

MERJENJE IN MODELIRANJE PRESTREŽENIH PADAVIN

Mojca Šraj*

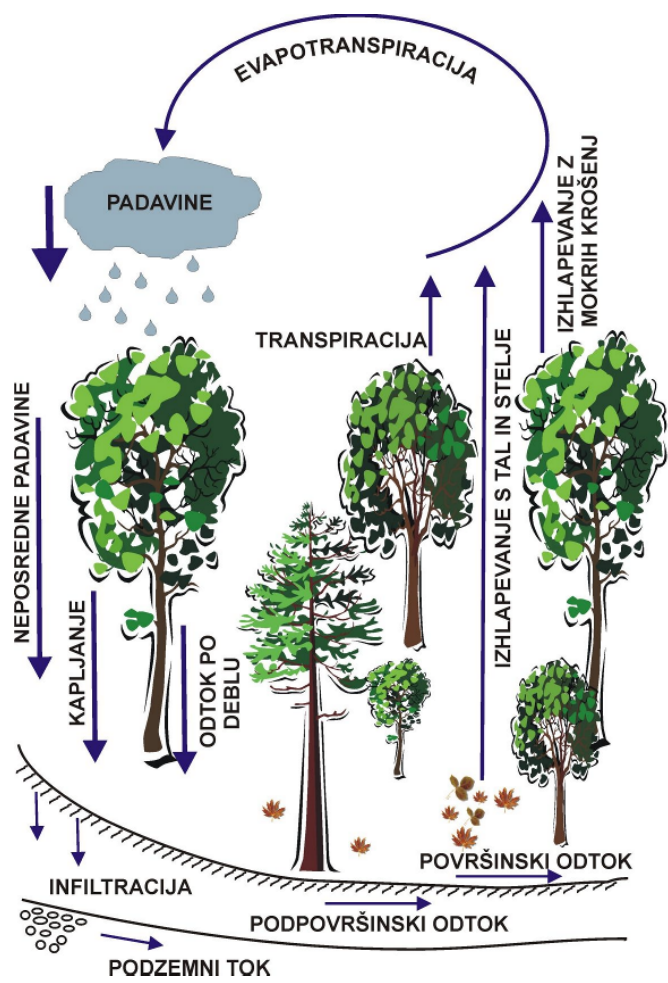
POVZETEK

Študija je del obsežnega znanstveno-raziskovalnega projekta "Dragonja: Forest – Water – Soil – Climate Interactions", ki ga od leta 1999 izvajata univerza Vrije Universiteit iz Amsterdama in Univerza v Ljubljani. Za eksperimentalno povodje je bilo izbrano povodje Dragonje, ki je zanimivo zaradi intenzivnih naravnih procesov zaraščanja površin z gozdom v zadnjih desetletjih, kar je pripeljalo do zmanjšanja pretokov, tako minimalnih kot maksimalnih. Ob tem opaznih padavinskih in temperaturnih sprememb ni bilo zaznati. Glavni namen projekta kot celote je ugotoviti vpliv zaraščanja na vodno bilanco celotnega povodja. V okviru te študije so bile narejene natančne meritve in analize posameznih komponent hidrološkega kroga gozda s sodobno mersko opremo ter različni modeli prestreženih padavin na eksperimentalnem povodju Dragonje. Na osnovi meritev in modeliranja znašajo povprečne letne količine izhlapelih prestreženih padavin na povodju Dragonje 27 % padlih padavin. Torej več kot četrtina padavin padlih nad gozdom izhlapi nazaj v ozračje že med nevihto ali takoj po njej.

UVOD

Gozdna hidrologija preučuje kroženje vode na z gozdom poraščenih površinah (slika 1). Preučuje poti in načine prehajanja vode iz atmosfere skozi gozdni ekosistem v tla, podtalnico in površinske vode ter vračanje vode nazaj v ozračje (Smolej, 1988). Gozd naj bi v splošnem ugodno vplival na vodni režim, predvsem zaradi zadrževanja velikih količin vode in s tem zmanjševanja maksimalnih pretokov oz. poplav ter zmanjševanja erozije. Mnogi znanstveniki pa so v zadnjih petdesetih letih dokazali, da gozdovi nimajo vedno samo pozitivnega vpliva na vodni režim. Še v začetku 20. stoletja so znanstveniki trdili, da gozdovi povečujejo količino in pogostost lokalnih padavin, povečujejo zaloge podtalne vode in izenačujejo letne pretoke z večanjem minimalnih pretokov. Leta 1956 pa je Law ugotovil, da nasadi jelk za lesno industrijo v Veliki Britaniji porabijo skoraj 300 mm več vode na leto kot prej trava. Na podlagi lizimetrovskih meritev je izračunal, da bi pogozditev celotnega povodja z jelkami povzročila zmanjšanje vodnih zalog v dolvodnih rezervoarjih za 42 % (Law, 1956). Zaradi te trditve, ki je ogrozila program pogozdovanja v Veliki Britaniji, so izpeljali velik hidrološki in mikrometeorološki raziskovalni projekt. Rezultati so potrdili Law-jeve trditve in veliko doprinesli k današnjemu razumevanju hidroloških procesov. Tudi v slovenski praksi prevladuje mnenje, da gozd vedno ugodno vpliva na vodni režim, torej da povečuje nizke pretoke, zmanjšuje maksimalne in izenačuje letne pretoke (Čampa, 1998).

* dr. univ.dipl.inž.gradb., UL – Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, Ljubljana



Slika 1: Gozdni hidrološki krog



Slika 2: Položaj merskih točk na povodju Dragonje

EKSPERIMENTALNO POVODJE DRAGONJE

Povodje reke Dragonje leži na severnem delu polotoka Istra. S svojimi pritoki se zajeda v razgibano koprsko gričevje, ki se razteza med planotastim Bujskim Krasom in Tržaškim Krasom na severu. Višina gričevnatih hrbtov se giblje od 150 m nadmorske višine na zahodni strani do 450 m nadmorske višine na vzhodni strani. Dragonja je mejna reka med Slovenijo in Hrvaško, teče v smeri od vzhoda proti zahodu. Dragonja je edina večja reka ob slovenski obali, ki je svojo naravno podobo v pretežni meri ohranila do današnjih dni.

Povodje Dragonje je za današnje razmere redko poseljeno. Posebnost tega območja je, da so se ljudje naseljevali na široke hrbte gričev, ozke doline pritokov in dolina Dragonje pa so ostale skoraj nenaseljene. Številčnost pretežno kmečkega prebivalstva se je v šestdesetih, še bolj pa v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja močno zmanjšala. Hkrati z opuščanjem kmetijskih zemljišč so se izvajala tudi protierozijska vegetacijsko stabilizacijska dela. Vse to je pospešilo zaraščanje območja in v zadnjih treh desetletjih se je zaraščenost povodja Dragonje povečala s povprečno 25 % na več kot 60 % (Globevnik, 2001).

Na povodju sta bili v listnatem gozdu izbrani dve merski raziskovalni ploskvi (Slika 2), ena na severnem pobočju v podpovodju Rokave (1420 m²), druga na južnem pobočju v podpovodju Dragonje (615 m²). Gozdovi na južno in severno ležečih pobočjih se namreč opazno razlikujejo v strukturi, gostoti in velikosti dreves, zato so bile med njimi pričakovane večje razlike. Obe ploskvi ležita na strmih pobočjih (okrog 30⁰), na nadmorski višini približno 200 m, majhni medsebojni oddaljenosti (400 m) in sta poraščeni s približno 30-35 let starim gozdom.

METODE IN INSTRUMENTI

Zaradi določitve lastnosti in sestave obeh gozdnih ploskev, so bila na vsaki od njiju oštevilčena vsa drevesa s premerom na višini 1,35 m (*DBH*, angl. orig. tree diameter at breast height) večjim od 3 cm. Vsakemu drevesu posebej so bili nato določeni vrsta, višina in premer na višini 1,35 m. Določenih je bilo pet najpogostejših vrst dreves: hrast (*Quercus pubescentis*), gaber (*Carpinus orientalis croaticus*), javor (*Sorbus torminolis*), jesen (*Fraxinus ornus*) in rumeni dren (*Cornus Mas*).

Na obe ploskvi so bili jeseni 2000 postavljeni instrumenti za merjenje posameznih količin gozdnega hidrološkega kroga (Preglednica 1). Merile so se količine padavin nad krošnjami, količine prepuščenih padavin ter delež padavin, ki odtečejo po deblu do tal. Meritve padavin so se hkrati izvajale tudi v dolinah Dragonje in Rokave pod obema ploskvama. Poleg tega so bili v bližini vasi Boršt postavljeni meteorološka postaja ter dežemeri v Kocjančičih, Marezigah in Koštaboni in še ena meteorološka postaja v zgornjem delu povodja, v kraju Kubed (Slika 2). Vse naštete količine so se merile avtomatsko z digitalnim zapisovanjem rezultatov na vsakih 10 minut (Campbell Scientific Ltd. 21-X data logger).

Padavine nad krošnjami so se merile z ombrografom (0,2 mm/zvrat) na južni ploskvi (Slika 3), za kontrolo pa še s totalizatorji z ročnim praznjenjem. Delež prepuščenih padavin oz. padavin, ki padejo skozi odprtine med krošnjami in listi ali kasneje prikapljajo z njih, se je meril s po dvema kovinskima žlebovoma (ostroroba, 18⁰, zbirna površina posameznega žlebu je 30*370 cm) (Slika 4a) opremljenima z avtomatsko postajo (0,05 l/zvrat) v kombinaciji s po desetimi premičnimi totalizatorji (100 cm²) (Slika 4b) na vsaki raziskovalni ploskvi, ki se jih je ročno praznilo in se jim je po vsakem praznjenju zamenjalo merilno mesto. Na ta način je bila zajeta tudi prostorska spremenljivost tega deleža padavin. Odtok po deblu se je meril na dveh najbolj tipičnih vrstah dreves na vsaki ploskvi posebej; izbrani sta bili po dve drevesi vsake vrste (Slika 5). Na severni raziskovalni ploskvi sta najbolj tipični vrsti gaber in hrast, na

južni pa jesen in hrast. Okrog vsakega debla je bil speljan žlebič iz gumijaste polcevke, ki je vodil do avtomatske postaje (0,05 l/zvrat).

Na vsaki ploskvi posebej so se v desetih posebnih košarah redno zbirale količine odpadlega listja za določitev indeksa listne površine *LAI*. Z istim namenom in v istih točkah se je izvajalo tudi hemisferično fotografiranje krošenj in tri serije meritev fotosintetskega aktivnega sevanja *PAR*. Za potrebe določanja indeksa listne površine je bila najpogostejšim vrstam dreves določena specifična površina listov *SLA*. Indeks listne površine se je določal po treh metodah, in sicer z neposredno metodo zbiranja in določanja količine odpadlega listja ter z dvema posrednima metodama: hemisferičnim fotografiranjem drevesnih krošenj in z merjenjem fotosintetskega aktivnega sevanja *PAR*. (Šraj, 2003). Vse tri metode so med seboj zelo različne. Pri merjenju *PAR* s Ceptometrom dobimo rezultate skoraj takoj. Hemisferično fotografiranje krošenj je v fazi fotografiranja dokaj hitro, vendar kasnejša obdelava fotografij zahteva veliko časa in dela. Ima pa pred merjenjem *PAR* prednost v tem, da pri vsaki fotografiji upošteva različne zenitne kote in zajame precej velike površine. Direktna metoda zbiranja odpadlega listja pa je po vložnem času in delu najzahtevnejša od vseh treh, je pa zato tudi najnatančnejša.

Preglednica 1: Pregled merske in laboratorijske opreme

	lokacija	oprema
Padavine nad krošnjami (<i>P</i>)	južna ploskev	1 ombrograf
	južna ploskev	1 totalizator
	severna ploskev	1 Hellmanov dežemer
Padavine, ki padejo skozi krošnje (<i>Tf</i>)	južna ploskev	2 koriti + avtomatski merilec
	južna ploskev	10 premičnih totalizatorjev
	severna ploskev	2 koriti + avtomatski merilec
	severna ploskev	10 premičnih totalizatorjev
Padavine, ki odtečejo po deblu (<i>Sf</i>)	južna ploskev	4 gumijasti žlebiči + avtomatski merilec
	severna ploskev	4 gumijasti žlebiči + avtomatski merilec
Listje	južna ploskev	10 košar z mrežami
	severna ploskev	10 košar z mrežami
	laboratorij	sterilizator
	laboratorij	tehtnica



Slika 3: Ombrograf in totalizator za merjenje padavin nad drevesnimi krošnjami na južni raziskovalni ploskvi



a)



b)

Slika 4: Korito (a) in totalizator (b) za merjenje količine padavin, ki padejo skozi krošnje



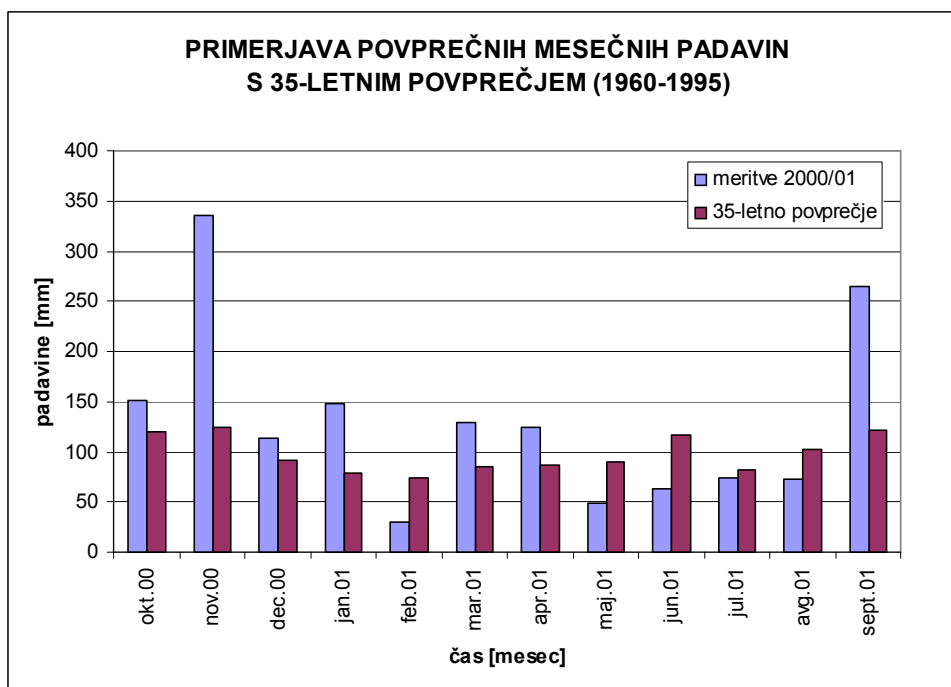
Slika 5: Merjenje odtoka po deblu na južni raziskovalni ploskvi

REZULTATI

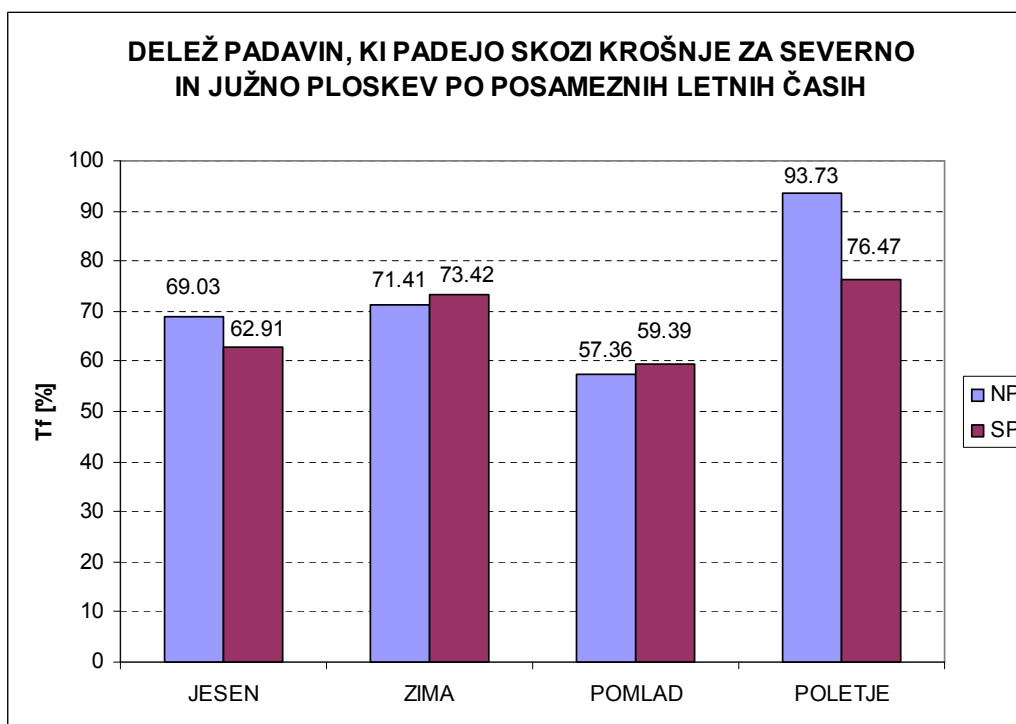
Analiza meritev

V študiji je obravnavano obdobje enega leta od oktobra 2000 do septembra 2001. V tem obdobju je padlo 1323 mm padavin, razporejenih na 139 deževnih dni. Za omenjeno obdobje je bilo izločenih 199 dogodkov. Dogodki so med seboj ločeni z obdobjem brez dežja, v katerem se krošnje popolnoma posušijo. Analiza meritev je pokazala, da obravnavano obdobje po količini padavin precej odstopa od 35-letnega povprečja, zlasti v jesenskih mesecih, ko je padla kar tretjina celotne letne vsote padavin (Slika 6). Intenziteta padavin je bila največja poleti in najmanjša pozimi. Regresijske analize padavin, izmerjenih na posameznih dežemerih, so pokazale dobro ujemanje s koeficientom korelacije nad 0,95.

Regresijske analize meritev prepuščenih padavin s stalnimi in premičnimi merilci so pokazale pričakovane višje vrednosti premičnih merilcev z zelo visokimi koeficienti korelacije. Analize so bile narejene ločeno za obdobje polne rasti gozda, torej obdobje, ko je na krošnjah listje, in za obdobje mirovanja gozda, tj. obdobje brez listja. Na podlagi regresijskih enačb so bile izmerjene količine deleža prepuščenih padavin, ki so bile merjene s stalnimi merilci, popravljene. Povprečna letna vrednost prepuščenih padavin tako znaša 67,1 % za južno (SP) in 71,5 % za severno raziskovalno ploskev (NP). Izmerjene vrednosti so primerljive z rezultati podobnih raziskav oz. so za približno 10 % nižje (Carlyle-Moses in Price, 1999; Dolman, 1987). Največje vrednosti T_f bi na splošno pričakovali v zimskem obdobju, ko so drevesa brez listja in lahko velik delež padavin pride neposredno do tal. Rezultati meritev pa kažejo največje vrednosti poleti, in sicer na obeh ploskvah (Slika 7). Vzrok za to je velika poletna intenziteta padavin (v povprečju po dogodku približno 4 mm/h), ki je posledica poletnih neviht.



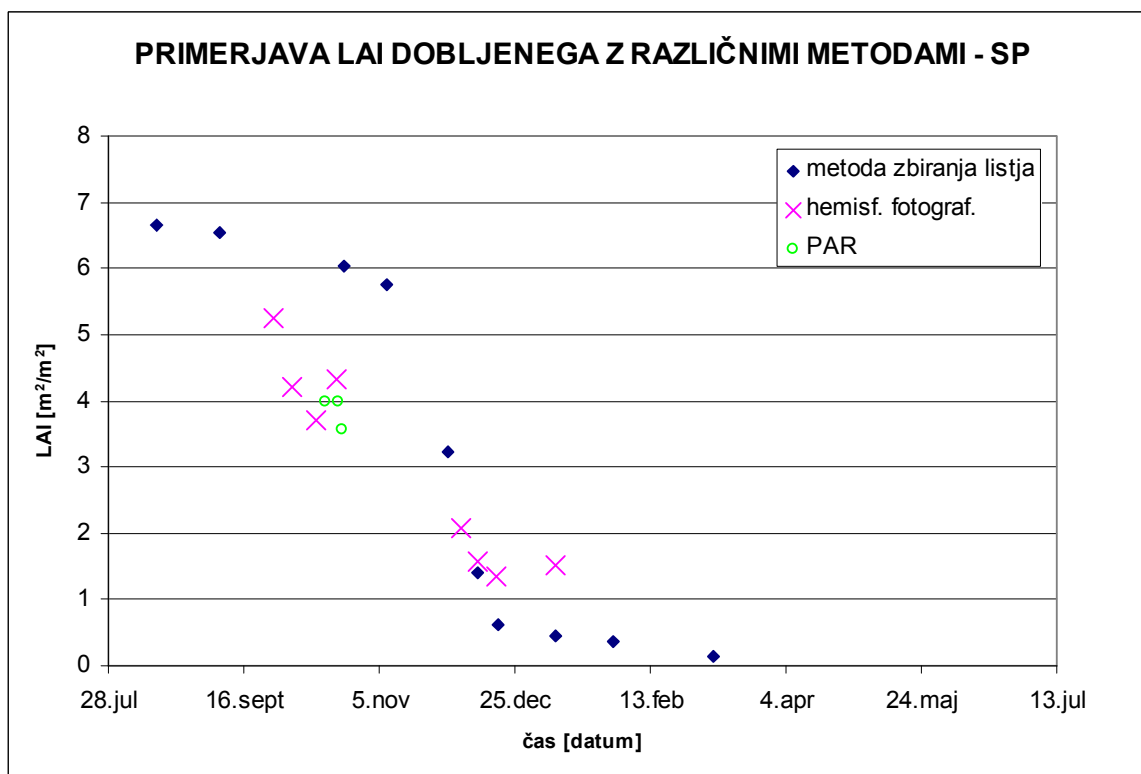
Slika 6: Primerjava mesečnih padavin, merjenih v obdobju 2000/01 na južni raziskovalni ploskvi, s 35-letnim povprečjem (1960-1995) v Portorožu



Slika 7: Delež padavin, ki padejo skozi krošnje ali kasneje odtečejo z njih (T_f), za severno (NP) in južno (SP) raziskovalno ploskev po posameznih letnih časih v obdobju meritev 2000/2001

Rezultati odtoka po deblu kažejo, da je na južni strani odtok po deblu večji kot na severni strani, kar se zdi logično in se ujema z ugotovitvami podobnih raziskav. Povprečni delež odtoka po deblu znaša 4,5 % na južni strani in 2,9 % na severni. Razlika je posledica različne strukture in lastnosti gozda na obeh pobočjih. Primerjava odtoka po deblu za posamezne drevesne vrste je pokazala, da je odtok po deblu na južni strani za jesenovi drevesi skoraj dvakrat večji kot za hrastovi, kar je gotovo posledica gladkejše skorje jesena, ki omogoča hitrejše odtekanje in manjše zadrževanje. Odtok po deblu se pojavlja z nekim časovnim zamikom glede na padavine. Iz rezultatov meritev je razvidno, da pride do odtoka po deblu potem, ko pade približno 2 mm dežja, oziroma da ga pri manjših padavinah sploh ni. Ta količina se ujema z izračunano skladiščno zmogljivostjo krošenj in debla.

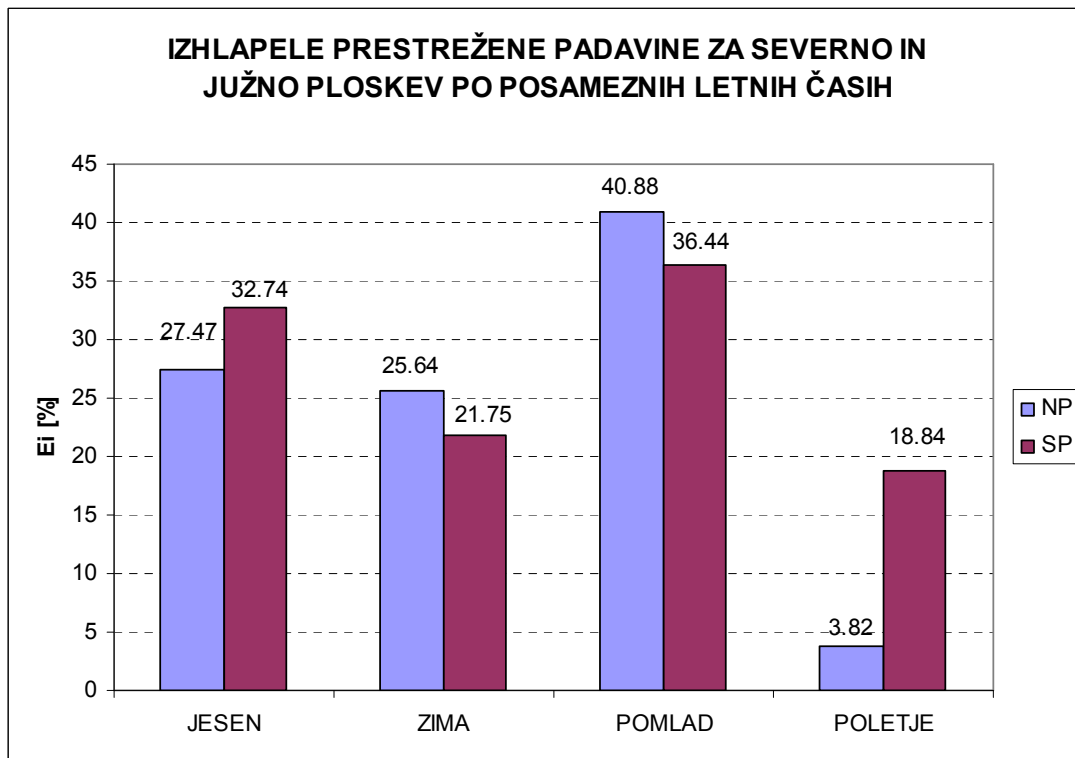
Indeks listne površine se je določal po treh metodah. Rezultati metode zbiranja odpadlega listja kažejo, da večina listja odpade v obdobju od začetka novembra do konca decembra, torej v dveh mesecih. Dobljeni vrednosti za največji indeks listne površine po tej metodi sta 6,66 za južno pobočje in 7,31 za severno pobočje (na višku rastne dobe). Manjša vrednost *LAI* na južnem pobočju (za približno 10 %) je bila pričakovana, saj ima gozd na tem pobočju bolj odprt značaj. Metodi hemisferičnega fotografiranja in merjenja fotosintetskega aktivnega sevanja *PAR* v obdobju z listjem podcenjujeta vrednosti *LAI*. Za nadaljne izračune so bili privzeti rezultati najnatančnejše metode zbiranja odpadlega listja.



Slika 8: Primerjava meritev *LAI* po vseh treh metodah za južno raziskovalno ploskev (SP)

Na osnovi meritev in bilančne enačbe je bilo ugotovljeno, da znašajo povprečne letne izhlapele prestrežene padavine 28,4 % za južno in 25,4 % za severno ležeče pobočje. Torej več kot četrtnina padavin, padlih nad gozdom, izhlapi nazaj v ozračje. Vrednosti so precej visoke v primerjavi z izhlapelimi prestreženimi padavinami listopadnih gozdov, ki se ponavadi gibljejo med 15 in 25 % (Bruijnzeel, 2000).

Primerjava po letnih časih prav tako kaže podobnost med obema pobočjema, z izjemo poletja, ko je razlika med obema pobočjema kar petkratna. V poletnem obdobju je ocenjeno izhlapevanje na južni strani 18,8 %, na severni pa le 3,8 % (Slika 9). To je bilo pričakovati, saj je južno pobočje veliko bolj izpostavljeno sončnemu sevanju. Največje ocenjene vrednosti izhlapelih prestreženih padavin so bile v spomladanskem, najmanjše pa v poletnem obdobju. Nizke poletne vrednosti so posledica velikih intenzitet padavin v poletnem času, kar se ujema tudi z največjimi količinami deleža padavin, ki pridejo do tal.



Slika 9: Delež izhlapelih prestreženih padavin za severno (NP) in južno (SP) raziskovalno ploskev po posameznih letnih časih

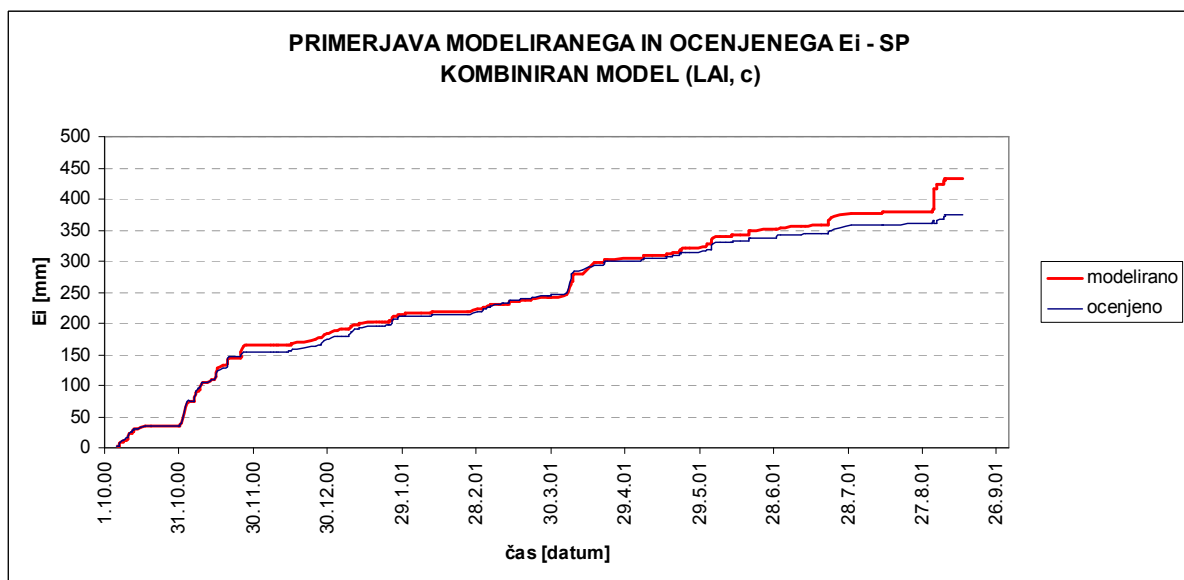
Modeliranje

Pri modeliranju so bili uporabljeni tako obstoječi (variante Gash modela) (Gash, 1979; Gash in ostali, 1995; van Dijk in Bruijnzeel, 2001a) kot na novo izdelani modeli. Vsi uporabljeni modeli so v celoti zasnovani na razdelitvi na posamezne padavinske dogodke in ne na dnevna povprečja in temeljijo na 5 ali 10-minutnih rezultatih meritev padavin in posameznih komponent gozdnega hidrološkega kroga ter 30 minutnih meritvah meteoroloških parametrov. Vhodni podatki so vedno padavine, določeni meteorološki podatki ter izbrani parametri, ki opisujejo lastnosti vegetacije oziroma krošenj. V primeru listopadnih dreves se parametri drevesnih krošenj s časom zelo spreminjajo. Iz tega razloga je bilo celotno obdobje meritev razdeljeno na štiri vegetacijska obdobja in sicer:

- 1) obdobje odpadanja listja (15. oktober – 20. december),
- 2) obdobje brez listja (21. december – 31. marec),
- 3) obdobje olistanja (1. april – 30. april),
- 4) obdobje z listjem (1. maj – 14. oktober).

Obdobja so bila določena glede na rezultate meritev indeksa listne površine *LAI* na raziskovalnih ploskvah in fenološke podatke ARSO na najbližjih fenoloških postajah (ARSO, 2002). Ta časovna razdelitev je bila uporabljena za parametre, pri katerih natančnejša razdelitev ni smiselna ali pa ni možna zaradi omejenega števila merjenih vrednosti vhodnih podatkov.

Vsi modeli so dali nekoliko večje izhlapevanje prestreženih padavin na južnem pobočju, kar so pokazale tudi meritve. Modelirane vrednosti so se v splošnem dobro ujele z meritvami. Odstopanja so bila v mejah standardne napake. Izjema je le model, pri katerem je bila intenziteta izhlapevanja z mokrih krošenj izračunana po Penman-Monteithovi enačbi. Tako izračunane vrednosti intenzitete izhlapevanja so močno podcenjene, kar so potrdile že mnoge raziskave v mokrih priobalnih pogojih. Iz tega lahko povzamemo, da Penman-Monteithova enačba kljub svoji natančnosti in visoki zahtevi po podatkih ni primerna za izračun izhlapevanja prestreženih padavin z mokrih krošenj gozda v danih klimatskih pogojih. V celoti je izmed vseh modelov najboljše rezultate dal poenostavljen dopolnjen model (Slika 10), ki predstavlja najnovejše pristope modeliranja prestreženih padavin.



Slika 10: Primerjava modeliranih (poenost. dopol. model) in izmerjenih izhlapelih prestreženih padavin na južni raziskovalni ploskvi

V študiji je dokazan tudi velik vpliv južnih vetrov na količine izhlapelih prestreženih padavin. Pri analiziranju podatkov pa je bilo ugotovljeno, da toplel jugovzhodni veter (jugo) količino prestreženih padavin močno poveča. Povečano izhlapevanje v teh primerih je najverjetneje posledica dviga temperature, saj je jugo toplel veter, za katerega je porast temperature značilen. Iz tega razloga je bil izdelan nov model, ki mu je bil dodan vpliv toplih južnih vetrov. S tem smo podcenjevanje izhlapelih prestreženih padavin po Penman-Monteithu odpravili.

ZAKLJUČEK

Gozd ima nedvomno velik vpliv na vodni režim. Pri nas še vedno prevladuje mnenje, da gozd ugodno vpliva na vodni režim, predvsem zaradi zadrževanja velikih količin vode, zmanjševanja maksimalnih in povečevanja minimalnih pretokov. Te trditve niso dokazane, vsekakor pa ne veljajo za povodje Dragonje, kjer je postopno zaraščanje območja dokazano

povzročilo zmanjšanje odtokov, tako minimalnih kot maksimalnih. Srednji letni pretoki so se zmanjšali za 35 %. Pretoki s pogostostjo nastopa 90 % so danes za polovico manjši, kot je povprečje za leta od 1961 do 1995. Število dni z ekstremno nizkimi pretoki se je povečalo za 30 %. Za 60 % se je zmanjšala pogostost nastopa visokih vod. Hkrati v padavinskem in temperaturnem režimu ni bilo zaznati opaznih sprememb (Globevnik, 2001).

Kljub pričakovani večji razliki med severno in južno ležečim gozdom rezultati meritev in modelov kažejo na manjšo razliko med povprečnimi letnimi izhlapljenimi prestreženimi padavinami na obeh pobočjih. Tudi primerjava rezultatov po posameznih letnih časih med obema pobočjema ne kaže večjih odstopanj, z izjemo poletja, ko je izhlapevanje prestreženih padavin južnega pobočja skoraj petkrat večje od izhlapevanja na severni strani, kar je posledica večjih količin sončne energije na prisojnih pobočjih.

Analiza meritev ter modeli prestreženih padavin so pokazali, da gozdovi na povodju Dragonje prestrežejo v povprečju več kot 60 % padavin, od tega pa jih približno še polovica odteče do tal v času med padavinami ali takoj po njih. Ostanek izhlapi v ozračje in predstavlja izhlapele prestrežene padavine. Na osnovi meritev in modeliranja znašajo povprečne letne količine izhlapljenih prestreženih padavin 25,5 % za severno in 28,4 % za južno ležeče pobočje, kar predstavlja več kot četrtino padlih padavin.

Izračuni vpliva spremembe rabe površin v povodju Dragonje so pokazali, da so se odtoki površinskih voda med letoma 1948 in 1988 zaradi izhlapevanja prestreženih padavin zmanjšali za $4,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (40,5 %) ali 55 mm oziroma 137 l/s (Šraj, 2003). Glede na povprečne pretoke Dragonje v obdobju 1961-1990, ki znašajo 1070 l/s (Kolbezen in Pristov, 1998), to pomeni 13 % zmanjšanje povprečnih pretokov.

LITERATURA

- ARSO MOP (2002). Podatki o fenoloških opazovanjih na območju Slovenske Istre, osebna korespondenca.
- Bruijnzeel, L.A. (2000). Forest Hydrology. Chapter 12 v Evans, J.S. (editor): The Forestry Handbook, Volume 1. Blackwell, Oxford, 301-343.
- Brilly, M., Globevnik, L. (2003). Sustainable water resources management in the Dragonja catchment, Slovenia. Water resources systems--hydrological risk, management and development: proceedings of an international symposium, the XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo, Japan. (IAHS publication, no. 281).
- Carlyle-Moses, D.E., Price, A.G. (1999). An evaluation of the Gash interception model in a northern hardwood stand, *Journal of Hydrology* 214, 103-110.
- Čampa, A. (1998). Hidrološka vloga gozdov, *Slovenski vodar* 5, 46-48.
- 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.
- Dolman, A.J. (1987). Summer and winter rainfall interception in an oak forest, predictions with an analytical and a numerical simulation model, *Journal of Hydrology* 90, 1-9.
- Gash, J.H.C. (1979). An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 105, 43-55.
- 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.
- Globevnik, L. (2001): Celosten pristop k urejanju voda v povodjih: Celostna analiza časovnih in prostorskih komponent vodnega režima kot izhodišče sodobnim postopkom simuliranja in planiranja vodnogospodarskih rešitev, rabe tal in varstva narave: Povodje Dragonje, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, FGG, 176 str.
- Kolbezen, M., Pristov, J. (1998). Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije (Surface streams and water balance of Slovenija), MOP HMZ RS, Ljubljana, 98 str.
- Law, F. (1956). The effect of afforestation upon the yield of water catchment areas, *Journal of the British Waterworks Association* 38, 344-354.
- Smolej, I. (1988). "Gozdna hidrologija" v Rejic, M., Smolej, I., Sladkovodni ekosistemi, varstvo voda in gozdna hidrologija. UL BF VTOZD za gozdarstvo, Ljubljana, 187-225.
- Šraj, M. (2003). Modeliranje in merjenje prestreženih padavin, Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, FGG, 236 str.