

ZAVISNOST OSNOVNIH KOMPONENTI HIDROLOŠKOG BILANSA SRBIJE*

Dr Dragoslav ISAILOVIĆ, dipl. inž. građ.
Prof. dr Stevan PROHASKA, dipl. inž. građ.
Brankica MAJKIĆ, dipl. inž. geol.
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ - Beograd

REZIME

U ovom radu je prikazan hidrološki bilans prosečnih voda Srbije. Na osnovu elemenata tog bilansa i dodatnih podataka iz bliže regije (Bosna i Hercegovina, Crna Gora) i šireg okruženja (sliv Dunava) uopštena je zavisnost oticanja od bruto padavine. Ovaj odnos se bazira na uobičajenim meteorološkim osmatranjima (padavine, P_b) na stanicama u okviru rečnih slivova i hidrološkim merenjima (proticaji, P_n) na vodotocima. Na osnovu izvedene relacije može se jednostavno, na bazi veličine bruto padavina, odrediti orijentaciona prosečna vrednost neto padavina (oticanja) sa neizučenih rečnih slivova, tj sa slivova na kojima ne postoje hidrološka osmatranja i merenja.

Ključne reči: bruto padavine, neto padavine (oticanje), evapotranspiracija, hidrološki bilans, koeficijent oticanja.

1. UVODNA OBRAZLOŽENJA

Zahvaljujući prirodnim činiocima koji definišu režim voda i raznim antropogenim uticajima na modifikaciju pojedinih elemenata režima, količine i kvalitet voda variraju u vremenu i prostoru. Ova osobina voda je determinirajući faktor za planiranje i provođenje svih radova i mera, kojima se obezbeđuju uslovi za razne vidove korišćenja i upotrebe voda, za zaštitu kvaliteta vode i za zaštitu od štetnog delovanja voda.

Ocena režima voda vrši se na bazi obimnih analiza podataka merenja meteoroloških i hidroloških elemenata na velikom broju lokaliteta. Ove ocene zahtevaju prvenstveno dugotrajne nizove podataka o osmatranju padavina i oticanja. Prikupljanje takvih

podataka iziskuje blagovremno planiranje i značajna finansijska sredstva.

Zbog jednostavnosti rada i troškova vezanih za izvršenje poslova, redovna osmatranja i merenja padavina vrše se na relativno velikom broju tačaka, ne samo u Srbiji nego i širom sveta. Ova osmatranja omogućavaju da se formira prostorna slika rasporeda padavina na širem prostoru. Nasuprot tome, hidrološka merenja vrše se na znatno manjem broju lokaliteta i uglavnom na većim vodotocima, što ne daje mogućnost preciznog sagledavanja prostorne raspodele oticaja.

Upravljanje vodama i/ili izgradnja hidrotehničkih objekata često zahtevaju da se izvrši procena hidrološkog režima na neizučenim slivovima, tj. na manjim vodotocima ili na lokalitetima na kojima nisu blagovremeno prikupljeni hidrološki podaci. Vodni bilans je jedan od prvih faktora čije celovito i sveobuhvatno sagledavanje je nužno radi vrednovanja raspoloživih resursa. U cilju stvaranja uslova za preliminarnu ocenu prosečnog oticanja sa malih slivova, korisno je uspostaviti jednostavan generalizovani model, koji daje mogućnost da se na osnovu raspoloživih podataka oceni njegova orijentaciona veličina.

U datim uslovima, javlja se potreba da se modelira opšte ponašanje prosečnog oticanja. Jedan takav model, za Srbiju i bliže okruženje, prikazan je u ovom radu. Da bi se proverile njegova stabilnost i pouzdanost, izvršene su dodatne analize na bazi korišćenja većeg broja podataka iz celokupnog sliva Dunava. U ovom radu je načinjen pokušaj da se model zasniva na rutinski prikupljenim podacima u okviru hidrometeorološke službe. Preciznije, u radu je uspostavljen jednostavan odnos

* Ovaj članak rezultat je rada na projektu 410016 - Izrada vodoprivrednog bilansa Srbije

između bruto padavina i neto padavina (oticanja). Model se, naročito u preliminarnim razmatranjima, može efikasno koristiti za orijentacionu ocenu prosečnog oticanja na hidrološki neizučnim slivovima, a iz toga se, na osnovu jednačine (1), može oceniti i orijentaciona vrednost stvarnog isparavanja - (evapotranspiracije). Nadalje, opisani model može, uz pojednostavljene pretpostavke, dati preliminarnu ocenu promene oticanja izazvanu klimatskim promenama.

2. POLAZNE OSNOVE

Osnovna jednačina hidrološkog bilansa u nekom području za određeni vremenski period može se predstaviti prostom jednačinom:

$$P_b = P_n + E_s \quad (1)$$

gde oznake u jednačini (1) imaju uobičajeno značenje:

P_b Bruto padavine

P_n Neto padavine (oticanje) sa posmatranog prostora

E_s Stvarnu evapotranspiraciju

Uobičajenim hidrometeorološkim osmatranjima su obuhvaćena merenja padavina P_b u slivu i oticanja, Q , na većem broju lokaliteta. Na osnovu dugogodišnjih rezultata tih merenja može se na određenoj teritoriji – (slivu) odrediti prosečan sloj padavina, P_b , što se najčešće prikazuje na odgovarajućim kartama. Druga komponenta hidrološkog bilansa, P_n , utvrđuje se na osnovu zapremine oticanja sa posmatranog sliva ili slivova, na bazi izmerenih proticaja, Q . Na taj način, iz jednačine (1) može se ustanoviti preostala nepoznata veličina, E_s .

Stvarna evapotranspiracija, E_s , je veoma složen proces, jer zavisi od velikog broja čimilaca koji su veoma varijabilni u vremenu i prostoru: temperature i vlažnosti vazduha, količine i unutargodišnjeg rasporeda padavina, morfoloških i geoloških odlik terena, biljnog pokrivača i dr. Sa druge, direktna merenja stvarne evapotranspiracije E_s , zbog složenosti i obima poslova i troškova vezanih za njihovo izvršenje, obično se ne vrše ili se vrše na veoma ograničenom broju lokaliteta. U takvim uslovima korektna i pouzdana slika izmerenih vrednosti stvarne evapotranspiracije, E_s , na širem prostoru ne postoji.

Pošto se stvarna evapotranspiracija, E_s , ne meri direktno, ona se obično ocenjuje na osnovu rezultata matematičkih modela za određivanje srodnih procesa kao što su potencijalna evapotranspiracija, E_p , i

isparavanja sa vodene površine E_v . U hidrotehničkoj praksi je poznat čitav niz empirijskih metoda i postupaka za modeliranje tih procesa. Ovi modeli su razvijeni od strane istaknutih naučnika koji su se bavili ovom problematikom i globalno se mogu svrstati u dve grupe:

- U prvu grupu spadaju modeli procene potencijalne evapotranspiracije, E_p , bazirani na merenjima meteoroloških karakteristika (temperature vazduha, vlažnosti vazduha, sunčeve radijacije, brzine vetra i sl.), kao i stanja vegetacije na slivu;
- Drugu grupu čine modeli kojima se procenjuje isparavanje sa vodene površine (evaporacija), E_v . Ovi modeli, takođe, koriste meteorološke podatke i kalibriraju se na osnovu merenja isparavanja iz suda u skladu sa važećim standardima hidrometeorološke službe i preporukama Svetske meteorološke organizacije. Takva merenja po pravilu ne vrše se na velikom broju lokaliteta.

Dva navedena procesa, po svojoj prirodi moraju zadovoljiti uslov:

$$E_p \geq E_s$$

$$E_v \geq E_s$$

Prema tome, na osnovu ovih modela može se odrediti samo gornja granična vrednost stvarne evapotranspiracije, E_s . Pošto nema praktičnog načina za merenje stvarne evapotranspiracije u složenim terenskim uslovima, razvijene su brojne empirijske i teoretske metode za njen proračun.

U ovom radu neće biti detaljno govora o empirijskim i matematičkim modelima i postupcima za određivanje E_s , E_p i E_v . Takvi postupci su detaljno opisani u brojnoj literaturi (na primer Prohaska [7]). Umesto toga, zaključci koji se izvode u daljem tekstu, bazirani su isključivo na merenjima padavina i oticanja.

Kako bi se mogla izvršiti određena upoređivanja rezultata iz ovog rada sa veličinama potencijalne evapotranspiracije, E_p , i stvarne evapotranspiracije, E_s , na ovom mestu se navode rezultati iz aktivnosti Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije na određivanju potencijalne i stvarne evapotranspiracije. Tabela 1 daje procenjene vrednosti ovih pojava na nekoliko lokaliteta u Srbiji. Prikazane veličine zapravo predstavljaju rezultate proračuna pomoću matematičkog modela WATBAL [12].

Tabela 1. Potencijalna i stvarna evapotranspiracija u Srbiji (sračunate po modelu WATBAL)

| Profil | E_p (mm/god) | E_s (mm/god) |
|--------------------------|-------------------|-------------------|
| Bastasi | 554 | 431 |
| Lopatnica-lakat | 554 | 417 |
| Jasika | 677 | 557 |
| Korvingrad | 715 | 544 |
| Mojsinje | 689 | 573 |
| Ljubičevski Most | 797 | 529 |
| Draževac | 786 | 570 |
| Tamnić | 699 | 496 |
| Bogojevo | 764 | 575 |
| Bajina Bašta | 527 | 233 |
| Sremska Mitrovica | 1.254 | 718 |
| Slankamen | 820 | 504 |
| Jaša Tomić | 696 | 480 |
| Begej | 1.300 | 726 |
| Prahovo | 730 | 476 |
| Pančevo | 824 | 413 |
| Nera | 1.228 | 595 |
| Prosek | 801 | 519 |

Analiza vrednosti E_p , odnosno E_s iz tabele 1 ukazuje da, za manji broj stanica (Sremska Mitrovica, Begej i Nera), postoje značajna odstupanja u odnosu na većinu ostalih stanica, a i u odnosu na rezultate dobijene na bazi merenja i osmatranja, koji će biti prikazani kasnije. U ovom radu nisu detaljno analizirani razlozi tih odstupanja. Međutim, imajući u vidu metodologiju rada korišćenu za dobijanje ovih rezultata, osnovano se može pretpostaviti da su vrednosti na navedenim stanicama precenjene, što je verovatno rezultat raspoloživih podataka koji se koriste u veoma složenim procedurama proračuna u okviru korišćenog modela. Sa druge strane, verovatno iz sličnih razloga, na stanici Bajina Bašta, i potencijalna i stvarna evapotranspiracija su verovatno podcunjene. U tabeli 1, osenčeni su redovi sa rezultatima koji su ocenjeni kao nerealni.

Za potrebe dodatnog poređenja razmatranih veličina mogu se takođe navesti rezultati merenja isparavanja sa vodene površine za period 1950. - 1959. za Beograd, koji iznose oko 830 mm/god. Ako se ove vrednosti koriguju iskustvenim faktorom (0,7 u vanvegetacionoj sezoni i 0,8 u vegetacionom periodu), prosečna godišnja potencijalna evapotranspiracija bi iznosila oko 635 mm [13].

Iako se ne može napraviti precizno poređenje prihvaćenih vrednosti E_s iz tabele 1 sa veličinama dobijenim na drugi način (videti u tabeli 2), može se konstatovati da su one međusobno dosta slične, premda im je prosek za desetak procenata niži nego u tabeli 2. Ovo pitanje će ponovo biti diskutovano u narednim poglavljima.

Uprkos činjenici da se za određivanje potencijalne i stvarne evapotranspiracije koristi veliki broj metoda i modela, može se konstatovati da ne postoji univerzalna i pouzdana metoda za precizno određivanje stvarne evapotranspiracije. Zbog toga se ona najčešće definiše ili kontroliše na osnovu obimnih merenja i analiza podataka o padavinama i oticanja na osnovu relacije date jednačinom (1).

3. CILJ I ZADATAK RADA

Cilj ovog rada je da na koncizan način globalno prikaže sliku hidrološkog bilansa površinskih voda Srbije i stvori uslove za orijentacionu ocenu bilansa na neizučnim rečnim slivovima. U okviru tako zacrtanog cilja, zadatak ovog rada je da:

- Prikaže orijentacioni višegodišnji prosečni bilans površinskih voda, koje se stvaraju na teritoriji Srbije,
- Generalizuje odnos osnovnih komponenti hidrološkog bilansa - bruto padavina, P_b , i specifičnog oticanja, q , izraženog preko neto padavina, P_n ;
- Ukaže na generalno ponašanje koeficijenta oticanja, η , u zavisnosti od padavina i definiše njegove orijentacione promene u uslovima promene padavina;
- Stvori uslove za orijentacionu i globalnu ocenu efekata eventualnih klimatskih promena;
- Podstakne razmišljanja o merama i aktivnostima neophodnim za ublažavanje problema koji proističu iz, u svetu sve više najavljenih, klimatskih promena.

Tako uspostavljeni odnosi omogućavaju da se izvedu preliminarni zaključci o generalnom ponašanju i veličini glavnih komponenti hidrološkog bilansa na širem prostoru u dužem vremenskom periodu.

Na rezultate prikazane u ovom radu ne treba gledati kao na preciznu kvantifikaciju hidrološkog bilansa Srbije. Treba, dakle, imati u vidu da ovaj rad predstavlja, pre

svoga, pokušaj da se ukaže na opšte odnose koji vladaju među najvažnijim komponentama bilansa na rečnim slivovima. Međutim, za preciznije sagledavanje pojedinih veličina u manjim slivovima, a posebno u kraćim vremenskim periodima (kao što je na pr. kalendarska ili hidrološka godina) nezamenljiva su dugogodišnja osmatranja i merenja i obimne analize raznovrsnih hidrometeoroloških podataka.

4. METODOLOGIJA I OBIM IZUČAVANJA

Za izradu prikaza koji argumentuju tvrdnje iznete u ovom radu korišćeni su podaci i rezultati iz brojne domaće i strane dokumentacije. Najznačajnija dokumentacija navedena je u opisu literature i dokumentacije (Vodoprivredna osnova Srbije - [1], Vodoprivredna osnova Crne Gore - [2], Studija „Vode za 21 vek“ - [3] i studija pod nazivom „Neki vodoprivredni problemi Tare i Morače“ - [4]. Da bi se dobijeni rezultati dodatno verifikovali, u radu su iskorišćeni podaci iz dokumentacije autora ovog rada za susedne regione (Hidrologija – zbirka rešenih zadataka - [8]) i iz monografije "Palaeogeography of the Danube and its Catchment" - [5]. Naknadno su pridodati rezultati osmatranja i merenja sa malih slivova u Slovačkoj, da bi se donekle proverilo kako se oni uklapaju u već korišćene podatke (Impact of Climate Changes on Hydrological Regime in Slovakia - [6].

S obzirom na postavljene ciljeve i obim neophodnih podataka, za razmatranja koja slede nisu vršene osnovne hidrološke obrade i analize, već su rezultati obrada preuzeti iz navedene dokumentacije. Imajući u vidu da rezultati obrada potiču iz različitih godina i da su ih sačinili razni autori, osnovano se može pretpostaviti da su obrade provedene za različite dužine vremenskih serija i po neujednačenim metodologijama. Ova okolnost u izvesnom smislu upućuje na određenu dozu opreza kod analize i prihvatanja prezentiranih zaključaka. Međutim, tu činjenicu treba staviti u drugi plan ako se ima na umu osnovni cilj rada da se hidrološki bilans uopšti i orijentaciono prikaže njegovo ponašanje na relativno širokom i heterogenom prostoru. Preciznije vrednovanje razmatranih pojava treba obaviti na bazi hidroloških merenja i obimnih izučavanja svakog konkretnog sliva.

Prema tome, na prikazane rezultate i ne treba gledati kao na preciznu sliku kvantitativnog režima voda Srbije. Naprotiv, treba nastaviti obimne radove na istraživanjima i analizama pojedinih elemenata bilansa (osmatranja i merenja, hidrološke obrade i studije i dr.).

5. OSNOVNE KOMPONENTE HIDROLOŠKOG BILANSA

Hidrološki bilans Srbije u okviru ovog rada biće posmatran pojednostavljenom metodologijom. Kako je to već prethodno rečeno, analiziraće se samo njegove tri osnovne komponente navedene u jednačini 1.

Da bi se ilustrovale prostorne promene hidrološkog bilansa domicilnih voda, u tabeli 2 prikazane su njegove osnovne komponente, izvedene na osnovu dugogodišnjih merenja, osmatranja i hidroloških analiza. Tabela je sačinjena na osnovu podele Srbije na dvadeset regiona, kako je to učinjeno u studiji [3]. Osnovni hidrološki podaci za ovo područje su preuzeti iz studije [1], gde su provedene veoma obimne obrade za period 1946 – 1991.

Iz tabele 2 proizilaze sledeći značajni zaključci:

- Prosečne godišnje padavine u višegodišnjem nizu za teritoriju cele Srbije su 732 mm.
- Najveće su na rubnim regionima (Beli Drim, Lim, Drina, Zapadna Morava) gde u proseku dostižu 800 - 900 mm/god., a najmanje u Vojvodini – od 550 - 650 mm/god.;
- Kao posledica navedenog stanja, specifična oticanja se kreću između 1 i 2 L/s-km² u Vojvodini, pa do oko 12 - 13 L/s-km² u slivu Lima i Belog Drima.
- Prosečno sa teritorije Srbije otiče samo 25%, dok se kroz evapotranspiraciju izgubi oko 75% padavina;
- Gledano po regionima, oticanje je najmanje u Vojvodini - ispod 10% od i onako niskih padavina, a najveće u slivu Lima i Belog Drima, gde prelazi 45%;

Ilustracije radi treba istaći da je specifično oticanje u nekim veoma bliskim slivovima [2] reda veličine oko 40 L/s-km² (Piva, Tara) pa čak i 60 L/s-km² (Morača).

Osrednjene vrednosti prosečnog oticanja za Srbiju po regionima i njihov prostorni raspored može se videti u literaturi [11], pa se u ovom radu neće prikazivati. Ako se imaju u vidu opšte poznate činjenice (geomorfološka slika Države, gustina naseljenosti i stepen privrednih aktivnosti), rezultati navedeni u tabeli 1, ilustrativno pokazuju da domaćih voda ima najmanje tamo gde su potrebe za vodom najveće (severni i centralni delovi zemlje) i obrnuto (jugozapadna rubna područja). Pored toga, može se orijentaciono konstatovati da je, zbog gustine naseljenosti i većeg obima privrednih aktivnosti, stepen zagađenosti, generalno uzevši, u obrnutoj srazmeri sa raspoloživim količinama voda.

Tabela 2. Osnovne komponente hidrološkog bilansa Srbije

| RB | Region | Površina regiona | Bruto padavine | Stvarno oticanje | Sloj oticanja | Sloj isparavanja | Specifično oticanje | Koeficijent oticanja |
|-----|-----------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| | | F (km ²) | P _b (mm/god) | Q (m ³ /s) | P _n (mm/god) | E _s (mm/god) | q (L/s-km ²) | η (%) |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
| 1 | Gornja Bačka | 4.609 | 565 | 4,33 | 30 | 535 | 0,94 | 5,2 |
| 2 | Donja Bačka | 4.545 | 621 | 5,93 | 41 | 580 | 1,30 | 6,6 |
| 3 | Gornji Banat | 4.235 | 575 | 4,04 | 30 | 545 | 0,95 | 5,2 |
| 4 | Donji Banat | 4.570 | 650 | 5,96 | 41 | 609 | 1,30 | 6,3 |
| 5 | Srem | 3.894 | 657 | 8,55 | 69 | 588 | 2,20 | 10,5 |
| 6 | Drina | 3.623 | 858 | 29,42 | 256 | 602 | 8,12 | 29,8 |
| 7 | Kolubara | 5.445 | 746 | 24,92 | 144 | 602 | 4,58 | 19,3 |
| 8 | Donji Dunav | 3.608 | 790 | 22,46 | 196 | 594 | 6,23 | 24,8 |
| 9 | Timok | 4.751 | 737 | 33,5 | 222 | 515 | 7,05 | 30,1 |
| 10 | Lim | 3.119 | 810 | 39,25 | 396 | 414 | 12,58 | 48,9 |
| 11 | Gornja Zapadna Morava | 4.746 | 856 | 41,9 | 278 | 578 | 8,83 | 32,5 |
| 12 | Ibar | 5.342 | 768 | 37,44 | 221 | 547 | 7,01 | 28,7 |
| 13 | Donja Zapadna Morava | 5.915 | 768 | 47,34 | 252 | 516 | 8,00 | 32,8 |
| 14 | Binačka Morava | 1.561 | 709 | 8,24 | 166 | 543 | 5,28 | 23,5 |
| 15 | Gornja Južna Morava | 3.136 | 750 | 24,41 | 245 | 505 | 7,78 | 32,7 |
| 16 | Srednja Južna Morava | 3.642 | 753 | 24,46 | 212 | 541 | 6,72 | 28,1 |
| 17 | Donja Južna Morava | 7.413 | 711 | 45,04 | 191 | 520 | 6,08 | 26,9 |
| 18 | Gornja Velika Morava | 4.529 | 710 | 19,45 | 135 | 575 | 4,29 | 19,1 |
| 19 | Donja Velika Morava | 4.820 | 704 | 16,69 | 109 | 595 | 3,46 | 15,5 |
| 20 | Beli Drim | 4.858 | 919 | 65,44 | 424 | 495 | 13,47 | 46,2 |
| | SRBIJA | 88.361 | 732 | 508,8 | 182 | 551 | 5,76 | 0,25 |

6. ODNOS OSNOVNIH KOMPONENATA HIDROLOŠKOG BILANSA

Proces pretvaranja padavina u oticanje zavisi od velikog broja različitih prirodnih faktora (klimatski, morfološki, geološki, pedološki i sl.), a takođe je pod uticajem stanja vegetacije i poljoprivrednih useva. Međutim, u određenim regijama neki faktori su ipak slični, tako da se javlja manji broj najuticajnijih činilaca, koji dopuštaju da se uspostavi odnos između osnovnih uzročnih činilaca i oticanja. Na taj način se generalizuje oticanje u posmatranom prostoru i stvaraju se uslovi za izvlačenje orijentacionih zaključaka o globalnom odnosu padavina i oticanja. U okviru izrade ove dokumentacije se pošlo od pretpostavke da dominantan uticaj na oticanje imaju režimi padavina.

Imajući u vidu navedene konstatacije, a na osnovu iskustva autora stečenog kroz analiziranje regionalnih karakteristika oticanja i padavina u pojedinim regionima bivše Jugoslavije, zaključeno je da linearna zavisnost zadovoljavajuće dobro aproksimira odnos višegodišnjih prosečnih vrednosti bruto padavina, P_b, i neto padavina, P_n. Ovakav odnos, kao što će se kasnije videti, veoma je jednostavan i može se lako koristiti za određivanje i razumevanje pojedinih karakteristika oticaja.

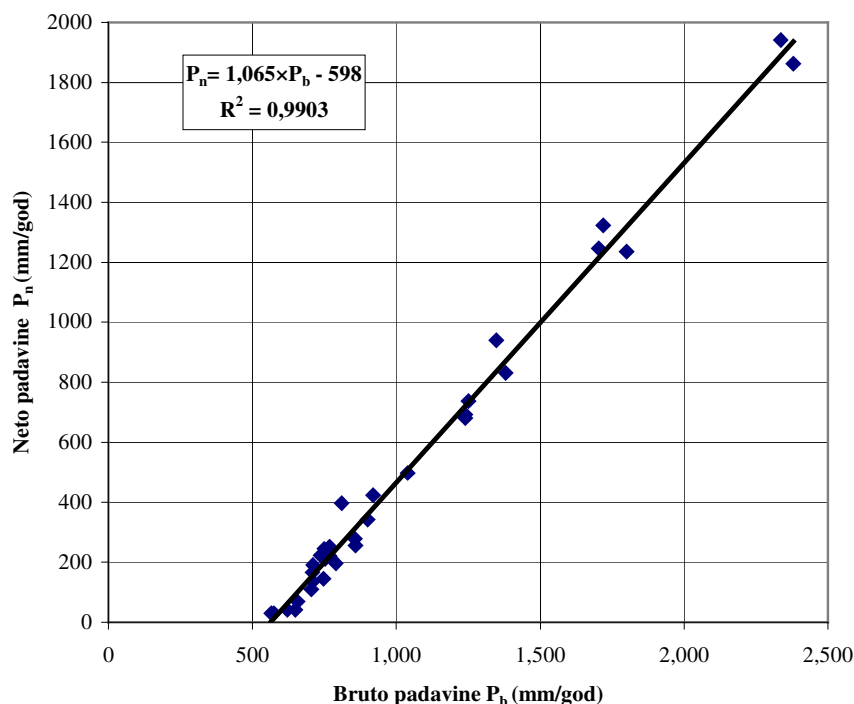
Za uspostavljanje navedenog odnosa u ovom radu, korišćene su veličine prikazane u tabeli 2 za 20 regiona u Srbiji. Pouzdanost rezultata bila bi relativno niska pošto je raspon događaja (izmerene godišnje padavine) relativno mali. Radi toga, u svrhu povećanja stepena pouzdanosti izvedenih zaključaka, korišćeni su

odgovarajući podaci sa 12 vodomernih stanica iz „bližeg okruženja“ (svi važniji vodotoci u Crnoj Gori i Bosni i Hercegovini, bilo da pripadaju Crnomorskom ili Jadranskom slivu). Da bi se izbegla redundancija podataka, koja se neminovno javlja pri korišćenju podataka sa nekoliko profila na jednom vodotoku, za ovaj rad prbrano je samo nekoliko karakterističnih vodomernih stanica koje doprinose kvalitetu veze, a pri tome ne uzrokuju probleme redundancije podataka. Na

taj način je uspostavljena linearna korelativna zavisnost među navedenim komponentama za 32 tačke (videti tabelu u prilogu 1, gde se daje kompletan pregled svih korišćenih podataka). Navedeni odnos prikazan je grafički na slici 1, a njegova matematička jednačina glasi:

$$P_n = 1,065 \times P_b - 598 \text{ (mm/god)} \quad (2)$$

$$(R^2 = 0,990)$$



Slika 1. Odnos bruto padavina, P_b , i oticanja, P_n , za 20 regiona za Srbiju i bliže okruženje (32 tačke)
Figure 1. Relation between rainfall, P_b , and runoff, P_n , for 20 regions in Serbia and neighboring catchments (32 points)

Sa slike 1 je očigledno da se tačke veoma dobro grupišu oko konstruisane prave linije. Tendencija da linija poprimi hiperbolični oblik pri relativno niskim padavinama nije značajno izražena. Kao što je prethodno rečeno, slivovi sa prosečnim padavinama iznad 1000 mm/god korišćeni su u ovom radu jer daju veću pouzdanost definisanom modelu. Ovi slivovi pripadaju Crnoj Gori i Bosni i Hercegovini.

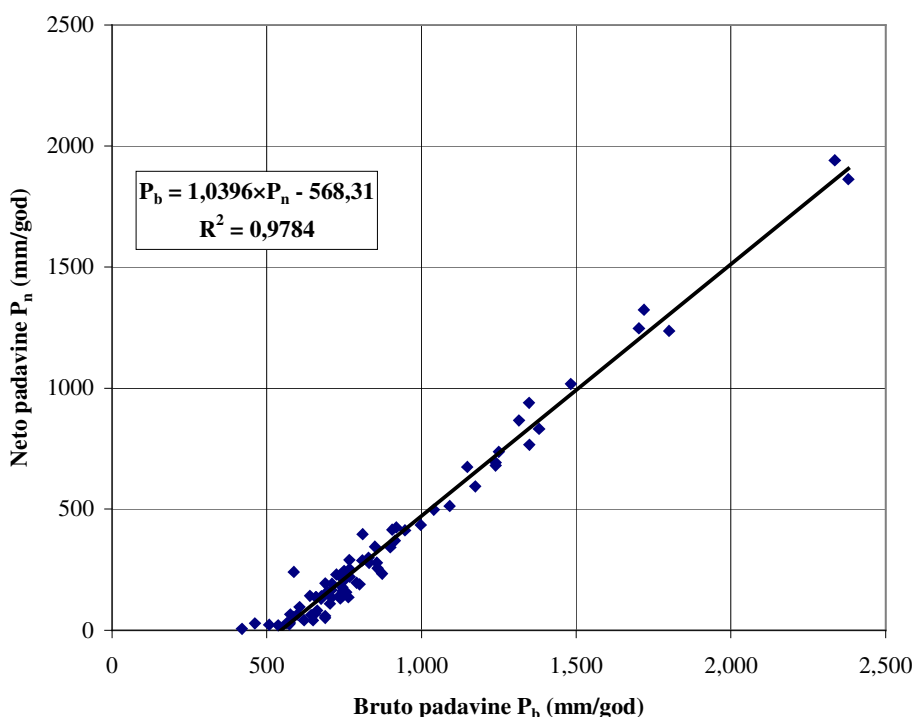
Dodatna provera opravdanosti upotrebe predloženog modela je provedena tako što su upotrebljeni podaci iz čitavog sliva Dunava [5]. Kada se, dakle, prethodno analiziranoj seriji doda još 47 podataka iz čitavog sliva

Dunava (slika 2), tada se, sa ukupno 79 tačaka u uzorku, dobije sledeći odnos:

$$P_n = 1,040 \times P_b - 569 \text{ (mm/god)} \quad (3)$$

$$(R^2 = 0,978)$$

U odnosu na model baziran na uzorku od 32 tačke, u modelu prikazanom na slici 2 koeficijent nagiba smanjuje se za oko 2 % a slobodni član za skoro 5 %. Iz vizuelnog uvida se može reći da je rasipanje tačaka, posebno pri nižim padavinama, nešto veće nego kod prethodnog modela. Ova činjenica se odrazila kroz beznačajno smanjenje koeficijenta korelacije



Slika 2. Odnos bruto padavina, P_b , i oticanja, P_n , za 20 regiona u Srbiji, bliže okruženje i ceo sliv Dunava (79 tačaka)
Figure 2. Relation between rainfall, P_b , and runoff, P_n , for 20 regions in Serbia, neighboring area and the Danube River Catchment (79 points)

Posle prvih analiza, autori su došli u posed novih podataka koji se odnose mahom na relativno male vodotoke u Slovačkoj - [6]. Kad se i ovi podaci uključe u definisanje odnosa, rezultati se ne razlikuju mnogo od prethodno dobijenih. Ovaj odnos je, ilustracije radi, pokazani u slici 3, a njegova jednačina glasi:

$$P_n = 1,032 \times P_b - 551 \text{ (mm/god)} \quad (4)$$

$$(R^2 = 0,973)$$

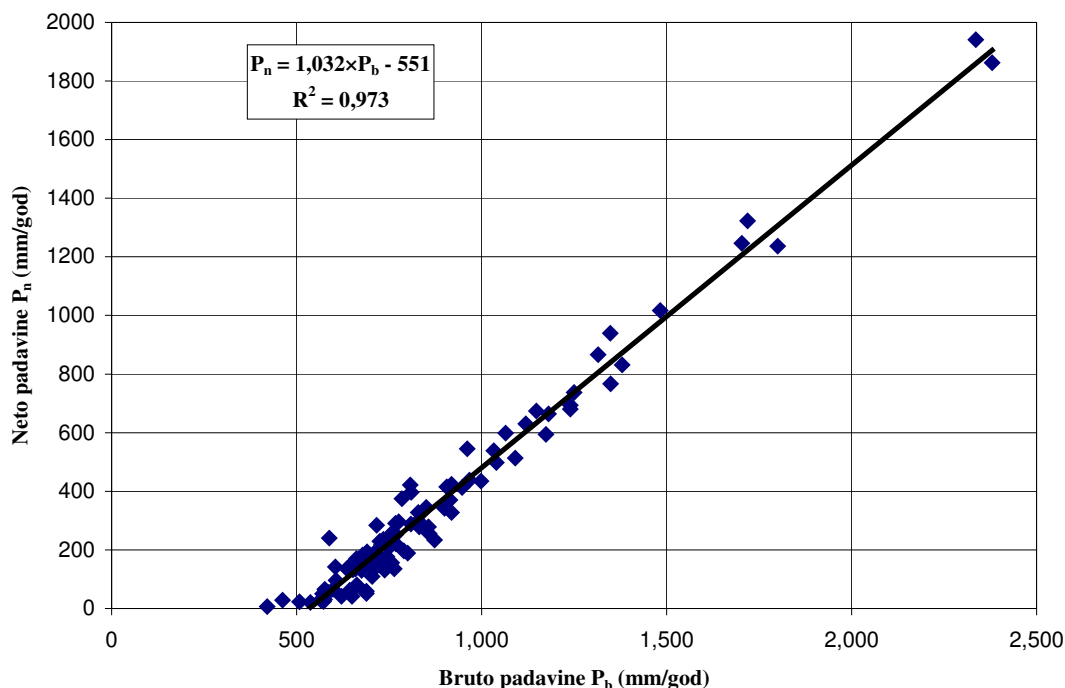
Rasipanje tačaka kod ovog modela pri nižim padavinama postaje očiglednije, a dolazi i do dodatnog smanjenja parametara modela.

Bez obzira na napred istaknute promene parametara modela pri uključivanju novih slivova u analizu, generalno se može konstatovati da se tačke dosta dobro grupišu oko prave linije. Veoma visok koeficijent linearne korelacije od oko 0,98 - 0,99 formalno potvrđuje konstataciju o čvrstini linearne veze razmatranih veličina. Činjenica da se parametri navedenih modela ne razlikuju u većoj meri ukazuje na

stabilnost modela i omogućava njegovu primenu na relativno širokom prostoru sliva reke Dunav.

Na ovom mestu se može orijentaciono oceniti da odnosi ne bi trebali da presudno zavise od perioda obrade, koji su, inače bili različiti za različite vodomerne stanice, odnosno regione. Naime, iz dostupne dokumentacije su korišćeni podaci različitih perioda obrade, ali je logično očekivati da je izlaz iz sistema (oticanje) u prvom redu refleksija ulaza u sistem (padavine) tokom istog jedinstvenog perioda.

Kako se vidi iz navedenih dijagrama i jednačina, dodavanje novih podataka ne utiče značajno na uspostavljeni odnos padavina i oticanja. Takođe, kvalitet odnosa se bitno ne menja uprkos uključivanju podataka iz mnogo šire regije. Određen broj tačaka sa najnižim padavinama, koji značajnije odstupa od linearne zavisnosti, je posledica verovatno nedovoljno pouzdane procene oticanja na nekoliko malih slivnih površina u najnižvodnijem području Dunava (raspoloživi podaci, različite metodologije obrade, dužina nizova osmatranja i sl.).



Slika 3. Odnos bruto padavina, P_b , i oticanja, P_n , za 20 regiona u Srbiji, bliže okruženje, sliv Dunava i male slivove u Slovačkoj (104 tačke)

Figure 3. Relation between rainfall, P_b , and runoff, P_n , for 20 regions in Serbia, neighboring area, the Danube River Catchment and small rivers in Slovakia (104 points)

7. ANALIZA REZULTATA

S obzirom na prednje konstatacije, analize koje slede odnose se na model koji definiše odnos padavine-oticanje u Srbiji i bližem okruženju. Rezultati takvih analiza za ostale modele, kao i zaključci koji iz njih slede, biće slični. Polazna osnova za naredne analize je, dakle, jednačina (2), koja glasi.

$$P_n = 1,065 \times P_b - 598 \text{ (mm/god)}$$

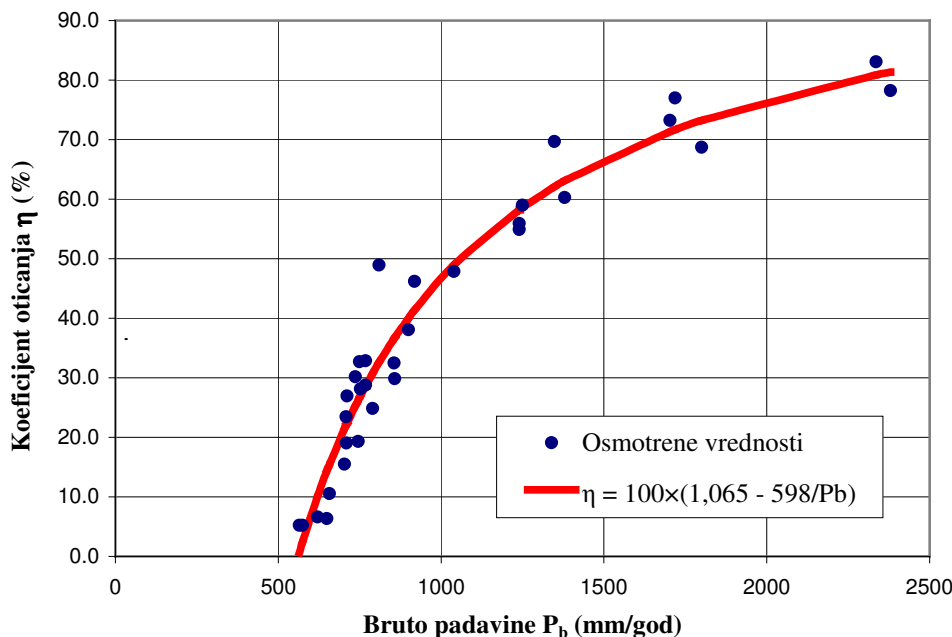
$$(R^2 = 0,990)$$

Stavljajući u jednačinu (2) $P_n = 0$ dolazi se do zaključka da, u podneblju za koje je izveden model, ne bi bilo oticanja za prosečne bruto padavine ispod $P_0 = 561$ mm/god, jer bi se sve padavine putem evapotranspiracije vratile u atmosferu. Ovakav zaključak je u skladu sa iskustvom baziranim na dosadašnjim istraživanjima i terenskim merenjima, što se može ilustrovati veoma niskom veličinom neto padavina, tj. veoma malim specifičnim oticanjem sa područja Bačke i Banata. Sa druge strane, koristeći Budyko-Leltau model baziran na neto radijaciji u našem

podneblju, eksperti Saveznog hidrometeorološkog zavoda [9] su ocenili da je kritična vrednost bruto padavina oko 530 mm/god. Dakle, ne može se očekivati oticanje u području gde prosečne godišnje padavine imaju niže vrednosti od kritične. Prema tome, uprkos varijacijama stvarne evapotranspiracije, E_s , (na području Srbije između 400 i 600 mm/god.), napred opisani model se može prihvatiti kao dovoljno dobra aproksimacija odnosa višegodišnjih prosečnih vrednosti bruto padavina i oticanja. Iz toga sledi da se izvedeni odnos može koristiti za preliminarnu ocenu vodnih resursa. Naravno, ovakav model ne može predstavljati zamenu za merenja i obrade u rečnim slivovima, već samo za orijentaciona regionalna sagledavanja u preliminarnim analizama vezanim za vodoprivredni razvoj.

Ako se jednačina (2) podeli sa bruto padavinama dobije se jednostavan izraz za koeficijent oticanja, η , u zavisnosti od bruto padavina, P_b , tj:

$$\eta = 100 \times (1,065 - 598/P_b) \% \quad (5)$$



Slika 4. Zavisnost koeficijenta oticanja, η , od bruto padavina, P_b , za 20 regiona u Srbiji i bliže okruženje (32 tačke)
Figure 4. Relationship of the runoff coefficient, η , and rainfall, P_b , for 20 regions in Serbia and neighboring area (32 points)

Grafička predstava ovog odnosa vidi se na slici 4. Na osnovu vizuelnog uvida u odnos, može se konstatovati da se koeficijent oticanja mnogo brže menja pri niskim bruto padavinama nego pri visokim. Ovako stanje stvari je, kroz jednačinu (2) dobilo i svoju matematičku formulaciju. Treba istaći da linija odnosa $\eta = \eta(P_b)$ predstavlja hiperboličnu funkciju definisanu izrazom 5. Praktično ista linija se dobije i kada se hiperbolična funkcija prilagođava osmotrenim vrednostima, pa takva linija ovde nije ni prikazivana.

Model prikazan jednačinom (2), gledajući kvantitativno, dobro odražava prirodu posmatranog procesa da koeficijent oticanja raste sa povećanjem bruto padavina. Međutim, neke kvantifikacije koje proizilaze iz modela za ekstremne vrednosti analiziranih pojava ne mogu se apriorno prihvatiti. Tako, na primer, iz jednačine (5) sledi da bi, za beskonačne padavine koeficijent oticanja, mogao imati vrednost $\eta = 1,065 > 1$, što je teoretski neprihvatljivo. Međutim, koeficijent oticanja poprima vrednost veću od jedinice ($\eta \geq 1$) tek za $P_b \geq 9200$ mm/god. Tako visoke padavine nisu ostvarive u Srbiji i bližem okruženju, gde su njihove vrednosti realno 5 - 15 puta manje od navedene veličine. Iz toga proizilazi da, za praktične potrebe, ova nelogičnost ne predstavlja značajno ograničenje kod primene izvedenog modela.

Iz jednačine (5) proizilazi da je prvi izvod koeficijenta oticanja po bruto padavinama:

$$d\eta/dP_b = 100 \times (598/P_b^2) \quad (\%/mm) \quad (6)$$

Odnos (6) opisuje promenu koeficijenta oticanja u procentima za 1 mm promene bruto padavina. Struktura navedenog modela ukazuje da je promena koeficijenta oticanja obrnuto proporcionalna sa kvadratom bruto padavina. U takvim uslovima i relativno malo smanjenje bruto padavina u sušnim krajevima može da izazove velike promene u oticanju. Na primer, smanjenje padavina od nekoliko desetina milimetara može u Vojvodini da prouzrokuje odsustvo oticanja i da dovede do značajnog povećanja deficita zemljišne vlage.

Napred navedene činjenice treba imati u vidu kod razmatranja efekata varijacija padavinskog režima i očekivane klimatske promene u 21. veku koje će dovesti do smanjenja padavina. Naravno, ne treba biti preterano euforičan kod primene razvijenog modela na ocenu uticaja promene klimatskih promena na vodni režim. Naime, opisani model daje opšte ponašanje tih promena, a precizna kvantifikacija uticaja će biti uslovljena ne samo opštom promenom padavina u godini, nego i eventualnom promenom unutargodišnjeg rasporeda padavina i promenom temperaturnog režima. Ove

pojave, međutim, nisu razmatrane u ovom radu. Dalja istraživanja bi se morala usmeriti na ova pitanja.

8. DISKUSIJA REZULTATA

Opisani model ima svojih dobrih i loših osobina. Osnovne prednosti se sastoje u njegovoj stabilnosti, a zatim u jednostavnosti matematičkih formulacija i mogućnosti lake primene.

Stabilnost modela se ogleda u činjenici da za bilo koji obim podataka i povećanje prostora u kome se proces izučava, odnos bruto i neto padavina praktično ostaje nepromenjen, a koeficijent linearne korelacije je visok i praktično konstantan. Istina, pri povećanju uzorka osmotrene vrednosti se rasipaju nešto više, posebno u najnižem delu, ali parametri jednačine ne menjaju se značajnije.

Jednostavnost matematičkih formulacija je očigledna, pošto je relacija između bruto i neto padavina linearna, što omogućava relativno jednostavno shvatanje zavisnosti razmatranih procesa.

Kad je reče o primeni, može se konstatovati da se iz izvedenog linearnog empirijskog odnosa, datog jednačinom (2), veoma jednostavno određuje koliki se sloj oticanja, P_n , može očekivati za određenu bruto padavinu, P_b . Prema tome, i u uslovima promenjenih bruto padavina, P_b , izazvane očekivanim klimatskim promenama, može se grubo oceniti kolike će biti neto padavine, P_n , i koliko će se promeniti koeficijent oticanja η .

Ako se u jednačinu 1 uvrste vrednosti iz jednačine 2, dobije se:

$$E_s = P_b - P_n = 598 - 0,065 \times P_b \quad (7)$$

Iz ovoga proizilazi da prosečna vrednost stvarne evapotranspiracije, E_s , opada sa povećanjem padavina P_b . Takav rezultat je na prvi pogled nelogičan, jer nije u skladu sa činjenicom da je isparavanje veće tamo gde ima više vode na raspolaganju za isparavanje. Ovako očekivanje je sasvim logično kad bi svi uslovi (temperatura u prvom redu) ostali nepromenljivi u čitavom analiziranom prostoru. Naime, treba imati u vidu da prikazani model ima "lumped" karakter. Drugim rečima, on samo posmatra izmerene bruto padavine, P_b , i neto padavine P_n , a pri tome ne uzima u obzir temperature vazduha. Opšte je poznato da prosečne temperature vazduha opadaju oko 5 - 6⁰ C za svaki

kilometar povećanja nadmorske visine. Zbog toga se u područjima veće nadmorske visine svakako može očekivati smanjenje potencijalne, E_p , pa shodno tome i stvarne evapotranspiracije, E_s . Sa druge strane, promena padavina ima sasvim suprotan trend i one se povećavaju sa povećanjem nadmorske visine. Dakle, zbog povećanja količine vode koja stoji na raspolaganju za isparavanje, trebalo bi očekivati povećanje evapotranspiracije, E_s . Međutim, na tim - povećanim, visinama limitirajući faktor potencijalne evapotranspiracije može postati raspoloživa energija, tako da raspoloživa voda ne predstavlja značajan činilac. Na osnovu raspoloživih podataka nije moguće razlučiti koja promena ima veći uticaj na evapotranspiraciju, E_s - smanjenje temperature ili povećanje padavina. Pošto jednačina 2 reflektuje obe komponente, ne može se sa sigurnošću tvrditi da stvarna evapotranspiracija, E_s , treba da ima pozitivan trend sa porastom bruto padavina, P_b . Za dobijanje pouzdanog odgovora na ovo pitanje potrebno je provesti obimna namenska istraživanja.

Može se smatrati da se osnovni nedostatak opisanog modela ogleda u činjenici da su odnosi razmatranih procesa sasvim pojednostavljeni, posebno ako se ima u vidu opšte uverenje da bi stvarno u prirodi oni trebali imati druge - nelinearne oblike. Međutim, u odnosu na neke druge modele, ove linearne forme jasno i jednostavno prikazuju osnovne tendencije i lake su za razumevanje. Ova činjenica bi se mogla prihvatiti i kao prednost modela.

9. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

U ovom radu analizirani su opšti odnosi najvažnijih komponenti hidrološkog bilansa - bruto padavina, P_b , i oticanja izraženog preko neto padavina, P_n . Provedene su analize podataka iz raznovrsne dokumentacije i literature i zaključeno je sledeće:

- Odnos navedenih pojava može se dovoljno dobro aproksimirati linearnim modelom;
- Izvedena zavisnost je veoma jednostavna i može poslužiti za globalno sagledavanje veličine oticanja sa neizučenihih slivova, kao i za grubu preliminarnu ocenu promene oticanja usled promene padavina izazvanog klimatskim promenama;
- Model formuliše opšte ponašanje koeficijenta oticanja, η , i njegovih promena u zavisnosti od veličine padavina, P_b ;
- Razvijeni model pokazuje relativno visoku stabilnost prilikom proširenja razmatranog prostora

- Odstupanja modela od teoretskih (graničnih) veličina javljaju se u uslovima koji su neostvarljivi u našim krajevima, pa ne predstavljaju značajno ograničenje za njegovu primenu.

Neki aspekti koji nisu potpuno rasvetljeni u ovom radu zaslužuju dodatnu pažnju. U tom smislu se istraživači posebno upućuju na potrebu sagledavanja promene potencijalne i stvarne evapotranspiracije u zavisnosti od povećanja veličine padavina i smanjenja temperature izazvane povećanjem nadmorske visine u razmatranim slivovima.

LITERATURA I DOKUMENTACIJA:

- [1] Vodoprivredna osnova Srbije, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 2001. godine.
- [2] Vodoprivredna osnova Crne Gore, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ Beograd, 2001. godine
- [3] „Vode za 21. vek“ - (Studija), Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 2000. godina
- [4] Neki vodoprivredni problemi Tare i Morače, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 2001. godine
- [5] Palaeogeography of the Danube and its Catchment, IHP of UNESCO; Budapest, 1999.
- [6] Impact of Climate Changes on Hydrological Regime in Slovakia, Strategies for Water Management Under Climate Change, IHP UNESCO Project 1.4, Slovak Committee for Hydrology, Slovak University of Technology, Bratislava, 1999.
- [7] Prohaska Stevan: Hidrologija – I deo, Rudarsko geološki fakultet - Beograd, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ - Beograd i Republički hidrometeorološki zavod Srboje – Beograd, 2003.
- [8] Hrelja, H., D. Isailović: Hidrologija – zbirka rešenih zadataka, Građevinski fakultet Sarajevo, Sarajevo, 1984.
- [9] Spasova D. i T. Popović, O. Jovanović: Occurrence of Semi-Arid Areas in the Territory of FR Yugoslavia as a Possible Consequence of Global Climate Change, Proceedings of the Conference on Drought and Plant Production, Agricultural Research Institute of Serbia, Belgrade 1997, pp. 111 – 116.
- [10] Savić, R. A. Salvai: Precipitation Periodicity as a Factor in Drought Analysis, Proceedings on Drought and Plant Production, Agricultural Research Institute of Serbia, Belgrade 1997
- [11] Isailovic, D. P. Srna: Hidrološki bilans površinskih voda Srbije I njegove varijacije, Upravljanje vodnim resursima Srbije Monografija, Institut za vodoprivredu, „Jaroslav Černi“, Beograd, 2001., str. 17 – 36.
- [12] Basin-Wide water Balance in the Danube river Basin, The Danube and its Basin – A hydrological Monograph Follow-up volume VIII, Update of the Hydrological Monograph of the Danube Basin Part 3, IHP of UNESCO; Bratislava, Slovakia, 2004.
- [13] Stojićević D.: Isparavanje sa vodene površine i potencijalna evapotranspiracija u Beogradu, Poljoprivredni fakultet Beograd, 1961. godine.

RELATIONSHIP BETWEEN BASIC COMPONENTS OF HYDROLOGIC BALANCE OF SERBIA

by

Dragoslav ISAILOVIĆ, Ph.D.C.E
Prof. Stevan PROHASKA, Ph.D.C.E
Brankica MAJKIĆ, B.S.D. in Hydrogeology
Institute for Water Resources Development, „Jaroslav Cerni“ - Belgrade

Summary

The paper outlines the hydrologic balance of surface waters in Serbia. On the ground of the data that describe the basic elements of water balance in Serbia and neighboring regions (Bosnia and Herzegovina, Montenegro and the Danube River basin), a generalized relationship between rainfall and runoff was defined. This relationship is obtained by making use of the regularly collected meteorological data (total rainfall, P_b) at gauging stations within the considered area and

the hydraulic measurements (runoff, P_n) on the watercourses. The model makes possible a simple determination of approximate mean values of runoff, P_n , for catchments where hydraulic measurements are missing.

Key words: total precipitation, effective precipitation (runoff), evapotranspiration, hydrologic balance, coefficient of runoff

Redigovano 17.12.2007.

**ELEMENTI HIDROLOŠKOG BILANSA U SRBIJI, BLIŽEM OKRUŽENJU, SLIVU DUNAVA
I NA SLOVAČKIM VODOTOCIMA**

| R.B. | SLIV | F | P _b | Q | P _n | E _s | q | η |
|------|-----------------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------|------|
| | | km ² | mm | m ³ /s | mm | mm | L/s·km ² | (%) |
| 1 | Gornja Bačka | 4.609 | 565 | 4,33 | 30 | 535 | 0,94 | 5,2 |
| 2 | Donja Bačka | 4.545 | 621 | 5,93 | 41 | 580 | 1,30 | 6,6 |
| 3 | Gornji Banat | 4.235 | 575 | 4,04 | 30 | 545 | 0,95 | 5,2 |
| 4 | Donji Banat | 4.570 | 650 | 5,96 | 41 | 609 | 1,30 | 6,3 |
| 5 | Srem | 3.894 | 657 | 8,55 | 69 | 588 | 2,20 | 10,5 |
| 6 | Drina | 3.623 | 858 | 29,42 | 256 | 602 | 8,12 | 29,8 |
| 7 | Kolubara | 5.445 | 746 | 24,92 | 144 | 602 | 4,58 | 19,3 |
| 8 | Donji Dunav | 3.608 | 790 | 22,46 | 196 | 594 | 6,23 | 24,8 |
| 9 | Timok | 4.751 | 737 | 33,50 | 222 | 515 | 7,05 | 30,1 |
| 10 | Lim | 3.119 | 810 | 39,25 | 396 | 414 | 12,58 | 48,9 |
| 11 | Gornja Zap. Morava | 4.746 | 856 | 41,90 | 278 | 578 | 8,83 | 32,5 |
| 12 | Ibar | 5.342 | 768 | 37,44 | 221 | 547 | 7,01 | 28,7 |
| 13 | Donja Zap. Morava | 5.915 | 768 | 47,34 | 252 | 516 | 8,00 | 32,8 |
| 14 | Binačka Morava | 1.561 | 709 | 8,24 | 166 | 543 | 5,28 | 23,5 |
| 15 | Gornja Juž. Morava | 3.136 | 750 | 24,41 | 245 | 505 | 7,78 | 32,7 |
| 16 | Srednja Juž. Morava | 3.642 | 753 | 24,46 | 212 | 541 | 6,72 | 28,1 |
| 17 | Donja Juž. Morava | 7.413 | 711 | 45,04 | 191 | 520 | 6,08 | 26,9 |
| 18 | Gornja Vel. Morava | 4.529 | 710 | 19,45 | 135 | 575 | 4,29 | 19,1 |
| 19 | Donja Vel. Morava | 4.820 | 704 | 16,69 | 109 | 595 | 3,46 | 15,5 |
| 20 | Beli Drim | 4.858 | 919 | 65,44 | 424 | 495 | 13,47 | 46,2 |
| 21 | Lim -Bijelo Polje | 2.183 | 1.348 | 65,10 | 939 | 409 | 29,82 | 69,7 |
| 22 | Lim - Prijepolje | 3.030 | 1.380 | 80,00 | 832 | 548 | 26,40 | 60,3 |
| 23 | Tara - Šćepan Polje | 2.006 | 1.703 | 79,40 | 1247 | 456 | 39,58 | 73,2 |
| 24 | Piva Šćepan Polje | 1.784 | 1.719 | 74,90 | 1323 | 396 | 41,98 | 77,0 |
| 25 | Morača - Podgorica | 2.628 | 2.336 | 162,00 | 1941 | 395 | 61,64 | 83,1 |
| 26 | Drina - Zvornik | 17.730 | 1.240 | 383,00 | 680 | 560 | 21,60 | 54,9 |
| 27 | Bosna - Doboj | 9.620 | 1.040 | 152,00 | 498 | 542 | 15,80 | 47,9 |
| 28 | Ukrina - Derventa | 1.380 | 900 | 15,00 | 342 | 558 | 10,87 | 38,0 |
| 29 | Vrbaš - Del. Selo | 5.090 | 1.240 | 112,00 | 693 | 547 | 22,00 | 55,9 |
| 30 | Una - Bos. Dubica | 9.230 | 1.250 | 216,00 | 737 | 513 | 23,40 | 59,0 |
| 31 | Neretva - Jablanica | 2.930 | 1.800 | 115,00 | 1236 | 564 | 39,25 | 68,7 |
| 32 | Trebišnjica - Grančarevo | 1.370 | 2.380 | 81,00 | 1862 | 518 | 59,12 | 78,3 |
| 33 | Danube spring - Lech | 15.654 | 914 | 184,00 | 370 | 544 | 11,75 | 40,5 |
| 34 | Lech spring - mouth | 4.398 | 1.349 | 107,00 | 766 | 583 | 24,33 | 56,8 |
| 35 | Danube Lech - Naab | 7.614 | 748 | 56,00 | 232 | 516 | 7,35 | 31,0 |
| 36 | Naab spring - mouth | 5.645 | 767 | 52,00 | 290 | 477 | 9,21 | 37,8 |
| 37 | Danube Naab - Isar | 6.203 | 850 | 68,00 | 345 | 505 | 10,96 | 40,6 |
| 38 | Isar spring - mouth | 8.639 | 1.174 | 163,00 | 594 | 580 | 18,87 | 50,6 |
| 39 | Danube Isar - Inn | 3.741 | 947 | 49,00 | 413 | 534 | 13,10 | 43,6 |
| 40 | Inn spring - mouth | 26.976 | 1.315 | 742,00 | 866 | 449 | 27,51 | 65,9 |
| 41 | Danube Inn - Enns | 7.614 | 1.148 | 163,00 | 674 | 474 | 21,41 | 58,7 |
| 42 | Enns spring - mouth | 5.914 | 1.483 | 191,00 | 1017 | 466 | 32,30 | 68,6 |
| 43 | Danube Enns - March | 14.112 | 829 | 134,00 | 299 | 530 | 9,50 | 36,1 |
| 44 | Morava/March spring - mouth | 27.633 | 640 | 124,00 | 141 | 499 | 4,49 | 22,1 |
| 45 | Raab/Raba spring - mouth | 14.702 | 738 | 61,00 | 131 | 607 | 4,15 | 17,7 |
| 46 | Vah spring - mouth | 9.714 | 906 | 128,00 | 415 | 491 | 13,18 | 45,8 |
| 47 | Danube Morava - Nitra | 10.567 | 677 | 47,00 | 140 | 537 | 4,45 | 20,7 |
| 48 | Nitra spring - mouth | 5.415 | 694 | 27,00 | 157 | 537 | 4,99 | 22,6 |
| 49 | Danube Nitra - Hron | 1.444 | 576 | 3,00 | 65 | 511 | 2,08 | 11,4 |
| 50 | Hron spring - mouth | 5.251 | 809 | 48,00 | 288 | 521 | 9,14 | 35,6 |
| 51 | Danube Hron - Ipel/Ipoly | 131 | 588 | 1,00 | 240 | 348 | 7,63 | 40,9 |

| R.B. | SLIV | F | P _b | Q | P _n | E _s | q | η |
|------|---------------------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------|------|
| | | km ² | mm | m ³ /s | mm | mm | L/s·km ² | (%) |
| 52 | Ipel/Ipoly spring - mouth | 4.594 | 661 | 20,00 | 137 | 524 | 4,35 | 20,7 |
| 53 | Danube Ipel/Ipoly - Sio | 10.469 | 586 | 18,00 | 54 | 532 | 1,72 | 9,2 |
| 54 | Sio spring - mouth | 15.129 | 663 | 39,00 | 81 | 582 | 2,58 | 12,2 |
| 55 | Danube Sio - Drava | 7.023 | 644 | 14,00 | 63 | 581 | 1,99 | 9,8 |
| 56 | Drau/Drava/Drava spring - mouth | 41.810 | 998 | 577,00 | 435 | 563 | 13,80 | 43,6 |
| 57 | Danube Drava - Tisa | 5.382 | 689 | 10,00 | 59 | 630 | 1,86 | 8,5 |
| 58 | Tisa/Tisza spring - mouth | 158.182 | 744 | 888,00 | 177 | 567 | 5,61 | 23,8 |
| 59 | Danube Tisa - Sava | 10.666 | 764 | 46,00 | 136 | 628 | 4,31 | 17,8 |
| 60 | Sava spring - mouth | 94.778 | 1.091 | 1545,00 | 513 | 578 | 16,30 | 47,1 |
| 61 | Danube Sava - V. Morava | 4.332 | 689 | 7,00 | 51 | 638 | 1,62 | 7,4 |
| 62 | V. Morava spring - mouth | 38.233 | 746 | 262,00 | 216 | 530 | 6,85 | 28,9 |
| 63 | Danube V. Morava - Jiu | 27.239 | 746 | 140,00 | 162 | 584 | 5,14 | 21,7 |
| 64 | Jiu spring - mouth | 10.731 | 831 | 95,00 | 279 | 552 | 8,85 | 33,6 |
| 65 | Danube Jiu - Iskar | 6.498 | 658 | 28,00 | 136 | 522 | 4,31 | 20,6 |
| 66 | Iskar spring - mouth | 7.811 | 725 | 57,00 | 230 | 495 | 7,30 | 31,7 |
| 67 | Danube Iskar - Olt | 6.826 | 690 | 42,00 | 194 | 496 | 6,15 | 28,1 |
| 68 | Olt spring - mouth | 24.810 | 873 | 184,00 | 234 | 639 | 7,42 | 26,8 |
| 69 | Danube Olt - Lom | 17.984 | 676 | 74,00 | 130 | 546 | 4,11 | 19,2 |
| 70 | Lom spring - mouth | 3.380 | 599 | 7,00 | 65 | 534 | 2,07 | 10,9 |
| 71 | Danube Lom - Arges | 3.938 | 573 | 3,00 | 24 | 549 | 0,76 | 4,2 |
| 72 | Arges spring - mouth | 11.814 | 800 | 71,00 | 189 | 611 | 6,01 | 23,7 |
| 73 | Danube Arges -Lalomita | 16.573 | 537 | 11,00 | 21 | 516 | 0,66 | 3,9 |
| 74 | Lalomita spring - mouth | 10.305 | 738 | 48,00 | 147 | 591 | 4,66 | 19,9 |
| 75 | Danube Lalomita - Siret | 6.925 | 508 | 5,00 | 23 | 485 | 0,72 | 4,5 |
| 76 | Siret spring - mouth | 45.420 | 757 | 226,00 | 157 | 600 | 4,98 | 20,7 |
| 77 | Danube Siret - Prut | 1.116 | 462 | 1,00 | 28 | 434 | 0,90 | 6,1 |
| 78 | Prut spring - mouth | 28.945 | 606 | 88,00 | 96 | 510 | 3,04 | 15,8 |
| 79 | Danube Prut - mouth | 14.964 | 420 | 3,00 | 6 | 414 | 0,20 | 1,5 |
| 80 | Kysuca | 898 | 961 | 15,54 | 545 | 416 | 17,30 | 56,7 |
| 81 | Bystrica | 59 | 1.119 | 1,18 | 630 | 489 | 20,00 | 56,3 |
| 82 | Orava | 755 | 1.033 | 12,91 | 539 | 494 | 17,10 | 52,1 |
| 83 | Vah | 1.483 | 1.065 | 28,18 | 599 | 467 | 19,00 | 56,2 |
| 84 | Torysa | 494 | 734 | 3,71 | 236 | 498 | 7,50 | 32,2 |
| 85 | Topl'a | 60 | 776 | 0,56 | 296 | 480 | 9,40 | 38,2 |
| 86 | Ondava | 1.077 | 716 | 9,69 | 284 | 433 | 9,00 | 39,6 |
| 87 | Udava | 186 | 785 | 2,21 | 375 | 410 | 11,90 | 47,8 |
| 88 | Nitra | 2.871 | 729 | 19,81 | 217 | 512 | 6,90 | 29,8 |
| 89 | Turiec | 28 | 1.181 | 0,59 | 665 | 516 | 21,10 | 56,3 |
| 90 | Hron | 5.452 | 829 | 56,70 | 328 | 501 | 10,40 | 39,5 |
| 91 | Kamenist Y p. | 71 | 967 | 0,99 | 438 | 529 | 13,90 | 45,3 |
| 92 | Bodva | 90 | 842 | 0,95 | 331 | 511 | 10,50 | 39,3 |
| 93 | Bukovec | 57 | 760 | 0,47 | 261 | 499 | 8,30 | 34,4 |
| 94 | Torysa | 289 | 662 | 1,56 | 170 | 492 | 5,40 | 25,7 |
| 95 | Vihorlat | 154 | 807 | 2,06 | 422 | 385 | 13,40 | 52,3 |
| 96 | Rudava | 1.078 | 652 | 4,53 | 132 | 520 | 4,20 | 20,3 |
| 97 | Karpaty | 1.103 | 679 | 5,52 | 158 | 522 | 5,00 | 23,2 |
| 98 | Zitny ostrov | 1.098 | 570 | 1,76 | 50 | 520 | 1,60 | 8,8 |
| 99 | Zitava | 1.237 | 636 | 5,32 | 135 | 501 | 4,30 | 21,3 |
| 100 | Ipel | 685 | 692 | 3,84 | 176 | 516 | 5,60 | 25,5 |
| 101 | Rimava | 89 | 919 | 0,93 | 328 | 591 | 10,40 | 35,6 |
| 102 | Rimava | 1.381 | 721 | 7,60 | 173 | 548 | 5,50 | 24,0 |
| 103 | Kras | 445 | 678 | 2,58 | 183 | 495 | 5,80 | 26,9 |
| 104 | Aluvium | 1.649 | 605 | 7,42 | 142 | 463 | 4,50 | 23,4 |

