdf/\\$FILE/Measuring_stemflow_dissertation_Williams_2004.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/Measuring_stemflow_dissertation_Williams_2004.pdf/$FILE/Measuring_stemflow_dissertation_Williams_2004.pdf) (Pridobljeno 2. 12. 2011.)

Wright, J.L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of the Irrigation and the Drainage Division. American Society of Civil Engineers* 108 (IR2): 57–74.

Xiao, Q., McPherson, E.G., Simpson, J.R., Ustin, S.L. 1998. Rainfall interception by Sacramento's urban forest. *Journal of Arboriculture* 24: 235–244.

Xiao, Q., McPherson, E.G., Ustin, S.L., Grismer, M.E. 2000a. A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research* 105: 173–188.

Yang, H., Yang, D., Lei, Z., Sun, F. 2008. New analytical derivation of the mean annual water-energy balance equation. *Water Resources Research* 44, W03410: 9 str.

<http://www.chincold.org.cn/chincold/rootfiles/2011/05/20/1304576729397814-1305874580966420.pdf> (Pridobljeno 10. 3. 2013.)

Yoshida, N., Matsubaya, O., Sugimoto, A. et al. 2002. *Hydrogen and Oxygen Isotopes in Hydrology: The Textbook for the Eleventh IHP Training Course in 2001*. Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University: 291 str.

<http://precip.hyarc.nagoya-u.ac.jp/18ihp-dwnld/11th/11thIHPtextbook.pdf> (Pridobljeno 28. 11. 2011.)

8.2 Ostali viri

ArcGIS. 2013. Corine Land Cover Europe (2006). ArcGis Online. eea_user. (Pridobljeno 23.2.2013.)

ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje). 2011. Površina gozda.

http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=356 (Pridobljeno 24.11.2011.)

ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje). 2013a. Spletna objektna storitev (WFS) za izdajanje okoljskih prostorskih podatkov.

http://gis.arso.gov.si/wfs_web/faces/WFSLayersList.jspx (Pridobljeno 30.1.2013.)

ARSO (Agencija Republike Slovenije za okolje). 2013b. Osnovni geografski parametri vodomernih postaj. = Basic geographical parameters of water gauging stations.

www.arso.gov.si/vode/.../vodna%20bilanca/Preglednica_09.xls (Pridobljeno 15.3.2013.)

CIAT. 2004. Void-filled seamless SRTM data V1. CIAT (International Centre for Tropical Agriculture).

<http://srtm.csi.cgiar.org/> (Pridobljeno 15.4.2013.)

CLC (Corine Land Cover). 2013. CORINE Land Cover nomenclature conversion to Land Cover Classification system: 6 str.

http://www.igeo.pt/gdr/pdf/CLC2006_nomenclature_addendum.pdf (Pridobljeno 26.2.2013.)

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. State of the world's forests.

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/y0900e/> (Pridobljeno 24.11.2011.)

ForestFacts.org. 2012. What is the effect of forests on rainfall.

http://www.forestfacts.org/l_3/forests_5.htm#1p1 (Pridobljeno 28.12.2012.)

LI-COR, 2010. LAI-2200 Plant Canopy Analyzer. Nebraska, ZDA: 6 str.

http://www.licor.com/env/pdf/area_meters/LAI-2200_brochure.pdf (Pridobljeno 24.12.2011.)

NEO (NASA Earth Observatory). 2012. Water Cycle.

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Water/images/water_cycle.jpg (Pridobljeno 26.12.2012.)

NEO (Nasa Earth Observatory). 2013. Weighing Earth's Water from Space.

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/WeighingWater/> (Pridobljeno 29.4.2013.)

Počasi-Hrušová. 2013. Soukromá meteorologická stanice Hrušová.

<http://pocasi-hrusova.cz/hrusova/foto/index.php> (Pridobljeno 20.5.2013)

Roger Griffith. 2013. Cadzow ancient oak with epiphytic fir tree, Lanarkshire, Scotland.

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cadzow_oak_epiphyte_2.JPG (Pridobljeno 18.1.2013.)

SFU (Hydrology Group at Simon Fraser University). 2013. Research page.

<http://www.sfu.ca/~ilja/research.html> (Pridobljeno 26.5.2013.)

UC (University of California). 2013. Crop Rooting Depth.

http://ucanr.edu/sites/Drought/Agriculture/Irrigation_Scheduling/Evapotranspiration_Scheduling_ET/Frequency_of_Irrigation/Crop_Rooting_Depth/ (Pridobljeno 4.3.2013.)

WHOI (Woods Hole Oceanographic Institution). 2012. Water Cycle.

<http://www.whoi.edu/main/topic/water-cycle> (Pridobljeno 20.12.2012.)

Wikipedia. 2013. Water cycle.

http://en.wikipedia.org/wiki/Water_cycle (Pridobljeno 3.4.2013.)

WMO (World Meteorological Organization). 1994. Guide to hydrological practices: Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. Fifth edition. WMO-No. 168: 739 str.

SEZNAM PRILOG

**PRILOGA A: VELIKOST DELEŽEV POSAMEZNIH SKUPIN VEGETACIJE NA
OBRAVNAVANIH HIDROMETRIČNIH ZALEDJIH**

PRILOGA A.1: VELIKOST DELEŽEV POSAMEZNIH SKUPIN VEGETACIJE NA OBRAVNAVANIH HIDROMETRIČNIH ZALEDJIH

#	Šifra	Vodotok	Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine vegetacije (dve vrsti) [%]	Delež površine vegetacije (tri vrste) [%]		
1	1100	Kučnica	Gozd	35,32	38,71	35,99		
			Mešana vegetacija	5,34			-	5,44
			Ostala površina	1,87			-	-
			Trava	57,47			61,29	58,56
			Skupaj	100,00				
2	1140	Ščavnica	Gozd	27,73	33,16	28,76		
			Mešana vegetacija	8,48			-	8,80
			Ostala površina	3,61			-	-
			Trava	60,19			66,84	62,44
			Skupaj	100,00				
3	1150	Turja	Gozd	27,01	35,97	27,01		
			Mešana vegetacija	17,93			-	17,93
			Ostala površina	0,00			-	-
			Trava	55,06			64,03	55,06
			Skupaj	100,00				
4	1165	Ledava	Gozd	38,55	42,99	39,05		
			Mešana vegetacija	7,79			-	7,89
			Ostala površina	1,28			-	-
			Trava	52,38			57,01	53,06
			Skupaj	100,00				
5	1220	Ledava	Gozd	30,96	35,74	31,41		
			Mešana vegetacija	8,53			-	8,65
			Ostala površina	1,44			-	-
			Trava	59,07			64,26	59,93
			Skupaj	100,00				
6	1260	Ledava	Gozd	25,69	30,71	27,26		
			Mešana vegetacija	6,51			-	6,91
			Ostala površina	5,77			-	-
			Trava	62,04			69,29	65,84
			Skupaj	100,00				
7	1300	Martjanski potok	Gozd	35,42	38,95	35,67		
			Mešana vegetacija	6,51			-	6,56
			Ostala površina	0,71			-	-
			Trava	57,37			61,05	57,78
			Skupaj	100,00				
8	1310	Kobiljski potok	Gozd	44,70	46,80	45,21		
			Mešana vegetacija	3,14			-	3,17
			Ostala površina	1,14			-	-
			Trava	51,03			53,20	51,61
			Skupaj	100,00				
9	1350	Velika Krka	Gozd	44,82	47,70	44,97		
			Mešana vegetacija	5,43			-	5,45
			Ostala površina	0,35			-	-
			Trava	49,41			52,30	49,58
			Skupaj	100,00				
10	16980		Gozd	82,17	87,14	82,70		
			Mešana vegetacija	8,82			-	8,87
			Ostala površina	0,64			-	-
			Trava	8,37			12,86	8,43
			Skupaj	100,00				
11	2220	Meža	Gozd	79,65	81,71	80,38		
			Mešana vegetacija	2,64			-	2,66
			Ostala površina	0,91			-	-
			Trava	16,80			18,29	16,96
			Skupaj	100,00				

12	2250	Meža	Gozd	65,49	77,43	67,29
			Mešana vegetacija	19,73	-	20,27
			Ostala površina	2,67	-	-
			Trava	12,10	22,57	12,44
			Skupaj	100,00		
13	2370	Mislinja	Gozd	79,64	81,19	80,66
			Mešana vegetacija	1,06	-	1,08
			Ostala površina	1,26	-	-
			Trava	18,04	18,81	18,27
			Skupaj	100,00		
14	2390	Mislinja	Gozd	55,78	64,69	57,69
			Mešana vegetacija	13,52	-	13,99
			Ostala površina	3,33	-	-
			Trava	27,38	35,31	28,32
			Skupaj	100,00		
15	2420	Suhodolnica	Gozd	66,28	71,26	66,49
			Mešana vegetacija	9,52	-	9,55
			Ostala površina	0,32	-	-
			Trava	23,89	28,74	23,97
			Skupaj	100,00		
16	2530	Radoljna	Gozd	82,28	87,70	84,54
			Mešana vegetacija	6,16	-	6,33
			Ostala površina	2,67	-	-
			Trava	8,89	12,30	9,13
			Skupaj	100,00		
17	2600	Dravinja	Gozd	68,66	70,03	69,26
			Mešana vegetacija	1,53	-	1,54
			Ostala površina	0,87	-	-
			Trava	28,94	29,97	29,20
			Skupaj	100,00		
18	2640	Dravinja	Gozd	51,10	57,52	52,73
			Mešana vegetacija	9,30	-	9,59
			Ostala površina	3,09	-	-
			Trava	36,52	42,48	37,68
			Skupaj	100,00		
19	2652	Dravinja	Gozd	46,38	56,07	47,27
			Mešana vegetacija	17,27	-	17,60
			Ostala površina	1,90	-	-
			Trava	34,46	43,93	35,13
			Skupaj	100,00		
20	2670	Oplotnica	Gozd	59,02	62,14	59,86
			Mešana vegetacija	4,49	-	4,55
			Ostala površina	1,40	-	-
			Trava	35,09	37,86	35,59
			Skupaj	100,00		
21	2720	Rogatnica	Gozd	60,50	69,70	60,74
			Mešana vegetacija	17,86	-	17,93
			Ostala površina	0,39	-	-
			Trava	21,25	30,30	21,33
			Skupaj	100,00		
22	2754	Polskava	Gozd	31,42	37,37	33,17
			Mešana vegetacija	7,96	-	8,40
			Ostala površina	5,29	-	-
			Trava	55,34	62,63	58,43
			Skupaj	100,00		
23	2830	Pesnica	Gozd	25,26	38,16	25,72
			Mešana vegetacija	24,44	-	24,88
			Ostala površina	1,78	-	-
			Trava	48,51	61,84	49,39
			Skupaj	100,00		

24	2880	Pesnica	Gozd	18,50	26,27	18,87
			Mešana vegetacija	14,50	-	14,79
			Ostala površina	1,98	-	-
			Trava	65,03	73,73	66,34
			Skupaj	100,00		
25	2900	Pesnica	Gozd	23,87	31,52	24,23
			Mešana vegetacija	14,35	-	14,56
			Ostala površina	1,50	-	-
			Trava	60,29	68,48	61,20
			Skupaj	100,00		
26	3015	Sava Dolinka	Gozd	55,00	69,97	63,54
			Mešana vegetacija	11,13	-	12,86
			Ostala površina	13,44	-	-
			Trava	20,42	30,03	23,59
			Skupaj	100,00		
27	3060	Sava Dolinka	Gozd	65,41	79,32	74,57
			Mešana vegetacija	8,33	-	9,50
			Ostala površina	12,29	-	-
			Trava	13,97	20,68	15,93
			Skupaj	100,00		
28	3100	Bistrica	Gozd	31,17	61,44	51,09
			Mešana vegetacija	12,63	-	20,70
			Ostala površina	38,99	-	-
			Trava	17,21	38,56	28,21
			Skupaj	100,00		
29	3180	Radovna	Gozd	72,05	83,86	81,97
			Mešana vegetacija	3,31	-	3,77
			Ostala površina	12,10	-	-
			Trava	12,53	16,14	14,26
			Skupaj	100,00		
30	3200	Sava Bohinjka	Gozd	44,24	63,66	59,95
			Mešana vegetacija	5,46	-	7,40
			Ostala površina	26,21	-	-
			Trava	24,09	36,34	32,64
			Skupaj	100,00		
31	3220	Sava Bohinjka	Gozd	76,81	83,61	78,86
			Mešana vegetacija	9,26	-	9,51
			Ostala površina	2,59	-	-
			Trava	11,33	16,39	11,63
			Skupaj	100,00		
32	3250	Sava Bohinjka	Gozd	78,49	85,67	81,44
			Mešana vegetacija	8,15	-	8,45
			Ostala površina	3,62	-	-
			Trava	9,74	14,33	10,11
			Skupaj	100,00		
33	3465	Sava	Gozd	59,55	70,47	64,88
			Mešana vegetacija	10,28	-	11,20
			Ostala površina	8,21	-	-
			Trava	21,96	29,53	23,93
			Skupaj	100,00		
34	3530	Sava	Gozd	54,58	63,05	59,53
			Mešana vegetacija	6,46	-	7,04
			Ostala površina	8,32	-	-
			Trava	30,64	36,95	33,43
			Skupaj	100,00		
35	3650	Sava	Gozd	47,31	60,35	56,12
			Mešana vegetacija	7,12	-	8,44
			Ostala površina	15,71	-	-
			Trava	29,86	39,65	35,43
			Skupaj	100,00		

36	3725	Sava	Gozd	70,78	79,87	73,40
			Mešana vegetacija	12,48	-	12,94
			Ostala površina	3,57	-	-
			Trava	13,17	20,13	13,65
			Skupaj	100,00		
37	3850	Sava	Gozd	49,26	58,21	51,37
			Mešana vegetacija	13,11	-	13,67
			Ostala površina	4,11	-	-
			Trava	33,52	41,79	34,96
			Skupaj	100,00		
38	4050	Tržiška Bistrica	Gozd	75,95	87,16	83,63
			Mešana vegetacija	6,40	-	7,05
			Ostala površina	9,18	-	-
			Trava	8,46	12,84	9,32
			Skupaj	100,00		
39	4120	Kokra	Gozd	75,61	87,16	86,25
			Mešana vegetacija	1,60	-	1,83
			Ostala površina	12,34	-	-
			Trava	10,45	12,84	11,92
			Skupaj	100,00		
40	4215	Poljanska Sora	Gozd	63,48	71,55	63,48
			Mešana vegetacija	16,13	-	16,13
			Ostala površina	0,00	-	-
			Trava	20,39	28,45	20,39
			Skupaj	100,00		
41	4239	Poljanska Sora	Gozd	67,56	77,99	68,19
			Mešana vegetacija	19,42	-	19,60
			Ostala površina	0,93	-	-
			Trava	12,10	22,01	12,21
			Skupaj	100,00		
42	4270	Selška Sora	Gozd	81,01	86,35	81,19
			Mešana vegetacija	10,31	-	10,33
			Ostala površina	0,22	-	-
			Trava	8,46	13,65	8,48
			Skupaj	100,00		
43	4298	Selška Sora	Gozd	76,94	82,56	77,50
			Mešana vegetacija	10,05	-	10,12
			Ostala površina	0,73	-	-
			Trava	12,29	17,44	12,38
			Skupaj	100,00		
44	4400	Kamniška Bistrica	Gozd	56,08	72,72	66,53
			Mešana vegetacija	10,43	-	12,37
			Ostala površina	15,71	-	-
			Trava	17,78	27,28	21,10
			Skupaj	100,00		
45	4480	Nevljica	Gozd	71,89	80,54	72,20
			Mešana vegetacija	16,60	-	16,67
			Ostala površina	0,43	-	-
			Trava	11,08	19,46	11,12
			Skupaj	100,00		
46	4520	Rača	Gozd	51,97	61,26	53,40
			Mešana vegetacija	15,30	-	15,72
			Ostala površina	2,68	-	-
			Trava	30,05	38,74	30,88
			Skupaj	100,00		
47	4570	Pšata	Gozd	45,50	53,25	47,89
			Mešana vegetacija	10,17	-	10,71
			Ostala površina	4,98	-	-
			Trava	39,34	46,75	41,40
			Skupaj	100,00		

48	4630	Medija	Gozd	63,07	71,20	65,25
			Mešana vegetacija	11,52	-	11,91
			Ostala površina	3,33	-	-
			Trava	22,08	28,80	22,84
			Skupaj	100,00		
49	4650	Sopota	Gozd	68,16	71,01	68,16
			Mešana vegetacija	5,70	-	5,70
			Ostala površina	0,00	-	-
			Trava	26,13	28,99	26,13
			Skupaj	100,00		
50	4660	Mirna	Gozd	57,05	62,34	57,34
			Mešana vegetacija	9,95	-	10,00
			Ostala površina	0,50	-	-
			Trava	32,49	37,66	32,65
			Skupaj	100,00		
51	4695	Mirna	Gozd	58,50	64,30	58,86
			Mešana vegetacija	10,81	-	10,88
			Ostala površina	0,61	-	-
			Trava	30,08	35,70	30,26
			Skupaj	100,00		
52	4705	Sevnična	Gozd	66,84	74,57	67,15
			Mešana vegetacija	14,77	-	14,84
			Ostala površina	0,46	-	-
			Trava	17,93	25,43	18,02
			Skupaj	100,00		
53	4710	Sotla	Gozd	64,14	73,49	64,57
			Mešana vegetacija	17,72	-	17,84
			Ostala površina	0,66	-	-
			Trava	17,48	26,51	17,59
			Skupaj	100,00		
54	4740	Sotla	Gozd	28,63	40,46	29,04
			Mešana vegetacija	22,51	-	22,83
			Ostala površina	1,42	-	-
			Trava	47,45	59,54	48,13
			Skupaj	100,00		
55	4760	Mestinjščica	Gozd	24,42	33,67	24,69
			Mešana vegetacija	17,75	-	17,95
			Ostala površina	1,11	-	-
			Trava	56,72	66,33	57,36
			Skupaj	100,00		
56	4790	Bistrica	Gozd	50,77	60,53	50,91
			Mešana vegetacija	19,19	-	19,24
			Ostala površina	0,27	-	-
			Trava	29,77	39,47	29,85
			Skupaj	100,00		
57	4820	Kolpa	Gozd	92,42	95,02	92,56
			Mešana vegetacija	4,90	-	4,91
			Ostala površina	0,15	-	-
			Trava	2,52	4,98	2,53
			Skupaj	100,00		
58	4840	Kolpa	Gozd	84,20	88,64	85,50
			Mešana vegetacija	6,20	-	6,29
			Ostala površina	1,52	-	-
			Trava	8,09	11,36	8,21
			Skupaj	100,00		
59	4860	Kolpa	Gozd	64,02	72,69	65,12
			Mešana vegetacija	14,88	-	15,13
			Ostala površina	1,69	-	-
			Trava	19,41	27,31	19,74
			Skupaj	100,00		

60	4970	Lahinja	Gozd	71,06	75,61	72,18
			Mešana vegetacija	6,75	-	6,86
			Ostala površina	1,56	-	-
			Trava	20,63	24,39	20,96
			Skupaj	100,00		
61	5040	Ljubljana	Gozd	69,11	74,77	70,64
			Mešana vegetacija	8,07	-	8,25
			Ostala površina	2,17	-	-
			Trava	20,65	25,23	21,11
			Skupaj	100,00		
62	5080	Ljubljana	Gozd	43,71	52,85	49,28
			Mešana vegetacija	6,33	-	7,14
			Ostala površina	11,31	-	-
			Trava	38,65	47,15	43,58
			Skupaj	100,00		
63	5330	Borovniščica	Gozd	81,76	83,51	82,03
			Mešana vegetacija	2,96	-	2,97
			Ostala površina	0,32	-	-
			Trava	14,96	16,49	15,01
			Skupaj	100,00		
64	5420	Iška	Gozd	88,40	90,85	88,40
			Mešana vegetacija	4,91	-	4,91
			Ostala površina	0,00	-	-
			Trava	6,69	9,15	6,69
			Skupaj	100,00		
65	5500	Gradaščica	Gozd	70,00	81,42	70,33
			Mešana vegetacija	22,08	-	22,19
			Ostala površina	0,46	-	-
			Trava	7,45	18,58	7,48
			Skupaj	100,00		
66	5540	Šujica	Gozd	60,03	67,07	60,87
			Mešana vegetacija	12,23	-	12,40
			Ostala površina	1,38	-	-
			Trava	26,36	32,93	26,73
			Skupaj	100,00		
67	5770	Cerkniščica	Gozd	68,32	76,60	68,99
			Mešana vegetacija	15,08	-	15,22
			Ostala površina	0,97	-	-
			Trava	15,63	23,40	15,79
			Skupaj	100,00		
68	5840	Nanoščica	Gozd	33,21	40,91	33,77
			Mešana vegetacija	14,04	-	14,28
			Ostala površina	1,66	-	-
			Trava	51,09	59,09	51,95
			Skupaj	100,00		
69	6020	Savinja	Gozd	70,94	85,91	83,20
			Mešana vegetacija	4,62	-	5,41
			Ostala površina	14,73	-	-
			Trava	9,71	14,09	11,38
			Skupaj	100,00		
70	6060	Savinja	Gozd	67,66	74,97	70,12
			Mešana vegetacija	9,36	-	9,70
			Ostala površina	3,51	-	-
			Trava	19,48	25,03	20,18
			Skupaj	100,00		
71	6068	Savinja	Gozd	67,53	73,79	68,45
			Mešana vegetacija	10,53	-	10,67
			Ostala površina	1,35	-	-
			Trava	20,60	26,21	20,88
			Skupaj	100,00		

72	6140	Savinja	Gozd	41,73	49,14	45,52
			Mešana vegetacija	6,63	-	7,24
			Ostala površina	8,34	-	-
			Trava	43,31	50,86	47,24
			Skupaj	100,00		
73	6210	Savinja	Gozd	49,88	60,84	52,70
			Mešana vegetacija	15,41	-	16,28
			Ostala površina	5,35	-	-
			Trava	29,36	39,16	31,02
			Skupaj	100,00		
74	6220	Lučnica	Gozd	66,85	75,52	71,86
			Mešana vegetacija	6,80	-	7,31
			Ostala površina	6,98	-	-
			Trava	19,37	24,48	20,82
			Skupaj	100,00		
75	6240	Dreta	Gozd	70,85	76,53	71,02
			Mešana vegetacija	11,00	-	11,03
			Ostala površina	0,23	-	-
			Trava	17,91	23,47	17,96
			Skupaj	100,00		
76	6280	Paka	Gozd	65,33	70,03	67,08
			Mešana vegetacija	5,75	-	5,90
			Ostala površina	2,61	-	-
			Trava	26,31	29,97	27,02
			Skupaj	100,00		
77	6300	Paka	Gozd	55,72	65,17	64,15
			Mešana vegetacija	1,77	-	2,04
			Ostala površina	13,14	-	-
			Trava	29,37	34,83	33,81
			Skupaj	100,00		
78	6340	Paka	Gozd	56,02	61,96	57,28
			Mešana vegetacija	9,17	-	9,37
			Ostala površina	2,19	-	-
			Trava	32,62	38,04	33,35
			Skupaj	100,00		
79	6550	Bolska	Gozd	62,98	69,65	63,97
			Mešana vegetacija	11,18	-	11,36
			Ostala površina	1,56	-	-
			Trava	24,28	30,35	24,67
			Skupaj	100,00		
80	6630	Ložnica	Gozd	48,61	51,76	49,62
			Mešana vegetacija	4,18	-	4,27
			Ostala površina	2,05	-	-
			Trava	45,16	48,24	46,11
			Skupaj	100,00		
81	6690	Voglajna	Gozd	37,14	50,56	37,80
			Mešana vegetacija	25,07	-	25,51
			Ostala površina	1,75	-	-
			Trava	36,04	49,44	36,68
			Skupaj	100,00		
82	6720	Voglajna	Gozd	41,97	50,22	43,49
			Mešana vegetacija	13,00	-	13,47
			Ostala površina	3,49	-	-
			Trava	41,55	49,78	43,05
			Skupaj	100,00		
83	6760	Slomski potok	Gozd	32,81	40,98	32,98
			Mešana vegetacija	15,92	-	16,00
			Ostala površina	0,51	-	-
			Trava	50,76	59,02	51,02
			Skupaj	100,00		

84	6770	Hudinja	Gozd	62,62	66,05	62,86
			Mešana vegetacija	6,34	-	6,37
			Ostala površina	0,38	-	-
			Trava	30,65	33,95	30,77
			Skupaj	100,00		
85	6790	Hudinja	Gozd	53,65	61,60	54,46
			Mešana vegetacija	14,08	-	14,30
			Ostala površina	1,49	-	-
			Trava	30,78	38,40	31,25
			Skupaj	100,00		
86	6835	Gračnica	Gozd	51,96	60,90	51,99
			Mešana vegetacija	17,79	-	17,80
			Ostala površina	0,07	-	-
			Trava	30,18	39,10	30,20
			Skupaj	100,00		
87	7030	Krka	Gozd	59,49	63,60	60,66
			Mešana vegetacija	5,77	-	5,88
			Ostala površina	1,94	-	-
			Trava	32,81	36,40	33,46
			Skupaj	100,00		
88	7070	Krka	Gozd	70,44	75,05	71,26
			Mešana vegetacija	7,49	-	7,58
			Ostala površina	1,14	-	-
			Trava	20,92	24,95	21,16
			Skupaj	100,00		
89	7160	Krka	Gozd	49,44	55,01	51,10
			Mešana vegetacija	7,56	-	7,82
			Ostala površina	3,26	-	-
			Trava	39,74	44,99	41,08
			Skupaj	100,00		
90	7200	Grosupeljščica	Gozd	56,81	60,71	58,46
			Mešana vegetacija	4,38	-	4,51
			Ostala površina	2,82	-	-
			Trava	35,99	39,29	37,03
			Skupaj	100,00		
91	7220	Rašica	Gozd	62,90	64,48	62,90
			Mešana vegetacija	3,15	-	3,15
			Ostala površina	0,00	-	-
			Trava	33,95	35,52	33,95
			Skupaj	100,00		
92	7240	Višnjica	Gozd	57,11	60,81	58,45
			Mešana vegetacija	4,62	-	4,73
			Ostala površina	2,29	-	-
			Trava	35,98	39,19	36,82
			Skupaj	100,00		
93	7270	Radešca	Gozd	87,32	89,86	87,56
			Mešana vegetacija	4,60	-	4,61
			Ostala površina	0,27	-	-
			Trava	7,81	10,14	7,83
			Skupaj	100,00		
94	7310	Temenica	Gozd	54,10	56,28	54,10
			Mešana vegetacija	4,37	-	4,37
			Ostala površina	0,00	-	-
			Trava	41,53	43,72	41,53
			Skupaj	100,00		
95	7340	Prečna	Gozd	58,51	61,07	59,02
			Mešana vegetacija	4,06	-	4,09
			Ostala površina	0,86	-	-
			Trava	36,57	38,93	36,89
			Skupaj	100,00		

96	7370	Radulja	Gozd	62,38	69,04	62,38
			Mešana vegetacija	13,32	-	13,32
			Ostala površina	0,00	-	-
			Trava	24,30	30,96	24,30
			Skupaj	100,00		
97	7380	Radulja	Gozd	45,43	50,56	45,54
			Mešana vegetacija	10,02	-	10,04
			Ostala površina	0,23	-	-
			Trava	44,32	49,44	44,42
			Skupaj	100,00		
98	7440	Bistrica	Gozd	63,60	67,64	64,91
			Mešana vegetacija	5,34	-	5,45
			Ostala površina	2,02	-	-
			Trava	29,03	32,36	29,63
			Skupaj	100,00		
99	8030	Soča	Gozd	42,33	65,10	57,65
			Mešana vegetacija	10,94	-	14,89
			Ostala površina	26,57	-	-
			Trava	20,16	34,90	27,45
			Skupaj	100,00		
100	8080	Soča	Gozd	57,48	76,33	69,31
			Mešana vegetacija	11,64	-	14,04
			Ostala površina	17,06	-	-
			Trava	13,81	23,67	16,66
			Skupaj	100,00		
101	8180	Soča	Gozd	73,16	81,82	74,67
			Mešana vegetacija	14,02	-	14,31
			Ostala površina	2,02	-	-
			Trava	10,80	18,18	11,02
			Skupaj	100,00		
102	8240	Koritnica	Gozd	35,62	53,36	45,48
			Mešana vegetacija	12,35	-	15,76
			Ostala površina	21,67	-	-
			Trava	30,36	46,64	38,76
			Skupaj	100,00		
103	8270	Učja	Gozd	81,99	85,79	84,69
			Mešana vegetacija	2,13	-	2,20
			Ostala površina	3,19	-	-
			Trava	12,69	14,21	13,11
			Skupaj	100,00		
104	8330	Tolminka	Gozd	47,45	67,66	61,97
			Mešana vegetacija	8,71	-	11,38
			Ostala površina	23,43	-	-
			Trava	20,41	32,34	26,65
			Skupaj	100,00		
105	8400	Idrija	Gozd	78,87	87,51	79,57
			Mešana vegetacija	15,74	-	15,88
			Ostala površina	0,88	-	-
			Trava	4,51	12,49	4,55
			Skupaj	100,00		
106	8450	Idrija	Gozd	72,28	82,25	72,28
			Mešana vegetacija	19,93	-	19,93
			Ostala površina	0,00	-	-
			Trava	7,79	17,75	7,79
			Skupaj	100,00		
107	8455	Cerknica	Gozd	59,98	75,55	60,41
			Mešana vegetacija	30,05	-	30,27
			Ostala površina	0,72	-	-
			Trava	9,25	24,45	9,32
			Skupaj	100,00		

108	8480	Trebuša	Gozd	87,12	92,28	87,12
			Mešana vegetacija	10,31	-	10,31
			Ostala površina	0,00	-	-
			Trava	2,56	7,72	2,56
			Skupaj	100,00		
109	8500	Bača	Gozd	81,74	88,36	83,68
			Mešana vegetacija	9,14	-	9,35
			Ostala površina	2,32	-	-
			Trava	6,80	11,64	6,96
			Skupaj	100,00		
110	8560	Vipava	Gozd	81,20	85,51	81,84
			Mešana vegetacija	7,30	-	7,35
			Ostala površina	0,78	-	-
			Trava	10,72	14,49	10,81
			Skupaj	100,00		
111	8565	Vipava	Gozd	40,46	46,91	42,71
			Mešana vegetacija	7,96	-	8,40
			Ostala površina	5,26	-	-
			Trava	46,32	53,09	48,89
			Skupaj	100,00		
112	8600	Vipava	Gozd	40,88	51,41	43,39
			Mešana vegetacija	15,10	-	16,03
			Ostala površina	5,79	-	-
			Trava	38,23	48,59	40,58
			Skupaj	100,00		
113	8610	Močilnik	Gozd	81,44	85,14	84,42
			Mešana vegetacija	1,39	-	1,45
			Ostala površina	3,53	-	-
			Trava	13,63	14,86	14,13
			Skupaj	100,00		
114	8640	Branica	Gozd	68,93	73,96	68,97
			Mešana vegetacija	9,97	-	9,97
			Ostala površina	0,06	-	-
			Trava	21,04	26,04	21,05
			Skupaj	100,00		
115	8660	Lijak	Gozd	45,57	55,82	47,34
			Mešana vegetacija	16,34	-	16,97
			Ostala površina	3,72	-	-
			Trava	34,37	44,18	35,69
			Skupaj	100,00		
116	8680	Reka	Gozd	49,79	57,08	50,11
			Mešana vegetacija	13,84	-	13,93
			Ostala površina	0,64	-	-
			Trava	35,72	42,92	35,95
			Skupaj	100,00		
117	8690	Idrija	Gozd	82,82	89,89	82,82
			Mešana vegetacija	14,16	-	14,16
			Ostala površina	0,00	-	-
			Trava	3,03	10,11	3,03
			Skupaj	100,00		
118	8710	Nadiža	Gozd	79,73	84,28	80,10
			Mešana vegetacija	8,32	-	8,36
			Ostala površina	0,47	-	-
			Trava	11,49	15,72	11,54
			Skupaj	100,00		
119	9030	Reka	Gozd	62,74	71,51	64,21
			Mešana vegetacija	14,28	-	14,61
			Ostala površina	2,29	-	-
			Trava	20,69	28,49	21,18
			Skupaj	100,00		

120	9050	Reka	Gozd	63,10	71,49	63,76
			Mešana vegetacija	15,30	-	15,46
			Ostala površina	1,03	-	-
			Trava	20,56	28,51	20,78
			Skupaj	100,00		
121	9100	Bistrica	Gozd	82,21	85,59	82,89
			Mešana vegetacija	5,35	-	5,39
			Ostala površina	0,82	-	-
			Trava	11,62	14,41	11,72
			Skupaj	100,00		
122	9210	Rižana	Gozd	57,22	66,62	57,29
			Mešana vegetacija	18,63	-	18,65
			Ostala površina	0,12	-	-
			Trava	24,03	33,38	24,06
			Skupaj	100,00		
123	9275	Badaševica	Gozd	33,67	38,21	34,62
			Mešana vegetacija	6,98	-	7,18
			Ostala površina	2,74	-	-
			Trava	56,60	61,79	58,20
			Skupaj	100,00		
124	9280	Drnica	Gozd	40,71	47,37	41,58
			Mešana vegetacija	11,34	-	11,59
			Ostala površina	2,09	-	-
			Trava	45,86	52,63	46,84
			Skupaj	100,00		
125	9300	Dragonja	Gozd	53,75	66,56	53,79
			Mešana vegetacija	25,53	-	25,54
			Ostala površina	0,06	-	-
			Trava	20,66	33,44	20,67
			Skupaj	100,00		