

BILANCA VODE NA ISTOČNOM PRIMORJU JADRANA

Water Balance on the Eastern Adriatic Coastal Region

KREŠO PANDŽIĆ

Republički hidrometeorološki zavod SRH, Zagreb

Primljeno 5. studenog 1984. g., u konačnom obliku 7. svibnja 1985.

Sažetak: Izvršen je proračun srednjih mjesečnih vrijednosti komponenata bilance vode na istočnom primorju Jadrana. Za tu svrhu korišteni su dvadesetgodišnji nizovi klimatoloških podataka temperature, relativne vlage i oborine, kao i podaci o pedološkim karakteristikama tla. Rezultati pokazuju da komponente bilance vode imaju periodičan karakter na cijelom promatranom području.

Key words: Bilanca vode, Jadransko primorje

Abstract: The calculation of average monthly value for water balance components for Adriatic coastal region was made. For this purpose, twenty year time-series of monthly climatological data of temperature, relative humidity and rainfall were used as well as data for pedological characteristic of soil. The results show that water balance components, the periodic character have on all parts of region which was considered.

Key words: Water balance, Adriatic coastal region

1. UVOD

Praćenje stanja hidroloških parametara u posljednje vrijeme zauzima sve značajnije mjesto. Jedan od problema je praćenje rezervi vode, a drugi praćenje njihove kvalitete. Svrha ovog rada prvenstveno je da doprinese rješavanju prvog problema.

Tom problemu može se pristupiti s manjom ili većom složenosti, ovisno o tome koliko precizne rezultate želimo. Može se promatrati samo oborina u kombinaciji s temperaturom zraka (Lang, 1915), oborina i potencijalna evaporacija (Thornthwaite, 1931) da bi se dobila aproksimativna mjera o rezervama vode na nekoj lokaciji. Složeniji i prirodnim uvjetima bliži postupak određivanja količine raspoložive vode na određenoj lokaciji dao je Palmer (1965). U ovom radu je korišten njegov postupak za izračunavanje komponenti bilance vode. Pri tom se, pored podataka o oborini i potencijalnoj evapotranspiraciji, koriste i podaci o karakteristikama tla lokacije za koju se proračun vrši.

Inače, promatrano je cijelo Jadransko primorje u SR Hrvatskoj, pod čim se ovdje podrazumijeva i dio planinskog zaleđa. Budući da je ovo područje heterogeno po raspodjeli tla, tome je posvećena posebna pažnja. Sličan proračun proveden je za Zagreb (Penzar, 1976), dok za navedeno područje, koliko je autoru poznato, nije bilo sličnih izračunavanja. I ovi rezultati su još uvijek opterećeni idealizacijom stvarnih prirodnih uvjeta, pa ih treba i dalje poboljšavati.

2. PALMEROV POSTUPAK IZRAČUNAVANJA KOMPONENTATA BILANCE VODE

Jednadžba bilance vode na granici zemljino tlo-zrak prema Palmeru (1965) glasi:

$$\text{oborina} + \text{dovod iz dubine tla} = \text{evapotranspiracija} + \text{procjeđivanje} + \text{otjecanje.} \quad (1)$$

Relacija (1) može se nadalje izraziti simbolički

$$P + L = ET + R + RO \quad (2)$$

gdje su oznake početna slova engleskih naziva za termine iz (1) sukcesivno: precipitation, loss, evapotranspiration, recharge and runoff.

U relaciji (2) nalazi se samo oborina kao poznata veličina. Međutim uz pomoć podataka o sadržaju vode u tlu (S), kao i podataka o potencijalnoj evapotranspiraciji (PE), nizom matematičkih koraka dolazi se do ostalih nepoznanica.

a) Potencijalna evapotranspiracija (PE)

Za izračunavanje potencijalne evapotranspiracije može se u literaturi naći više različitih empiričkih formula. Jednu od jednostavnijih dao je Eagleman (1967):

$$PE = C e_{\max} (100 - u)^{1/2} \quad (3)$$

gdje je $C = 0.63 + 0.024 t$ konstanta ovisna o srednjoj temperaturi zraka $t(^{\circ}\text{C})$ perioda za koji se proračun vrši, uz ograničenje

$$C = 0.6 \text{ za } t < 0^\circ\text{C}$$

$$C = 1.13 \text{ za } t > 21^\circ\text{C}.$$

Nadalje, e_{\max} (mbar) je srednji maksimalni tlak vodene pare

$$e_{\max} = 6.1 \text{ EXP } \left((17.1 t) / (234.2 + t) \right)$$

i u je srednja relativna vlaga zraka izražena u postocima.

Konstante proporcionalnosti su odabrane tako da je PE izražen u mm, što je u skladu s jedinicama preostalih komponenata iz relacije (2), koje su također izražene u tim jedinicama.

Zadovoljavajuća slaganja rezultata dobivenih pomoću formule (3) i mjerenih vrijednosti ustanovio je autor Eagleman, a rezultati eksperimenata provjere slaganja za naše područje djelomično su izneseni u radu Pandžića i Šubarića (1984) gdje je uzeto 80% vrijednosti iz formule (3), tj. desna strana jednadžbe (3) je pomnožena s 0.8 umjesto s 1.0. Provjera je vršena za mjesečne periode.

Prednost ovog načina izračunavanja PE je dvostruka. Naime, mogu se relativno jednostavno dobiti na gušćoj mreži točaka nego što se obično mjerenja vrše, i to samo na osnovi podataka temperature zraka na visini od 2 m iznad tla i relativne vlage, koji se mogu jednostavnije i preciznije mjeriti od samog PE. Osim toga rezultati se mogu dobiti i za zimski dio godine kada stvarna mjerenja rijetko i postoje. Jedino je nedostatak što i brzina vjetra nije uključena eksplicitno, ali se to nadoknađuje dužinom perioda jer se za toliko dugi period vjetar može uzeti približno konstantnim.

b) Gubitak vode iz tla (L)

Kao prvo u ovom odlomku treba napomenuti da je Palmer pretpostavio da se tlo dostupno biljkama može podijeliti na dva dijela, i to gornji sloj dubok dvadesetak cm i drugi sloj do dubine 100 cm. U skladu s tim i gubitak vode iz tla za promatrani period (obično jedan mjesec) izražen je u obliku sume:

$$L = L_1 + L_2 \quad (4)$$

gdje indeksi 1 i 2 označavaju gubitak vode iz gornjeg, odnosno donjeg sloja sukcesivno. Da bi se izračunao gubitak vode iz tla, potrebno je raspolagati s podacima o oborini (P) za promatrani period (u daljnjem tekstu jedan mjesec), podacima o sadržaju vode u tlu kako u gornjem S_1' tako i donjem sloju S_2' (ukupno $S' = S_1' + S_2'$) te podacima o potencijalnoj evapotranspiraciji. Ako je ovo sve na raspolaganju (što je u praksi ostvarljivo), onda se gubitak iz tla dobiva iz niza uvjeta:

– ako je $S_1' > PE - P$ i $PE - P > 0$, onda je $L_1 = PE - P$,

– ako je $S_1' < PE - P$ i $PE - P > 0$, onda je $L_1 = S_1'$,

– ako je $S_1' = 0$, onda je $L_1 = 0$,

– ako je $PE - P < 0$, onda je $L_1 = 0$.

Nadalje, gubitak iz drugog sloja dobiva se ovisno o rezultatu:

$$L_2 = (PE - P - L_1) (S_2' / S_{\max}),$$

gdje je S_{\max} maksimalni kapacitet tla ($S_{\max} = S_{\max 1} + S_{\max 2}$).

– Ako je $L_2 < 0$, onda je $L_2 = 0$,

– ako je $L_2 > S_2'$, onda je $L_2 = S_2'$.

Konačno se dobiva gubitak vode iz tla ako se L_1 i L_2 stave u jednadžbu (4).

c) Procjeđivanje (R) i otjecanje (RO)

Vrijednosti R i RO ovise također o odnosu oborine, potencijalne evapotranspiracije, kao i o količini vode u tlu. Izračunavaju se iz niza uvjeta:

– ako je $P - PE < 0$ onda je $R = 0$ i $RO = 0$,

– ako je $P - PE < S_{\max} - S'$ i $P - PE > 0$, onda je $R = P - PE$ i $RO = 0$,

– ako je $P - PE > S_{\max} - S'$, onda je $R = S_{\max} - S'$ i $RO = P - PE - R$.

d) Stvarna evapotranspiracija (E)

Stvarna evapotranspiracija može biti jednaka ili manja od potencijalne i to:

– ako je $P - PE > 0$, onda je $E = PE$,

– ako je $P - PE < 0$, onda je $E = P + L$.

e) Sadržaj vode u tlu na kraju perioda za koji se izvodi račun (S)

Na izneseni način izračunavaju se nepoznanice iz relacije (2). Međutim, da bi se postupak mogao nastaviti za slijedeći mjesec, potrebno je izračunati promjenu, odnosno količinu vode sadržanu u tlu na kraju mjeseca za koji je račun proveden. Najprije se izračunava promjena vode tokom računatog mjeseca u odnosu na prethodni, i to najprije u gornjem sloju ΔS_1 a zatim donjem sloju ΔS_2 iz niza uvjeta:

– ako je $R = 0$ i $L = 0$, onda je $\Delta S_1 = 0$ i $\Delta S_2 = 0$,

– ako je $L > 0$, onda je $\Delta S_1 = -L_1$ i $\Delta S_2 = -L_2$,

– ako je $R > 0$ i $R < S_{\max 1} - S_1'$, onda je $\Delta S_1 = R$ i $\Delta S_2 = 0$,

– ako je $R > S_{\max 1} - S_1'$, onda je $\Delta S_1 = S_{\max 1} - S_1'$ i $\Delta S_2 = R - \Delta S_1$.

Konačno, sadržaj vode u tlu na kraju mjeseca je po slojevima

$$S_1 = S_1' + \Delta S_1$$

$$S_2 = S_2' + \Delta S_2,$$

i ukupno

$$S = S_1 + S_2.$$

Za račun u slijedećem mjesecu jednostavno se uzima:

$$S_1' \text{ (za slijedeći mjesec)} = S_1,$$

$$S_2' \text{ (za slijedeći mjesec)} = S_2,$$

$$S' \text{ (za slijedeći mjesec)} = S.$$

Dakle, potrebno je poznavati sadržaj vode u tlu samo na početku prvog perioda za koji se hidrološki proračun vrši, a za ostale se dobivaju vrijednosti računski, kao što je pokazano.

Početni sadržaj vode u tlu može se utvrditi mjerenjem, što je teško ostvarivo, ili pretpostaviti da su sadržaji vode jednaki maksimalnom kapacitetu tla, što je moguće pretpostaviti nakon dugotrajnih kiša u zimskom djelu godine. Mađutim, maksimalni kapaciteti tla moraju se utvrditi mjerenjem i ovisi o vrsti i dubinama tla. O tome će biti još posebno govora.

Treba napomenuti da je ovaj postupak dio procedure za izračunavanje Palmerovog indeksa suše (vidjeti Palmer, 1965), u koju se u ovom radu neće dalje ulaziti.

3. OPIS KORIŠTENIH PODATAKA

Podaci koji su korišteni za izračunavanje komponenti bilance vode po metodi iz točke 2 mogu se podijeliti u dvije grupe i to na meteorološke i pedološke. Zbog toga će i njihov opis biti izložen odvojeno.

a) meteorološki podaci

Jadransko primorje SR Hrvatske koje je ovdje razmatrano proteže se od 42°30' (Dubrovnik) do 45°30' N (Parg) i od 13°30' (Rovinj) do 18°30' E (Dubrovnik), pa pripada središnjem dijelu umjerenog pojasa. Međutim, iako je ovo područje relativno malo, klimatske prilike su vrlo raznolike. Tako pored područja blage mediteranske klime (obala i otoci) postoje i područja s umjerenom kontinentalnom (dijelovi zaleđa) i planinskom klimom (veći dio Like i Gorskog kotara). Tu raznolikost potvrđuju i podaci dvadesetgodišnjih vremenskih nizova mjesečnih vrijednosti temperature, relativne vlage i oborine, koji su korišteni za hidrološke proračune u ovom radu.

Navedeni podaci uzeti su sa svih meteoroloških stanica promatranog područja na kojima se mjerenja vrše približno od 1961–1980. godine. Ukupno je razmatrano 58 stanica. Ako su nedostajale manje grupe podataka na pojedinim stanicama, izvršena je ekstrapolacija nedostajućih podataka prema susjednim glavnim meteorološkim stanicama. Ekstrapolacija je izvršena prema jednadžbi i linearne regresije

$$y = ax + b, \quad (5)$$

gdje je x podatak na glavnoj meteorološkoj stanici, a y traženi podatak, i gdje su a i b konstante određene po metodi najmanjih kvadrata za svaki mjesec i stanicu posebno i na osnovi već raspoloživih podataka. Budući da se radi o mjesečnim vrijednostima, ekstrapolirani podaci dobro su se uklopili u već postojeće.

b) pedološki podaci

Pored meteoroloških podataka, kao što je već rečeno, za proračune komponenata iz jednadžbe (2) koriste se i podaci o sadržaju vode u tlu, a pri tom je nužno poznavanje maksimalnih kapaciteta tla kao osnovnih podataka. Kad se raspolaže sa maksimalnim kapacitetima, iz njih se mogu uz izvjesne pretpostavke procijeniti sadržaji vode u tlu bez stvarnog mjerenja.

Promatrano područje jadranskog primorja ima izrazito heterogene karakteristike. Naime, to je pretežno krševito područje, prevladava kamenit vapnenac, u kojem se smjenjuju skoro potpuno kamenita područja s vrtačama (manjim obradivim površinama) ili s kraškim poljima (relativno velikim obradivim površinama). Osim toga, posebne karakteristike imaju izrazito planinska područja i područja u dolinama rijeka (Krka, Cetina i Neretva).

Međutim, bez obzira na navedenu raznolikost tla, ipak se uvidom u pedološke karte tog područja (Pedološki institut, 1984) mogu uočiti prevladavajući tipovi. Tako se prema gruboj procjeni može zaključiti da prevladavaju tri vrste tla: crvenica, smeđe tlo na vapnencu i crnica na vapnencu. Osim toga, ne uočava se bitnija razlika u kapacitetima navedenih vrsta tla međusobno, a čak ni u odnosu na vrste tla u ravničarskim predjelima SR Hrvatske.

Maksimalni kapacitet vode je u rasponu od 35% do 45% od ukupnog volumena. Drugim riječima, u 1 m dubine čistog tla može se spremati maksimalno od 350 do 450 mm vode, odnosno od 350 do 450 l/m². Budući da se vrijednosti najčešće kreću oko 400 mm na 1 m dubine (Pedološki institut, 1984), u ovom radu je uzeta ova vrijednost za osnovnu. Međutim, javlja se problem homogenosti dubine i kamenitosti tla u ovom području. Iz gore navedene literature može se razabrati da dubine tla variraju od 30 do 100 cm ili više. Osim toga, postoje i tla izrazite kamenitosti, čiji je kapacitet znatno smanjen u odnosu na čisto tlo.

U ovom radu će se uzeti u razmatranje tri vrste tla i po dubini: 30, 50 i 100 cm. Prema prethodnom, tlo dubine 30 cm ima maksimalni kapacitet 120 mm, tlo dubine 50 cm ima kapacitet od 200 mm i tlo od 1 m ima kapacitet od 400 mm. Pri tom, može se uzeti da gornji sloj od 20 cm ima kapacitet $S_{\max 1} = 80$ mm, a u donjem sloju varira od 40 do 320 mm što ovisi o dubini preostalog dijela tla. Na ovaj način u razmatranje neće biti uključena izrazito kamenita tla, iako komponente bilance vode jako ne ovisi o podlozi u hladnijim i oborinom bogatijim područjima pa se dobiveni rezultati mogu koristiti ponegdje i za kamenitija područja.

4. OPIS REZULTATA

Kada se raspolože teorijom iz točke 2 i podacima iz točke 3, može se pristupiti izradi algoritma za konačno rješenje problema izračunavanja komponenti bilance vode. Ovisno o mediju na kojem su pohranjeni podaci i raspoloživom računaru, pristupa se izradi programa čiji ulazni podaci mogu biti oni navedeni u točki 3 a izlazni podaci traženi rezultati.

U ovom slučaju podaci su bili na magnetofonskim vrpcama, a raspoloživo računalo je Sinclair ZX Spectrum 48 K. Program je napisan na programskom jeziku BASIC koji je lako prilagoditi za bilo koje drugo računalo ili jezik.

Ulazni podaci su dvadesetgodišnji nizovi mjesečnih vrijednosti temperature, relativne vlage i oborine kao i podaci o sadržaju vode u tlu za proračun komponenti početnog mjeseca. Budući da je siječanj zimski mjesec, ujedno i početni, pretpostavljeno je da su sadržaji vode u tlu u tom mjesecu jednaki maksimalnim kapacitetima tla. Tako je za tlo dubine 30 cm uzeto $S_1' = S_{\max 1} = 80$ mm i $S_2' = S_{\max 2} = 40$ mm, a za tla dubine 50 i 100 cm uzete su iste vrijednosti za S_1' kao i za 30 cm i za S_2' uzeti su kapaciteti od 120 i 320 mm sukcesivno.

Kao izlazni rezultati su srednje mjesečne vrijednosti oborine (P), stvarne evapotranspiracije (ET), gubitaka iz tla (L), procjeđivanja u tlo (R), otjecanja (RO) i sadržaja vode u tlu (S).

Ukupno su izrađene 174 tablice, po 58 za jednu dubinu tla. Budući da tabelarni prikaz cjelokupnih rezultata ograničava okvir ovog rada, izabrano je nekoliko tabelarnih primjera koji će ilustrirati godišnji hod komponenata bilance vode promatranog područja ovisno o dubini tla, a detaljniji prostorni pregled dan je u posebnim tablicama za slučaj dubine tla od 50 cm, što je vjerojatno najreprezentativnija dubina.

Opis godišnjeg hoda

U tablicama od 1 do 4 prikazani su rezultati proračuna za Delnice, Pulu, Imotski i Hvar sukcesivno, a na osnovi prikazanih rezultata može se primijetiti slijedeće:

a) DELNICE – tabela 1

Smještene su u planinskom zaleđu sjevernog Jadrana. Uočava se iz tabele periodički hod komponenata bilance vode. Maksimum oborine je u studenom i iznosi 325 mm, a minimum u lipnju 148 mm. Maksimum evapotranspiracije je u srpnju (73 mm), a minimum u siječnju i prosincu (7 mm). Maksimalni gubitak iz tla je u ljetnim mjesecima (7 mm), a u svim zimskim mjesecima jednak je nuli. Procjeđivanje u tlo je maksimalno u jesen (7 mm), i nula u ostalom dijelu godine. Otjecanje je maksimalno u studenom, a minimalno u srpnju. Sadržaj vode u tlu u zimskom dijelu godine jednak je maksimalnom kapacitetu tla, a tokom ljeta je nešto niži od njega.

Može se zaključiti da je periodički hod komponenata bilance vode pratilac godišnjeg hoda oborine i

Tabela 1. Srednje komponente bilance vode (mm) po mjesecima za razdoblje 1961–1980. za tri dubine tla: a) 30 cm, b) 50 cm i c) 100 cm

Stanica: DELNICE

Table 1. Monthly averages of water balance components (mm) for the period 1961–1980 for three depths of soil: a) 30 cm, b) 50 cm and c) 100 cm

Station: DELNICE

a)

MJESEC/ KOMP.	P	ET	L	R	RO	S
1	190	7	0	0	183	119
2	171	9	0	0	162	120
3	187	14	0	0	172	120
4	222	25	0	0	196	120
5	168	45	0	0	124	119
6	148	62	1	0	86	118
7	153	73	0	1	78	119
8	170	63	7	0	115	112
9	186	43	2	7	137	117
10	211	24	2	1	187	117
11	325	13	0	2	309	120
12	221	7	0	0	213	120

b)

MJESEC/ KOMP.	P	ET	L	R	RO	S
1	190	7	0	0	183	199
2	171	9	0	0	162	200
3	187	14	0	0	172	200
4	222	25	0	0	196	200
5	168	45	0	0	124	199
6	148	62	1	0	86	198
7	153	73	0	1	78	199
8	170	63	7	0	115	191
9	186	43	2	8	137	197
10	211	24	2	1	187	197
11	325	13	0	2	309	200
12	221	7	0	0	213	200

c)

MJESEC/ KOMP.	P	ET	L	R	RO	S
1	190	7	0	0	183	399
2	171	9	0	0	162	400
3	187	14	0	0	172	400
4	222	25	0	0	196	400
5	168	45	0	0	124	399
6	148	62	1	0	86	398
7	153	73	0	1	78	399
8	170	63	7	0	115	391
9	186	43	2	8	137	397
10	211	24	2	1	187	397
11	325	13	0	2	309	400
12	221	7	0	0	213	400

Tablica 2. Isto kao u tablici 1.

Stanica: PULA

Table 2. The same as in Table 1.

Station: PULA

a)

MJESEC/ KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1	82	26	2	8	49	115
2	63	30	2	0	34	113
3	60	37	6	3	25	110
4	75	55	6	3	22	110
5	58	81	27	0	4	83
6	52	98	47	0	2	36
7	44	78	34	0	0	5
8	87	86	6	7	0	11
9	90	71	6	24	0	35
10	74	60	16	27	4	49
11	121	42	0	43	36	92
12	84	29	0	16	39	108

b)

MJESEC/ KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1	82	26	2	16	42	181
2	63	30	2	4	30	184
3	60	37	6	6	23	184
4	75	55	6	3	22	184
5	58	82	27	0	4	156
6	52	107	56	0	2	100
7	44	101	56	0	0	47
8	87	96	16	7	0	42
9	90	75	10	24	0	63
10	74	60	17	28	2	79
11	121	42	0	64	15	142
12	84	29	0	24	30	167

c)

MJESEC/ KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1	82	26	2	22	35	347
2	63	30	2	16	18	361
3	60	37	6	14	15	369
4	75	55	6	6	20	372
5	58	82	28	0	4	344
6	52	113	63	0	2	281
7	44	123	78	0	0	206
8	87	112	32	7	0	185
9	90	82	17	24	0	199
10	74	62	19	28	2	214
11	121	42	0	73	6	287
12	84	29	0	38	16	325

temperature, ali ne uvijek u istom smislu. Nadalje, može se zaključiti da su evapotranspiracija, gubitak iz tla i procjeđivanje mali u usporedbi s oborinom čega je posljedica veliko otjecanje. U području Delnica u srpnju s 1m² oteče oko 80 l, a u studenom preko 300l. Dakle, Delnice su vodom bogato područje, što je interesantno za hidroprivredu.

Osim navedenog može se primijetiti da ne postoji bitna razlika u komponentama bilance vode bez obzira na to koja dubina tla se promatra, naravno uz izuzetak komponente S koja je u svim slučajevima blizu svom maksimumu. To je karakteristika hladnog i izrazito oborinskog područja.

b) PULA – tabela 2

Smještena je na obali sjevernog Jadrana. Kao i u Delnicama postoji sličan godišnji hod komponenta, ali se iznosi, odnosno razlike među njima izmjenili. Tako je oborine općenito znatno manje nego u Delnicama (uglavnom ispod 100 mm), evapotranspiracija, gubitak iz tla i procjeđivanje u tlo veći su nego u Delnicama, ali otjecanje i sadržaj vode u tlu su smanjeni.

Međutim, pored navedenog, ovdje je bitno primijetiti ovisnost komponenta bilance vode o kapacitetu, odnosno dubini tla. To je osobito interesantno za poljoprivredu. Ako je dubina tla 30 cm, rezerve u tlu su tokom ljeta male, a s povećanjem dubine tla znatno se povećavaju.

Dakle u priobalju, osim toga što su oborine u toku ljeta smanjene, a i male dubine tla mogu imati negativne posljedice po raslinje.

c) IMOTSKI – tabela 3

Smješten je u zaleđu srednjeg Jadrana. Ponovo postoji periodički hod sličan onom u Delnicama i Puli, ali s izraženijim amplitudama. To je prvenstveno posljedica većih amplituda u oborini. Tako na primjer, dok je otjecanje zimi dosta veliko (preko 100 mm), ljeti je svedeno na nulu kao i u Puli. Dakle, ovo područje je interesantno sa stanovišta taloženja rezervi vode samo u zimskom dijelu godine. Razvoj poljoprivrede je otežan nedovoljnom količinom vlage u tlu u ljetnom dijelu godine, osobito u predjelima s plitkim tlom. Jedan od načina obrane od ljetnih suša bila bi izgradnja akumulacionih jezera iz kojih bi se zimi prikupljena voda sistemom kanala tokom ljeta distribuirala u sušom ugrožene zone. Koliko je autoru poznato već postoje međurepublički planovi u tom smislu (između SR Hrvatske i B i H) čiju realizaciju treba očekivati u dogledno vrijeme.

d) HVAR – tabela 4

Smješten je na istoimenom otoku srednjeg Jadrana, na Hvaru. I ovdje se uočava periodički hod analogan prethodnim slučajevima, ali sa znatno manjim iznosima komponenti. Ovdje se uočava izrazito malo otjecanje i prilično mali sadržaj vode u tlu, iako tlo dubine 1 m raspolaže sa znatno većim rezervama nego tla dubine 30 i 50 cm.

Zaključak je da komponente bilance vode na odabranim lokacijama, kao predstavnicima širih područja s određenim tipom klime, imaju periodičan karakter. Periodičnost je najizraženija na području Imotskog, a nešto manje izrazita u ostalim navedenim područjima. Međutim, prostorni raspored komponenti moći će se bolje razjasniti iz tablica opisanih u slijedećem odlomku.

Tablica 3. Isto kao u tablici 1.
Stanica: IMOTSKI

Table 3. The same as in Table 1.
Station: IMOTSKI

a)

MJESEC/ KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1	140	26	1	0	115	118
2	130	31	2	1	99	117
3	116	42	3	1	75	116
4	110	61	4	1	51	115
5	84	92	33	1	23	84
6	74	108	38	1	2	48
7	45	87	42	0	0	9
8	65	72	10	3	0	6
9	78	75	6	8	0	15
10	148	61	3	39	51	56
11	221	42	0	51	127	108
12	185	30	0	11	144	120

b)

MJESEC/ KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1	140	26	1	0	114	198
2	130	31	2	1	99	197
3	116	42	3	1	75	196
4	110	61	4	1	51	195
5	84	93	34	1	23	163
6	74	115	46	1	2	119
7	45	115	70	0	0	52
8	65	90	27	3	0	32
9	78	81	11	8	0	37
10	148	62	4	52	37	92
11	221	42	0	76	102	169
12	185	30	0	29	125	199

c)

MJESEC/ KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1	140	26	1	11	103	396
2	130	31	2	3	97	397
3	116	42	3	1	75	396
4	110	61	4	1	51	395
5	84	94	35	1	23	362
6	74	121	51	1	2	312
7	45	140	95	0	0	221
8	65	120	58	3	0	171
9	78	93	23	8	0	165
10	148	66	8	58	32	224
11	221	42	0	110	69	334
12	185	30	0	51	103	386

Opis prostorne raspodjele

Kao nadopuna neposredno iznesenog izlaganja, a u cilju cjelovitijeg prostornog prikaza komponenata bilance vode, korišten je detaljniji prikaz rezultata. Uzet

Tablica 4. Isto kao u tablici 1.
Stanica: HVAR

Table 4. The same as in Table 1.
Station: HVAR

a)

MJESEC/ KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1	96	42	4	30	27	97
2	66	46	6	6	19	98
3	65	53	18	8	21	90
4	58	66	14	2	4	80
5	43	79	41	1	3	41
6	39	70	31	0	0	12
7	30	45	15	0	0	1
8	44	50	5	0	0	0
9	64	68	5	0	0	1
10	77	60	0	12	4	18
11	88	59	1	24	6	41
12	97	47	3	32	21	70

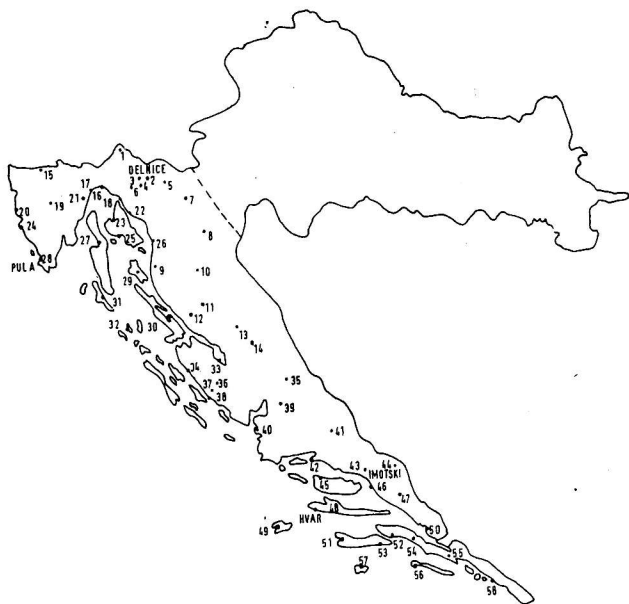
b)

MJESEC/ KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1	96	42	4	43	14	137
2	66	46	6	14	12	145
3	65	53	18	16	13	143
4	58	66	15	4	2	135
5	43	82	44	1	3	93
6	39	84	46	0	0	50
7	30	69	39	0	0	15
8	44	57	13	0	0	6
9	64	70	7	0	0	7
10	77	61	1	14	3	25
11	88	59	1	26	4	50
12	97	47	3	46	7	93

c)

MJESEC/ KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1	96	42	4	54	3	207
2	66	46	6	26	0	227
3	65	53	18	23	6	234
4	58	66	15	7	0	228
5	43	84	46	5	0	187
6	39	90	51	0	0	138
7	30	82	52	0	0	91
8	44	76	32	0	0	63
9	64	79	16	0	0	55
10	77	66	6	14	3	70
11	88	60	2	26	4	93
12	97	47	4	54	0	144

je mjesec srpanj kao mjesec s najmanjom količinom oborine i studenti s najvećom količinom oborine u godini. Osim prostorne usporedbe moći će se ovdje primijetiti i neki interesantni odnosi između ova dva mjeseca.



Sl. 1. Geografska karta SR Hrvatske, Brojevi na karti označavaju stanice iz tablice 5 i 6.

Fig. 1. Map of Croatia. Numbers on map, indicate the names of stations from Table 5 and 6.

a) oborina (P)

U tablici 5 prikazane su mjesečne količine oborine u srpnju. Maksimum oborine je u zaleđu sjevernog Jadrana (150 mm), a minimum na južnom dijelu Jadrana i otocima (< 50 mm). Između ta dva područja vrijednosti se kreću od 50 do 100 mm.

Raspodjela oborine u mjesecu studenom data je u tablici 6. Ponovo je apsolutni maksimum u zaleđu Riječkog zaljeva (> 300 mm), ali se javljaju i dva sekundarna maksimuma (> 250 mm) na području Velebita i Biokova. Općenito, duž cijelog zaleđa porast oborine u odnosu na srpanj je oko 150 mm, dok je uz samu obalu i na otocima znatno manji (od 50 do 100 mm). Dakle, osobito otočko područje znatno je siromašnije oborinom od obližnjeg zaobalja. Katkad su samo na desetak km udaljenosti velike razlike (područje Velebita i Biokova), što je posljedica orografije.

b) evapotranspiracija (ET)

Treba razlikovati pojmove potencijalne i stvarne evapotranspiracije. PE je evapotranspiracija koja je maksimalno moguća u datim meteorološkim okolnostima, a stvarna je ona koja je u prirodi zaista realizirana i može biti jednaka ili manja od potencijalne čemu je uzrok nedostatak vode.

Prikaz stvarne evapotranspiracije za mjesec srpanj dan je u tablici 5. Uočava se područje s ET < 100 mm i tri područja s ET > 100 mm. Interesantno je primijetiti kako planinsko zaleđe sjevernog Jadrana ima jednaku evapotranspiraciju kao i područje srednjeg i južnog Jadrana. U prvom slučaju to je posljedica nižih

Tablica 5. Srednje komponente bilance vode (mm) za razdoblje od 1961–1980. na jadranskom primorju za mjesec srpanj.

Table 5. Average values of water balance components (mm) from period 1961–1980 on Adriatic Coast for July.

STANICE/KOMP	P	ET	L	R	RO	S
1. Parg	140	74	1	0	66	198
2. Skrad	147	84	1	3	60	198
3. Delnice	153	73	0	1	78	199
4. Zalesina	152	71	0	3	77	197
5. Stara Sušica	149	75	0	0	73	200
6. Lokve Brana	147	72	2	0	76	197
7. Ogulin	140	100	7	9	38	188
8. Plaški	127	99	3	7	23	192
9. Zavižan	110	49	1	0	62	198
10. Ličko Lešće	71	88	22	3	1	165
11. Gospić	76	90	23	4	4	166
12. Baške Oštarije	96	77	12	3	28	187
13. Lovinac	80	92	26	5	9	168
14. Gračac	75	99	31	4	3	158
15. Abrami	101	125	33	2	7	142
16. Rijeka	93	140	50	0	3	98
17. Opatija	89	135	52	2	3	107
18. Kraljevica	73	134	61	0	0	85
19. Pazin	76	105	40	2	8	140
20. Poreč	61	110	50	0	1	98
21. Čepić	70	108	40	2	0	125
22. Crikvenica	66	123	60	0	3	83
23. Malinska	70	123	55	0	2	91
24. Rovinj	53	106	52	0	0	81
25. Krk	60	118	57	0	0	51
26. Senj	84	139	55	0	0	64
27. Cres	61	115	54	0	0	57
28. Pula	44	101	56	0	0	47
29. Rab	58	106	49	0	0	39
30. Pag	43	96	52	0	0	30
31. Mali Lošinj	44	102	57	0	0	39
32. Silba	43	99	57	1	0	52
33. Novigrad	49	115	66	0	0	46
34. Zadar	41	94	52	0	0	49
35. Knin	50	123	73	0	0	73
36. Benkovac	47	111	64	0	0	59
37. Vrana	37	95	58	0	0	37
38. Biograd	38	100	62	0	0	45
39. Drniš	57	116	65	5	1	98
40. Šibenik	31	79	47	0	0	14
41. Sinj	62	124	65	2	1	93
42. Split – Marjan	29	80	51	0	0	9
43. Šestanovac	55	125	72	2	0	57
44. Imotski	45	115	70	0	0	52
45. Sutivan	28	80	52	0	0	21
46. Makarska	45	102	57	0	0	38
47. Vrgorac	54	110	65	6	3	44
48. Hvar	30	69	39	0	0	15
49. Komiza	28	76	47	0	0	19
50. Opuzen	39	94	57	2	0	30
51. Vela Luka	20	69	48	0	0	18
52. Orebić	29	86	56	0	0	26
53. Korčula	26	79	53	0	0	32
54. Kuna	39	98	67	2	5	56
55. Ston	35	97	66	3	0	37
56. Goveđari	28	80	55	3	0	36
57. Lastovo	19	66	46	0	0	21
58. Dubrovnik	40	102	61	0	0	36

temperatura, a u drugom posljedica nedostatka raspoložive vode. Nadalje, može se primijetiti kako granice od 100 mm evapotranspiracije odvajaju područja s prevladavajućom zimzelenom od područja s prevladavajućom listopadnom vegetacijom (RHMZ SRH, 1971). To se može objasniti time što zimzeleno drveće zahtijeva manji transport vlage od listopadnog (Kolić, 1971). Ovaj podatak bi dakle mogao korisno poslužiti šumarima prilikom izbora vrste sadnica za neko podneblje. Logično je očekivati bolji uspjeh od onih sadnica kojima su klimatske prilike više naklonjene.

U tablici 6 prikazana je ET za mjesec studeni. U ovom mjesecu zbog sniženih temperatura ET je manja od 50 mm u zaleđu i na sjevernom Jadranu, dok je drugdje veća od 50 mm što pogoduje rastu zimzelenog primorskog bilja i u zimskom dijelu godine.

c) gubitak vode iz tla (L)

U tablicama 5 i 6 prikazani su gubici vode iz tla za srpanj i studeni sukcesivno. Slično kao i kod evapotranspiracije područje Like i Gorskog Kotara i otoka imaju slične vrijednosti (< 50 mm) u srpnju. U prvom slučaju razlog su velike količine oborine (veće od manjka u tlu) i djelomično niže temperature a u drugom nedostatku vode u tlu. Ostali dio promatranog područja ima $L > 50$ mm. U studenom skoro na cijelom području gubici iz tla su ravni nuli ili neznatno veći od nule na otocima okrenutim prema otvorenom moru. Dakle, tlo se puni vodom u tom mjesecu ako nije već zasićeno.

d) procjeđivanje vode u tlo (R)

Procjeđivanje vode u tlo moguće je prema ovom modelu ako je oborina veća od ET i ako tlo nije zasićeno vodom. Kao što se vidi iz tablice 5, procjeđivanje je u srpnju uz obalu i na otocima jednako nuli, a u zaleđu je nešto veće od nule.

U tablici 6 je prikaz procjeđivanja u studenom. Minimum je u zaleđu sjevernog Jadrana i na otocima iz već spomenutog razloga. U prvom slučaju to je zasićenost tla a u drugom nedostatak oborine. U preostalim djelovima područja vrijednosti procjeđivanja su veće od 50 mm.

e) otjecanje (RO)

U tablicama 5 i 6 izvršen je prikaz otjecanja za srpanj i studeni sukcesivno. Ovo su za hidroprivredu najinteresantniji podaci. Iz tablice 6 (prikaz za srpanj) vidi se da je jedino interesantno područje kvarnerskog zaleđa (> 50 mm) dok su u ostalom dijelu otjecanja jednaka nuli ili nešto veća od nule u Lici i dijelu Istre.

Za razliku od srpnja mjesec studeni je bogat s vodom koja se pripisuje otjecanju. Raspodjela je slična raspodjeli oborine s tim što su vrijednosti manje od oborinskih. Maksimum je također u zaleđu Kvarnera (> 250 mm), a javljaju se i sekundarni maksimumi, jedan na području Velebita (također > 250 mm) i drugi na području Biokova (> 100 mm).

Ako se broj mm (broj l/m^2) pomnoži s brojem m^2 , moguće je dobiti procjenu količine vode koja oteče s neke površine za jedan mjesec izraženu u litrima.

Tablica 6. Isto kao u tablici 5 osim za studeni.

Table 6. The same as Table 5 except for November.

STANICE/KOMP.	P	ET	L	R	RO	S
1. Parg	251	17	0	3	230	200
2. Skrad	220	19	0	4	196	200
3. Delnice	325	13	0	2	309	200
4. Zalesina	245	17	0	2	225	200
5. Stara Sušica	229	19	0	2	207	200
6. Lokve Brana	351	17	0	2	332	200
7. Ogulin	195	24	0	6	165	200
8. Plaški	190	23	0	7	158	200
9. Zavižan	242	12	0	3	226	200
10. Ličko Lešće	161	24	0	20	116	199
11. Gospić	202	20	0	12	169	200
12. Baške Oštarije	285	15	0	2	267	200
13. Lovinac	235	21	0	13	200	200
14. Gračac	303	23	0	12	266	200
15. Abrami	146	35	0	31	80	196
16. Rijeka	188	47	0	54	86	194
17. Opatija	247	41	0	42	163	200
18. Kraljevica	173	53	0	61	58	190
19. Pazin	161	27	0	19	114	200
20. Poreč	120	37	0	45	37	178
21. Čepić	156	30	0	34	91	197
22. Crikvenica	169	47	0	53	68	175
23. Malinska	191	42	0	49	99	193
24. Rovinj	121	38	0	52	31	166
25. Krk	165	48	0	69	48	161
26. Senj	193	53	0	67	73	163
27. Cres	154	45	0	65	43	157
28. Pula	121	42	0	64	15	142
29. Rab	167	54	0	60	52	153
30. Pag	168	52	0	54	62	129
31. Mali Lošinj	137	54	0	61	21	132
32. Silba	157	53	0	68	36	135
33. Novigrad	136	46	0	60	29	136
34. Zadar	142	50	0	49	42	150
35. Knin	142	40	0	53	48	163
36. Benkovac	135	41	0	55	38	147
37. Vrana	119	42	0	57	19	124
38. Biograd	127	47	0	49	30	133
39. Drniš	137	35	0	51	51	169
40. Šibenik	124	56	0	55	11	101
41. Sinj	173	34	0	56	82	182
42. Split – Marjan	120	59	0	52	8	82
43. Šestanovac	229	47	0	76	106	182
44. Imotski	221	42	0	76	102	169
45. Sutivan	114	45	1	62	8	100
46. Makarska	172	62	0	70	39	129
47. Vrgorac	262	39	0	42	180	182
48. Hvar	88	59	1	26	4	50
49. Komiža	97	57	4	36	7	65
50. Opuzen	187	51	0	63	72	161
51. Vela Luka	114	51	0	46	16	90
52. Orebić	157	60	0	56	41	137
53. Korčula	147	57	0	49	41	134
54. Kuna	195	36	0	44	113	189
55. Ston	204	49	0	47	107	167
56. Goveđari	113	55	0	36	21	107
57. Lastovo	79	49	1	24	7	57
58. Dubrovnik	156	69	1	37	58	167

f) sadržaj vode u tlu (S)

Konačno, u tablicama 5 i 6 prikazani su sadržaji vode u tlu koji nisu eksplicite izraženi u jednadžbi (2). U srpnju postoje područja skoro potpunog zasićenja (Gorski Kotar) kao i područja s veoma malim zalihama vode u tlu (jadranski otoci). Razlog za ovakve razlike su razlike u količinama oborine i djelomično razlike u temperaturama. S obzirom na ovakve okolnosti lako je objasniti razloge bujnosti šuma Like i Gorskog Kotara i kržljivost onih duž većeg dijela jadranske obale i otoka. Čak i ako bi se pretpostavila kontinuirana dubina tla od 50 cm (kao na ovom prikazu), bez umjetnog navodnjavanja ne bi se mogli očekivati osobiti rezultati ni od poljoprivrede u samom priobalju i otocima.

Kao i u srpnju raspored izolinija količina vlage u tlu je ostao i u studenom, samo što su se područja većih vrijednosti pomjerila prema jugu i područje maksimalnog zasićenja proširilo na cijelo zaleđe sjevernog Jadrana.

Prikazi dati u tablicama 5 i 6 su samo primjeri od mogućih 36 iz dobivenih rezultata s obzirom na to da postoji 12 mjeseci u godini i tri dubine tla. No s obzirom na izbor tablica i ovim parcijalnim prikazima obuhvaćene su važnije karakteristike bilance vode promatranog dijela jadranskog primorja.

5. ZAKLJUČAK

Palmerov postupak izračunavanja komponenti bilance vode moguće je primijeniti za različite vrste podloge. Budući da je jadransko primorje osobito heterogeno sa stanovišta podloge, problem je riješen tako što su proračuni vršeni za tri različite dubine tla: 30, 50 i 100 cm, jer je uvidom u odgovarajuću stručnu literaturu ustanovljen takav prevladavajući raspored tla. U principu biranje broja vrsta i dubina tla je neograničeno sa stanovišta Palmerove teorije budući da se bilanca vode po ovoj metodi može izračunavati, teoretski gledano, za svaki m² posebno. Međutim, to je nepotrebno s obzirom na to što Palmerova teorija uzima i neke druge idealizacije (kontinuirano padanje oborine i sl.). No ako bi se još poboljšala Palmerova teorija, svaka detaljizacija u smislu izbora vrste tla dobiva veći smisao, što je najvažnije za obalu i otoke gdje su ovisnosti o vrsti podloge izraženije nego u zaleđu.

Dobiveni rezultati dali su opću sliku o komponentama bilance vode na jadranskom primorju. Tako je ustanovljeno da su komponente izrazito periodičkog karaktera s ekstremnim vrijednostima u različitim godišnjim dobima (misli se na različite komponente). Najveća je ovisnost komponenti o količini oborine, zatim o temperaturi, ali u suprotnom smislu, te o vrsti tla. Zbog toga što su količine oborine najveće a temperature najniže u zaleđu sjevernog Jadrana, nasuprot otvorenom moru južnog Jadrana, kod nekih komponenata postoje sličnosti dok su kod drugih izrazite razlike, ako se pretpostave ista svojstva tla.

Navedeni rezultati ne mogu se uzeti kao konačni, ali mogu poslužiti kao stepenica za daljnja istraživanja na ovom, s gledišta bilance vode, vrlo složenom i zanimljivom području.

LITERATURA

- EAGLEMAN, J. R., 1967: Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration. *J. Appl. Meteorol.*, 6, 482–488.
- KOLIĆ, B., 1978: Šumarska ekoklimatologija. Naučna knjiga, Beograd.
- PALMER, C. W. 1965: Meteorological drought. U. S. department of commerce. Research paper No 45, Washington.
- PANDŽIĆ, K. ŠUBARIĆ, Z., 1984: Precipitation amount as the most important drought indicator. *Zbornik meteoroloških i hidroloških radova*, 10, Beograd, 303–306.
- PENZAR, B., MAKJANIĆ, B.: 1978. Uvod u opću klimatologiju; PMF, Zagreb.
- PENZAR, B., 1976: Indeksi suhoće za Zagreb i njihova statistička prognoza; Rep. hidromet. zavod SR Hrvatske, Rasprave i prikazi, 13, Zagreb, 1–58.
- Pedološki institut, 1984: Pedološke karte SR Hrvatske; Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
- RHMZ SRH, 1971: Klimatološki podaci SR Hrvatske; Republički hidrometeorološki zavod SR Hrvatske, Zagreb.

SUMMARY

Palmer (1965) presented a theory which can be used for calculation of water balance components. These calculation were made for the region of Zagreb by B. Penzar (1976).

In this paper these components were calculated for the eastern Adriatic coastal region. For this purpose, the time-series of monthly values for rainfall, relative humidity and temperature from period 1961–1980 and capability of soil data were used.

Water balance components for Delnice, Pula, Imotski and Hvar are presented in Tables 1 – 4 sucesively, for depths of soil 30, 50 and 100 cm. It is evidently from these tables that components have periodic character.

More detailed distribution on considered area in Tables 5 and 6 are presented for July and November sucesively for depth of soil 50 cm. From these presentation it is evidently that there are more account of water in north of considered region than in south and more in winter than summer.

Obtain results can to use in forestry, agriculture, electrical industry and elsewhere as well as an stap for further investigation on these problems.