

Izračun vodne bilance bukovega sestoja z modelom WATBAL za leto 2001

Estimation of water fluxes through beech forest with the simple water balance model WATBAL for the year 2001

Urša VILHAR¹

Izvleček:

Vilhar, U.: Izračun vodne bilance bukovega sestoja z modelom WATBAL za leto 2001. Gozdarski vestnik, 61/2003, št. 2. V slovenščini, z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 20. Prevod v angleščino: Urša Vilhar, lektura angleškega besedila: Jana Oštir.

Da bi spoznali vodno bilanco gozda, smo s pomočjo modela WATBAL izračunali vodno bilanco za gospodarski bukovo-jelov gozd v Kočevskem Rogu. Analiza je bila opravljena v gozdnem sestoju in v vrzeli za leto 2001.

Simulirane vrednosti dokaj dobro opisujejo letni potek vlažnostnih razmer v gozdnih tleh. Namočenost tal v sestoju in vrzeli je bila v obravnavanem vegetacijskem obdobju zadostna, vendar je v vrzeli dejanska evapotranspiracija v juliju bolj odstopala od potencialne evapotranspiracija kot v gozdnem sestoju, iz česar lahko sklepamo, da je bil primanjkljaj vode v tleh v vrzeli večji kot v gozdnem sestoju. V gozdnem sestoju sta bili potencialna in dejanska evapotranspiracija precej večji kot v vrzeli, medtem ko je bil odtok v gozdnem sestoju manjši. Naše ocene deleža dejanske evapotranspiracije glede na padavine so na prostem previsoke, odtoka pa prenizke. Morda je razlog v tem, da v obravnavo nismo vključili zimskih mesecev, ko je količina padavin precejšnja, evapotranspiracija pa je minimalna.

Ključne besede: gozdna hidrologija, vodna bilanca, dinarski bukovo-jelov gozd, Kočevski Rog, model WATBAL

Abstract:

Vilhar, U.: Estimation of water fluxes through beech forest with the simple water balance model WATBAL for the year 2001. Gozdarski vestnik, Vol. 61/2003, No. 2. In Slovene, with abstract and summary in English, lit. quot. 20. Translated into English by Urša Vilhar, English language editing by Jana Oštir.

Water balance was studied in the dinaric beech-fir forest in Kočevski Rog. The water balance of a forest stand and a gap for the year 2001 is presented using the model WATBAL.

Reasonably good agreement was found between the simulated and measured data as regards water content. During the vegetation period the water content in the forest soil was adequate both in the stand and in the gap. Potential and actual evapotranspiration was much higher in the forest stand than in the gap, whereas runoff was much smaller in the stand. The percentage of simulated actual evapotranspiration in bulk deposit was very high and the percentage of runoff in bulk deposit was too small in comparison to literature cited. The reason could be that winter months, when the amount of precipitation is high and the actual evaporation is usually low, were not included in our calculation.

Key words: forest hydrology, water balance, dinaric beech-fir forest, Kočevski Rog, model WATBAL

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Minilo je skoraj stoletje odkar so bili v Švici v Emmentalu izpeljani prvi »moderni« eksperimenti primerjalne gozdne hidrologije, to je vede o vzajemnem delovanju vode in gozdov. Obsežno krčenje gozdov za kmetijske površine je konec devetnajstega stoletja povzročilo zaporedje nesreč v Alpah, pri čemer so bile številne vasi poplavljene, pojavili so se zemeljski plazovi, kmetijske površine pa so uničile naplavine (MCCULLOCH 1993). Namen teh raziskav je bil poiskati odgovor na vprašanje, ali in v kakšnem smislu vpliva gozd na vodni režim in še posebej na odtok voda v

primerjavi z drugimi oblikami vegetacije (v tem primeru s pašniki).

Razlogi za raziskovanja na področju gozdne hidrologije so večinoma enaki kot pred desetletji: reševanje problemov v zvezi s količino odtoka, kakovostjo voda, poplavam, erozijo, sedimentacijo, itd. Pojavili so se tudi novi: globalne podnebne spremembe, kakovost habitatov, biodiverzitet, sonaravni razvoj, ... (O'LOUGHLIN / DUNIN 1993). V nasprotju s splošnim prepričanjem voda ni obnovljiv ampak končen vir, ki se kakovostno

¹ U. V., univ. dipl. inž. gozd. Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI – 1000 Ljubljana

obnavlja v velikem vodnem ciklu (ANKO 1994). Z rastjo svetovnega prebivalstva se slabša količinsko in kakovostno stanje voda in gozdov, zato bi se morale povečati zahteve po strokovni usposobljenosti upravljavcev teh naravnih virov.

Slovenija predstavlja zaradi vodnega bogastva in pestrosti vodnega režima v relativno majhnem prostoru hidrološko posebnost v Evropi (BRICELJ 1994). V Bohinjskih gorah pade največja količina padavin v Alpah (čez 5.000 mm letno), v porečju Mure pa doseže komaj 800 mm/leto. Obilne in intenzivne padavine pospešujejo erozijske procese na pobočjih, ki so zaradi razgibane in pestre kameninske sestave že tako izredno labilna. Edina naravna blažilca teh ekstremov sta (BRICELJ 1994):

a) kraška podlaga, ki uspe s sistemov podzemnega pretakanja in akumuliranja vode zadržati tudi 80 odstotkov visokovodnih konic,

b) gozdna in negozdna vegetacija kot zadrževalca odtoka vode.

Gozd s svojimi gostimi krošnjami, listnim opadom ter globokimi koreninskimi sistemi odločilno vpliva na vodo, tla ter snovne tokove v povodjih. V gozdu se s transpiracijo zmanjšajo količine vode, ki dosežejo matično podlago, večja je kapaciteta tal za zadrževanje vode in manjša hitrost površinskega odtoka ter erozija tal (CHANG 2002).

Da bi spoznali vodno bilanco gozda smo na Gozdarskem Inštitut Slovenije (v nadaljevanju GIS) v sodelovanju s Katedro za gojenje gozdov na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani osnovali raziskovalno ploskev v razmeroma ohranjenem gospodarskem bukovo-jelovem gozdu v Kočevskem Rogu. Ta spada v Dinarski kras, za katerega pomeni krčenje gozdnih površin povečano nevarnost erozije tal ter spremembe hidrološkega režima (GAMS 1974). Ker se voda v kraškem hidrogeološkem sistemu zadržuje le kratek čas, obstaja za pitno vodo nevarnost onesnaženja. Dobro ohranjena tla ter vegetacijska odeja predstavljajo filter, blažilnik oziroma pufer, pretvornik ter zbiralnik za vodo, hranila ter škodljive snovi (KATZENSTEINER 2000).

Ugotavljanje vodne bilance za kraški teren je povezano s celo vrsto metodoloških problemov. V optimalnih razmerah bi za tako raziskavo izločili več z gozdom poraščenih eksperimentalnih povodij

(MIKOŠ 1994, MCCULLOCH 1993, CHANG 2002) ter na podlagi merjenih padavin in odtokov izračunali vodno bilanco. Poleg finančne in časovne zahtevnosti je tak eksperiment nemogoč zaradi značilnosti krasa samega, kjer se kompleksne podzemne vodne poti redko ujemajo z orografsko določenimi povodji (KATZENSTEINER 2000, PETRIČ 2002). Dodatno težavo predstavlja tudi izredno velika pestrost talnih razmer na majhnem prostoru, zaradi katere bi v okviru eksperimentalnega povodja težko razložili procese, do katerih pride pri količinskih in kakovostnih spremembah odtoka.

1.1 Hidrološki modeli

1.1 Hydrologic models

Drug način ugotavljanja vodne bilance gozda je na nivoju gozdnega sestoja s pomočjo modeliranja. Hidrološke modele kot tudi modele na drugih področjih na splošno uporabljamo za (THOMPSON 1999): a) učenje, saj prikazujejo delovanje kompleksnih fizikalnih sistemov; b) raziskovanje, pri čemer zamenjujejo tradicionalne terenske poizkuse z računalniškimi poizkusi; c) za napovedovanje in predvidevanje (vremena, vodotokov, ...).

»Pomanjšani modeli« so posnetki dejanskih fizikalnih sistemov in sestojijo iz podobnih materialov kot resnični sistemi. Tak je model sistema reke Mississippi blizu Vicksburga v ZDA, ki je podrobna reprodukcija rečnega omrežja ter kontrolnih objektov, ki so bili zgrajeni na reki. Ti modeli so uporabni v primerih, ko sta delovanje in dinamika dejanskih sistemov preveč kompleksna, da bi ju lahko simulirali s pomočjo računalnikov.

Matematični modeli simulirajo delovanje dejanskega sistema z uporabo matematičnih enačb. Medtem ko posamezne enačbe lahko rešimo sami, za hidrološke modele, ki vključujejo več zaporednih enačb, ki se morda tudi ponavljajo, uporabljamo računalniške programe. Matematični oziroma računalniški modeli se delijo na empirične, deterministične in stohastične. Empirični modeli so razviti na podlagi analize velikega števila podatkov in ugotovljenih statističnih odvisnosti med vhodnimi in izhodnimi podatki (WARD 1995). Primer takega hidrološkega modela je model GLEAMS. Ker so empirični modeli razviti na podlagi podatkov za neko geografsko regijo, je pri njihovi uporabi v drugih regijah potrebna velika

previdnost. Deterministični modeli, včasih imenovani tudi teoretični modeli, matematično opisujejo procese, ki jih simuliramo. Ti niso odvisni od geografskih regij in jih zato lahko lažje prenesemo v drugačno okolje, kot empirične. Stohastični modeli so namenjeni določanju statistične verjetnosti hidroloških dogodkov, na primer padavin ali poplav, ter napovedovanju verjetnosti za dani rezultat.

Za področje gozdne hidrologije ter kroženja snovi v gozdnih ekosistemih so izdelali celo vrsto računalniških modelov (ARP / YIN 1992, VAN GRINSVEN 1995). Pri njih se pojavlja večni problem razmerja med porabo časa in energije, potrebnih za zbiranje podatkov ter za ocenjevanje parametrov, in pa točnostjo modela. Simulirani rezultat je namreč le toliko »dober«, kolikor so »dobri« vhodni podatki in enačbe, s katerimi naj bi model ponazoril fizikalne procese. Namen modeliranja je namreč ta, da z dobrimi podatki pridobimo koristne informacije o določenem dejanskem sistemu, ki ga sicer zaradi njegove kompleksnosti nikakor ne bi mogli spoznavati in razumeti.

1.1.1 Kalibracija in preizkušanje modela

1.1.1 Model calibration and verification

Lastnosti izbranega modela določajo, kakšni vhodni podatki so potrebni za njegovo delovanje. Ločimo podatke potrebne za potek simulacije oziroma izračun zelenih vrednosti z modelom, ter podatke, potrebne za oceno parametrov modela (THOMPSON 1999). Parametri so vrednosti, ki opisujejo fizikalne lastnosti hidrološkega sistema, določajo začetne vrednosti posameznih sestavin ali predstavljajo konstante v razmerjih.

Postopek določanja vrednosti parametrov se imenuje kalibracija modela. Sledi preverjanje ali verifikacija, to je ocena točnosti simuliranega rezultata, ki ima lahko za posledico ponovno kalibracijo. Kalibracija in optimizacija (določanje optimalnih vrednosti parametrov) modela vključujeta določitev procesnih parametrov ter primerjavo simuliranega rezultata z opazovanimi ali merjenimi podatki. Ko je model kalibriran in je napaka oziroma razlika med opazovanimi (merjenimi) in predvidenimi (simuliranimi) vrednostmi najmanjša, je potrebno model še preveriti. Verifikacijo izvedemo tako, da model zaženemo z drugimi podatki, saj dobro kalibriran model podaja

dobre rezultate s katerim koli nizom vhodnih podatkov (THOMPSON 1999).

Kompleksnejši hidrološki modeli, ki opisujejo sistem zrak-rastlina-tla, so zelo zahtevni glede vhodnih podatkov in parametrov. Če zahtevanih podatkov ne moremo pridobiti z meritvami ali privzeti iz literature, je morda bolje uporabiti enostavnejše in manj zahtevne modele. Njihove napovedi bodo sicer manj točne, a nas ne bodo privedle do napačnih zaključkov.

2 METODE DELA

2 WORKING METHODS

Ker zahtevnih meritev vodno-zračnih lastnosti tal in vegetacije ter urnih vrednosti za meteorološke podatke na naših raziskovalnih ploskvah ne moremo izvajati, smo za izračun vodne bilance gozda uporabili enostaven model WATBAL.

2.1 Model za izračun vodne bilance WATBAL

2.1 Water balance model WATBAL

WATBAL je enostaven model za ocenjevanje mesečne vodne bilance, vključno s tokovi vode v tleh, ki so ga razvili na Finskem gozdarskem inštitutu (STARR 1999, 2001). Prednost tega modela je, da zahteva podatke, ki jih je razmeroma lahko pridobiti v gozdu.

Vhodni podatki so mesečne vrednosti za padavine – skupna mesečna količina padavin, ki je padla na ploskev (na vrhove krošenj) kot dež ali sneg; oblačnost (v desetinah pokritosti neba) ter povprečna mesečna temperatura zraka. Ostali vhodni podatki so: nadmorska višina, sklep krošenj, povprečna dolgoročna maksimalna in minimalna dnevna temperatura v najtoplejšem mesecu (juliju) (v naši raziskavi privzeti z meteorološke postaje v Kočevju ob upoštevanju temperaturnega gradienta $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 100 m n.m. (MANOHIN 1960)), poljska kapaciteta tal za vodo ter točka venenja (določeni za talno enoto), infiltracijski koeficient (privzet iz literature). Določili smo tudi plast tal, za katero smo simulirali vodni tok ter razporeditev korenin v tej plasti tal. Predpostavili smo, da so v sestoji tla prekoreninjena vse do matične podlage, torej v povprečju do globine 40 cm. Na sredini sestojne odprtine, kjer je bila prvo leto po poseku prisotna le pritalna vegetacija, smo sklepali, da se večina živih korenin nahaja v zgornjih 10 cm.

Model se lahko uporabi za posamezne plasti tal ali za celotni koreninski prostor, kot v našem primeru. Potencialno evapotranspiracijo (to je evapotranspiracija referenčne rastline – enakomerno raščene trave višine od 8 do 15 cm, popolnoma prekrivajoče določeno površino tal ter optimalno preskrbljene z vodo) računa iz globalnega obsevanja z uporabo modificirane Jensen-Haiseve enačbe (model WATBAL 2003):

$$PET = (a \times (T_a + b) \times R_s / LH_{vap}) \times \text{št. dni} \times 10 \times \text{alfa} \quad (1)$$

$$a = (38 - (2 \times \text{nadmorska višina}/305) + 365 / (e_2 - e_1))^{-1} \quad (2)$$

$$b = 2,5 + 0,14 \times (e_2 - e_1) + \text{nadmorska višina}/550 \quad (3)$$

$$LH_{vap} = 597,3 - 0,564 \times T_a \quad (4)$$

pri čemer je:

PET potencialna evapotranspiracija

a temperaturni količnik ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

b temperaturni količnik ($^{\circ}\text{C}$)

T_a povprečna mesečna temperatura

R_s globalno sončno obsevanje na horizontalni površini ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{dan}$)

LH_{vap} latentna toplota izparevanja (cal/g)

alfa korekcijski faktor za globalno sončno obsevanje, ki izraža vpliv rastlinske odeje na izhlapevanje s tal

e_1 nasičen parni tlak pri povprečni minimalni temperaturi v najtoplejšem mesecu (mbar)

e_2 nasičen parni tlak pri povprečni maksimalni temperaturi v najtoplejšem mesecu (mbar)

Padavine (skupaj s taljenjem snega) izhlapevajo s potencialno evapotranspiracijsko stopnjo. Če je temperatura zraka pod 0°C , je potencialna evapotranspiracija enaka 0 in padavine v obliki snega se akumulirajo kot snežna odeja. Če je potencialna evapotranspiracija večja od količine padavin (skupaj s taljenjem snega), izhlapeva voda, zadržana v tleh. Odvzem vode iz tal zaradi evapotranspiracije se lahko zgodi ob potencialni evapotranspiracijski stopnji ali ob zmanjšani, dejanski evapotranspiracijski stopnji, odvisno od razmerja med vsebnostjo vlage in za rastline dostopno vlago v tleh. Le-ta je rezultat zadrževalne sposobnosti tal za vodo, ki je določena s teksturo in globino tal. Evapotranspiracijski odvzem vlage iz tal lahko poteka le v plasti koreninjenja.

Če količina padavin (skupaj s taljenjem snega) preseže potencialno evapotranspiracijo, je preko-račena tudi zadrževalna sposobnost tal za vodo in presežne padavine odtečejo (skupni odtok). Izhodni podatki modela so poleg mesečnega odtoka še: potencialna evapotranspiracija, dejanska evapotranspiracija, vsebnost vlage v tleh, evaporativni deficit (razlika med dejansko in

potencialno evapotranspiracijo) in deficit talne vlažnosti (razlika med vsebnostjo vlage v tleh in za rastline dostopno vlago v tleh). Oba predstavljata merilo stresa zaradi suše in lahko pomagata pri razlagah na primer časovne variabilnosti pokritosti tal z vegetacijo, rasti dreves, mikrobiološke aktivnosti v tleh, idr.

2.2 Opis ploskve

2.2 Research plot description

Raziskovalna ploskev »Snežna jama« se nahaja v dinarskem svetu Kočevskega Roga na nadmorski višini od 880 do 890 m. Podnebje je gorsko, s povprečno 1.500 mm padavin letno. Matična podlaga je apnenec in dolomit. Prevladujejo rjava pokarbonatna tla in rendzine. Fitocenozo je uvrščena v združbo dinarski jelovo – bukov gozd (*Omphalodo – Fagetum*).

Konec leta 2000 smo s pomočjo sodelavcev Krajevne enote Čermošnjice Zavoda za gozdove Slovenije v bukovem debeljaku s primesjo jelke osnovali približno okroglo vrzel premera 40 – 45 m. V marcu leta 2001 smo na raziskovalni ploskvi postavili v smeri SSZ-JJV sedem ploskvic, pravokotno na to smer pa še dve dodatni ploskvici velikosti 1,5 x 1,5 m. Transekt ploskvic poteka tako, da so ploskvice razporejene v gozdnem sestojju, na robu gozda ter na sredini vrzeli.

2.3 Opis terenskih del

2.3 Field work

Na vsaki od ploskvic smo postavili po dva dežemera (opis v SIMONČIČ 1996), s pomočjo katerih smo tekom vegetacijske dobe mesečno spremljali količino padavin, dospelih na 1,2 m višine v gozdnem sestoju. Dva dežemera sta bila postavljena tudi na najbližji jasi, kjer smo spremljali količino padavin na prostem in za katero smo predpostavili, da je enaka količini padavin, ki doseže vrhove krošenj na naši ploskvi.

Talne razmere in morfološke lastnosti tal smo ugotovili s polkrožno sondo do 40 cm globoko na treh mestih vsake od ploskvic. Iz vseh treh izvrtkov tal smo za vsako ploskev naredili skupen, homogeniziran vzorec tal. Določili smo debeline horizontov ter skeletnost tal. Ploskvice smo razvrstili glede na dve prevladujoči talni enoti: rendzine in rjava pokarbonatna tla. Za vsako talno enoto je bil narejen reprezentančni profil, iz katerega so bili na različnih globinah (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40 cm) vzeti vzorci za analize vodno-zračnih lastnosti tal: dozdevna gostota, poljska kapaciteta za vodo, točka venenja in rastlinam dostopna (razpoložljiva) vlaga v tleh ter izdelane pF krivulje (LUKANC 1992, SIMONČIČ / URBANČIČ 2000).

Mesečno smo na treh ogliščih vsake od ploskvic s polkrožno sondo zajeli vzorce za ugotavljanje trenutne talne vlažnosti iz globin 10 cm, 20 cm in 40 cm (oziroma 30 cm, kjer so bila tla plitvejša).

3 REZULTATI

3 RESULTS

Analize vzorcev reprezentančnega profila so dale naslednje rezultate: dozdevna gostota tal se v proučevanih plasteh giblje od 0,75 gcm⁻³ do 1,21 gcm⁻³, povprečje znaša 1,09 gcm⁻³; vrednost poljske kapacitete za vodo na globini 0-40 cm znaša 340 masnih % oziroma 133 mm H₂O; vrednost točke venenja na globini 0-40 cm znaša 118 masnih % oziroma 42 mm H₂O. V povprečju skelet zavzema 28 odstotkov prostornine tal.

3.1 Postopek kalibracije in verifikacije modela

3.1 Model calibration and verification - procedure

Kalibracijo modela za raziskovalno ploskev »Snežna jama« smo izvedli s pomočjo meritev globalnega sončnega obsevanja na EMEP postaji Iskrba (postaja za spremljanje in oceno onesnaževanja zraka na velike razdalje v Evropi). Primerjali smo simulirane povprečne mesečne vrednosti za leto 2001 s povprečnimi mesečnimi vrednostmi s postaje v obdobju 1997-2001. Vrednost korelacijskega koeficienta je bila 0,99. Model smo kalibrirali tudi s pomočjo povprečnih mesečnih vrednosti za potencialno evapotranspiracijo, izračunanih iz podatkov z meteorološke postaje v Kočevju za leto 2001 (vir: ARSO, Urad za meteorologijo). Korelacijski koeficient je znašal 0,95.

Rezultate modela smo preverili tako, da smo simulirane vrednosti za vsebnost vlage v tleh na koncu meseca primerjali z meritvami trenutne vlažnosti tal. Grafikona 1 in 2 prikazujeta simulirane in dejanske vrednosti za trenutno vlažnost tal. Vrednost korelacijskega koeficienta za gozdni sestoj je bila 0,82, za sredino vrzeli pa 0,63.

Za prikaz razlik med merjenimi (O) in simuliranimi vrednostmi (P) smo izračunali tudi tako imenovani »Indeks ujemanja d« (angl. index of agreement), ki omogoča neposredno primerjavo relativne napake (THOMPSON 1999). Indeks zavzema vrednosti med 0 in 1. Vrednosti indeksa blizu 1 pomenijo boljše ujemanje merjenih in simuliranih vrednosti. Izračunamo ga po naslednji enačbi:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \right] \quad (5)$$

pri čemer je

$$P_i = P_i - \bar{O}$$

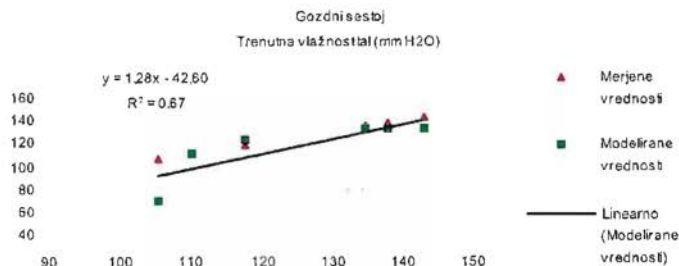
in

$$O_i = O_i - \bar{O}$$

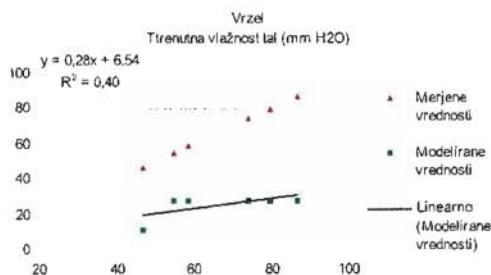
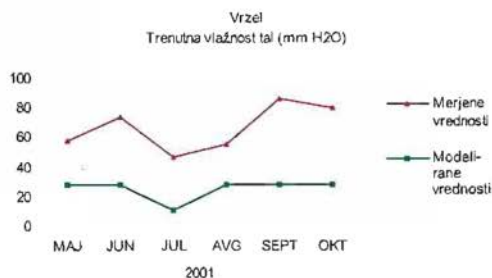
Indeks ujemanja d za merjene (O) in simulirane vrednosti (P) za vlažnost tal na koncu posameznega meseca znaša za gozdni sestoj 0,95, za sredino vrzeli pa 0,90. Preglednica 1 prikazuje vrednosti vhodnih parametrov, ki smo jih uporabili pri simulaciji vodne bilance za gozdni sestoj in vrzel.



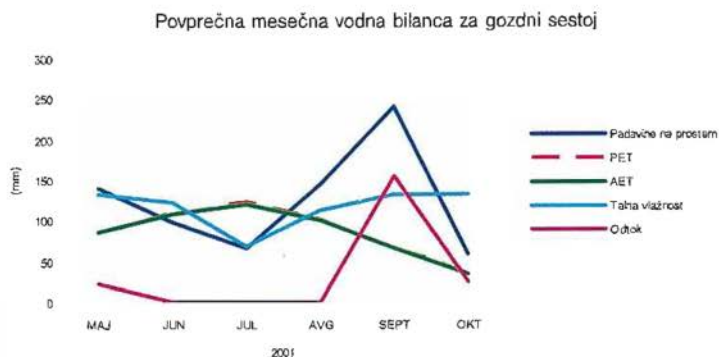
Grafikon 1. Simulirane vrednosti za trenutno vlažnost tal za gozdni sestoj v primerjavi z merjenimi
Graph 1. Simulated volumetric soil water content in the forest stand in comparison to measured momental soil water content



Grafikon 2. Simulirane vrednosti za trenutno vlažnost tal za sredino vrzeli v primerjavi z merjenimi
Graph 2. Simulated volumetric soil water content in the gap in comparison to measured momental soil water content



Grafikon 3. Povprečna mesečna vodna bilanca za gozdni sestoj; PET – potencialna evapotranspiracija, AET – dejanska evapotranspiracija
Graph 3. Average monthly water balance for forest stand; PET – potential evapotranspiration, AET – actual evapotranspiration



Preglednica 1: Vhodni parametri, uporabljeni za izračun vodne bilance na ploskvi v sklenjenem gozdnem sestoju ter na sredini vrzeli

Table 1: Input parameters for simulation of water balance in forest stand and gap

Vhodni parametri:	Gozdni sestoj	Sredina vrzeli
Poljska kapaciteta tal za vodo (mm)	133	28
Sklep krošenj	1	0
Nadmorska višina	880	880
Infiltracijski koeficient tal	0,37	0,37
Najvišja temperatura povprečno najtoplejšega meseca (°C)	20,3	20,3
Najnižja temperatura povprečno najtoplejšega meseca (°C)	7,0	7,0
Geografska širina (dec.stop.)	45,3	45,3
Delež korenin (%)	1,0	1,0
Alfa	1,2	0,9
Začetna vsebnost vode v tleh (mm)	133	28
Točka venenja (mm)	42	11

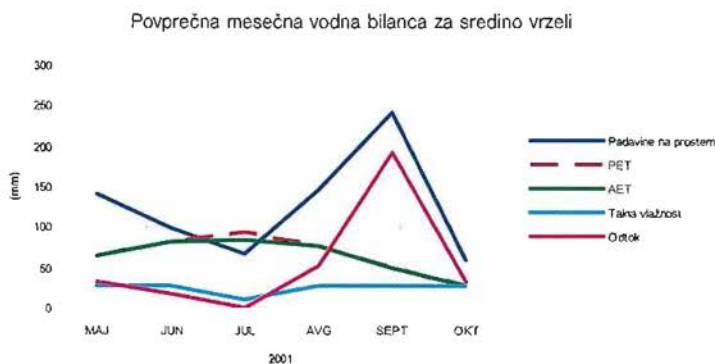
Posamezne elemente simulirane vodne bilance za ploskvo v gozdnem sestoju ter za ploskvo v vrzeli prikazujeta grafikona 3 in 4.

Deleža potencialne in dejanske evapotranspiracije v skupni količini padavin sta v gozdnem

sestoju precej večja kot v vrzeli (grafikon 5). Delež odtoka v skupni količini padavin pa je za gozdni sestoj manjši in sicer v gozdnem sestoju znaša 27 % in v vrzeli 43 %.

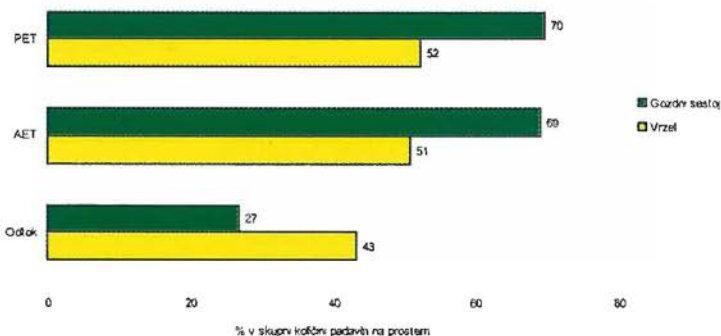
Grafikon 4. Povprečna mesečna vodna bilanca za sredino vrzeli; PET – potencialna evapotranspiracija, AET – dejanska evapotranspiracija

Graph 4. Average monthly water balance for gap; PET – potential evapotranspiration, AET – actual evapotranspiration



Grafikon 5. Delež odtoka, potencialne evapotranspiracije ter dejanske evapotranspiracije v skupni količini padavin na prostem za vegetacijsko obdobje (od maja do oktobra) v letu 2001 v gozdnem sestoju ter v vrzeli

Graph 5. Percentage of runoff, potential evapotranspiration and actual evapotranspiration in total bulk deposit for the vegetation period (from May to October) 2001 for forest stand and gap



4 ZAKLJUČKI IN RAZPRAVA

4 CONCLUSIONS AND DISCUSSION

Primerjava simuliranih vrednosti za vsebnost vlage v tleh na koncu meseca z meritvami trenutne vlažnosti tal kaže, da simulirane vrednosti dokaj dobro opisujejo letni potek vlažnostnih razmer v gozdnih tleh. Namočenost tal v sestoji in vrzeli je bila v obravnavanem vegetacijskem obdobju zadostna, saj vsebnost vlage v gozdnih tleh tudi v mesecih z najvišjimi povprečnimi temperaturami ni padla pod točko venenja. Vendar pa je v vrzeli dejanska evapotranspiracija v juliju bolj odstopala od potencialne evapotranspiracija kot v gozdnem sestoji, iz česar lahko sklepamo, da je bil primanjkljaj vode v tleh v vrzeli večji kot v gozdnem sestoji. V gozdnem sestoji sta bili potencialna in dejanska evapotranspiracija precej večji kot v vrzeli, medtem ko je bil odtok v gozdnem sestoji manjši. Naše ocene deleža dejanske evapotranspiracije glede na padavine so na prostem previsoke, odtoka pa prenizke.

Simulirane vrednosti za vsebnost vlage v tleh so dokaj blizu merjenih, kar kaže tudi visoka vrednost »indeksa ujemanja d«. Simulirane vrednosti za gozdni sestoj so razen v mesecu juliju zelo podobne merjenim. Za vrzel so simulirane vrednosti tekom cele vegetacijske dobe precej nižje, vendar lahko ugotovimo, da letno dinamiko vlažnostnih razmer v tleh dokaj dobro opisujejo. Vzrok za nižje vrednosti je verjetno posledica nizke poljske kapacitete tal za vodo, ki je bila določena za reprezentančni profil, ne pa za posamezno ploskvico. Vprašljiva je tudi natančnost ocene skeletnosti tal, ki pomembno vpliva na vrednost poljske kapacitete tal za vodo ter vrednost točke venenja. Ta odstopanja nas opozarjajo, da ugotovljenih vrednosti za posamezne komponente vodne bilance ne moremo upoštevati v absolutnem smislu, lahko pa analiziramo njihova medsebojna razmerja.

Iz prikazanih simuliranih vrednosti za vodno bilanco bukovo-jelovega gozdnega sestoja v Kočevskem Rogu sklepamo, da je bila namočenost tal v sestoji in vrzeli v obravnavanem vegetacijskem obdobju zadostna, saj vsebnost vlage v gozdnih tleh tudi v mesecih z najvišjimi povprečnimi temperaturami ni padla pod točko venenja. Vsebnost vlage v tleh je bila visoka spomladi zaradi taljenja snega in spomladanskega deževja. Količina padavin je začela upadati v juniju in je bila najnižja v mesecu

juliju, prav tako vsebnost vlage v tleh ter odtok. S povečano količino padavin v avgustu se je povečala tudi vsebnost talne vlage, ki je septembra, ko je bilo največ padavin, zopet dosegla območje poljske kapacitete tal za vodo. Dejanska evapotranspiracija je bila tekom celega vegetacijskega obdobja podobna potencialni evapotranspiraciji, le v juliju so njene vrednosti nižje, verjetno zaradi zmanjšane vsebnosti vlage v tleh. Odtok je bil najmanjši v poletnih mesecih, ko je bila nizka tudi vsebnost vlage v tleh, največji pa je bil v mesecu septembru, ko je bila tudi količina padavin največja.

Za vrzel lahko iz prikazanih simuliranih vrednosti sklepamo, da je bila tudi tu namočenost tal v obravnavanem vegetacijskem obdobju zadostna in da vsebnost vlage v gozdnih tleh v mesecih z najvišjimi povprečnimi temperaturami ni padla pod točko venenja. Tako kot v gozdnem sestoji so bile vrednosti za vsebnost vlage v tleh ter odtok najnižje v mesecu juliju. V mesecu juliju je v vrzeli dejanska evapotranspiracija bolj odstopala od potencialne evapotranspiracija kot v gozdnem sestoji, iz česar lahko sklepamo, da je bil primanjkljaj vode v tleh v vrzeli večji kot v gozdnem sestoji.

Če primerjamo vrednosti posameznih elementov vodne bilance za gozdni sestoj in vrzel ugotovimo, da sta bili potencialna in dejanska evapotranspiracija precej večji v gozdnem sestoji, medtem ko je bil odtok v gozdnem sestoji manjši. To je najverjetneje posledica transpiracije gozdnega sestoja ter intercepcije padavin v krošnjah.

Vrednosti dejanske evapotranspiracije so bile v primerjavi s podatki iz literature visoki. Tako na primer Katzensteiner (2000) za bukov sestoj v severnoavstrijskih apnenčastih Alpah (nemško Kalkalpen) v obdobju od 1.7.-25.10.1996 poroča o 24-38 % deležu dejanske evapotranspiracije v skupni količini padavin. Skupni odtok pa je znašal 65-75 % padavin. Von Benecke (1978) je v bukovem sestoji v Sollingu ugotovil, da letno povprečje dejanske evapotranspiracije znaša približno 50 % padavin na prostem, in tudi odtok znaša približno 50 % padavin.

Sklepamo lahko, da so naše ocene deleža dejanske evapotranspiracije glede na padavine na prostem previsoke, glede odtoka pa prenizke. Morda je razlog v tem, da v obravnavo nismo vključili zimskih mesecev, ko je količina padavin precejšnja, evapotranspiracija pa je minimalna.

Razlog za tako nizek odtok je morda tudi ta, da model ne upošteva odtoka vode v tla in podzemlje skozi makropore.

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGEMENT

Zahvaljujem se Miheju Urbančiču, univ. dipl. inž. gozd., mag. Igorju Smoleju ter dr. Primožu Simončiču, vsi GIS, za ideje, nasvete in pomoč pri delu. Zahvaljujem se tudi dr. Michaelu Starru, avtorju modela WATBAL, za njegovo pomoč in nasvete pri uporabi modela. Najlepša hvala tudi Uradu za meteorologijo (ARSO) za posredovanje meteoroloških podatkov ter delavcem Krajevne enote Čermošnjice Zavoda za gozdove Slovenije za njihovo pomoč in sodelovanje.

6 SUMMARY

Estimation of water fluxes through beech forest with the simple water balance model WATBAL for the year 2001

Forests influence the water, the soil and the nutrient cycle with their crowns, litter and deep root systems. The forest water balance was studied in the dinaric beech-fir forest in Kočevski Rog. In 2001, monthly bulk deposit, through-fall and volumetric soil water content were measured during the vegetation period. The monthly water balances of a forest stand and a gap are presented using the model WATBAL. For primary model calibration data on global radiation from the weather station Iskrba and the calculated potential evapotranspiration for the weather station Kočevje were used. Model results were verified by soil water content measurements with the oven-dry method. The indexes of agreement $d = 0.95$ for the forest stand and $d = 0.90$ for the gap show good agreement between the simulated and measured data for water content. Potential and actual evapotranspiration are much higher in the forest stand than in the gap, whereas runoff is much smaller in the stand. The percentage of simulated actual evapotranspiration in bulk deposit is very high and the percentage of runoff in bulk deposit is too small in comparison to

literature cited. The reason could be that winter months, when the amount of precipitation is high and the actual evaporation is usually low, were not included in our calculation.

7 VIRI

7 REFERENCES

- ANKO B. 1994. Gozd in voda: zbornik republiškega seminarja, Poljče, 11.-13. oktober 1994. Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo. 257 s.
- ARP A. P., YIN X. 1992. Predicting water fluxes through forests from monthly precipitation and mean monthly air temperature records. Canadian Journal of Forest Research 22: s 864-877.
- BRICELJ M. 1994. Gozd in voda (Poizkus projekcije vodne bilance). Gozd in voda: zbornik republiškega seminarja, Poljče, 11.-13. oktober 1994, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo. s. 61-76.
- CHANG M. 2002. Forest hydrology: an introduction to water and forests, CRC Press LLC. 392 s.
- GAMS I. 1974. Kras: zgodovinski, naravoslovni in geografski oris. Ljubljana, Slovenska matica. 358 s.
- KATZENSTEINER K. 2000. Wasser- und Stoffhaushalt von waldekosystemen in den noerdlichen Kalkalpen. Wien, Universitaet fuer Bodenkultur. 159 s.
- LUKANC M. 1992. Analize tal, foliarne analize in ugotavljanje onesnaženosti zraka. Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo. s. 3-15.
- MANOHIN. 1960. Vremenslovje in podnebjeslovje. Ljubljana, Cankarjeva založba. 151 s.
- MCCULLOCH J. S. G., ROBINSON M. 1993. History of forest hydrology. Water issues in forests today. International Symposium of Forest hydrology, Canberra, Journal of Hydrology. s. 189-216.
- MIKOŠ M. 1994. Pomen eksperimentalnih povodij za ugotavljanje vplivov gozda na vodni režim. Gozd in voda: zbornik republiškega seminarja, Poljče, 11.-13. oktober 1994, Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za gozdarstvo. s. 61-76.
- O'LOUGHLIN E. M., DUNIN F. X. 1993. Water issues in forests today. International Symposium of Forest hydrology, Canberra, Journal of Hydrology. s. 5-6.
- PETRIČ M. 2002. Characteristics of Recharge-Discharge Relations in Karst Aquifer. Postojna-Ljubljana, Založba ZRC, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU (Zbirka Carsologica). 154 s.
- SIMONČIČ P. 1996. Odziv gozdnega ekosistema na vplive kislih odložen s poudarkom na preučevanju prehranskih razmer za smreko (*Picea abies* (L.) Karst.) in bukev (*Fagus sylvatica* L.) v vplivnem območju TE Šoštanj.

- Oddelek za gozdarstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani: 153 s.
- SIMONČIČ P., URBANČIČ M. 2000. Vodno-zračne lastnosti talnih vzorcev z Gačnika pri Mariboru. Ljubljana, GIS: 10 s.
- STARR M. 1999. WATBAL: A model for estimating monthly water balance components, including soil water fluxes. 8th Annual Report of the UN ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution in 1999, The Finnish Environment. 325: s. 31-35.
- STARR M. 2001. WATBAL user-guide, Vantaa research centre - TH. 04.10.2001 13.36.
- THOMPSON S. A. 1999. Hydrology for water management. Rotterdam, Balkema. 476 s.
- VAN GRINSVEN H. J. M. 1995. Modelling Water, Carbon and Nutrient Cycles in Forests: Application of 16 Simulation Models to a Spruce Stand at Solling, Germany. Ecological Modelling 83(1-2): 302 s.
- VON BENECKE P., VAN DER PLOEG R. R. 1978. Wald und Wasser. II Quantifizierung des Wasserumsatzes am Beispiel eines Buchen- und eines Fichtenbestandes im Solling. s. 26-32.
- WARD A. D., ELLIOT W. J. 1995. Environmental hydrology. New York, CRC Press LLC. 462 s.