

ANALIZA RASPOLOŽIVOSTI VODE ZA NAVODNJAVANJE U OPŠTINI VELIKA PLANA

Dejan MILOŠEV, Goran NIKOLIĆ, Željka RUDIĆ, Mile BOŽIĆ
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

REZIME

Cilj ovog rada je isticanje neophodnosti planiranja sistema za navodnjavanje i racionalnog korišćenja vodnih resursa, posebno imajući u vidu sistematsko navodnjavanje velikih površina. Analizirane su osnovne hidrološke karakteristike neophodne za sagledavanje ukupno raspoloživih količina površinskih voda, njihov prostorni i vremenski raspored, i definisane su merodavne veličine ekstremnih proticaja sa stanovišta zadovoljenja potreba različitih korisnika. Velika Plana je tipična ruralna opština sa 21.986 ha poljoprivrednog zemljišta. Za navodnjavanje 50% poljoprivrednog zemljišta, potrebno je obezbediti oko 20M m³/god. da bi se zadovoljile potrebe useva za vodom u 4 od 5 godina. Hidrološka analiza je ukazala da dostupna količina vode iz Velike Morave ne zadovoljava u potpunosti potrebe navodnjavanja u opštini Velika Plana. Dostupnih 0,5 m³/s je dovoljno tek za 8% poljoprivrednih površina na teritoriji opštine. Ukoliko se planira širenje razvoj sistema za navodnjavanje na većim površinama, potrebno je razmotriti i alternativne izvore vode.

Ključne reči: navodnjavanje, hidrološka analiza, režim malih voda, Velika Morava

1. UVOD

Navodnjavanje u okviru sektora poljoprivrede koristi najveće količine vode u odnosu na sve ostale potrošače i to u približno 70% od ukupne potražnje za vodom, pri tome podržavajući 40% globalne proizvodnje hrane (Abdullah, 2006; Wada et al., 2013). Tokom 2010. godine ukupna količina vode utrošene na navodnjavanje u SAD je iznosila 435 miliona m³/dan, ili 160 km³/god., što obuhvata 61% ukupnog utroška sveže vode u svim sektorima izuzev proizvodnje termoelektrične energije (Maupin et al., 2014).

Prema izveštaju IEEP (2000), poljoprivreda je značajan potrošač vode i u Evropi, i to oko 30% ukupne potrošnje vode. Zbog ovako velike potrošnje vode, neplanski razvoj sistema za navodnjavanje povećava rizik od negativnog uticaja na vodne resurse i njihovo iscrpljivanje, što se ogleda u promeni režima tečenja površinskih voda i opadanja nivoa podzemne vode (Dougherty i Hall, 1995). Elliott et al. (2014) su registrovali da su mnogi regionima sa najvećim potencijalom za povećanje prinosa uz primenu navodnjavanja upravo oni koji će najverovatnije imati izvesna ograničenja kada je u pitanju raspoloživost vode za navodnjavanje. Buduće potrebe za vodom za navodnjavanje su pod uticajem faktora koje karakteriše značajna neizvesnost zahvaljujući očekivanim klimatskim promenama, kao što su porast temperature i promena varijabilnosti padavina, u mnogim regionima u svetu (Wada et al., 2013). Istraživanja Montazar et al. (2010) ukazuju da adekvatno i pravovremeno planiranje i odlučivanje kada su upitanju revizija i promena smernica u pogledu plodoreda u poljoprivrednim regionima, doprinose produktivnosti sistema i dodatno omogućavaju upravljanje sistemom „po potrebi“ uz vođenje računa o uticaju na vodne resurse. Napredak tehnologije, kao i socio-ekonomske promene imaju potencijal da smanje potrebe za vodom, posebno u zemljama u razvoju gde se i javljaju nestašice vode (Wada et al., 2013). Zbog nesklada između potreba i dostupnosti vode u nekim regionima, potrebno je na vreme izvršiti planiranje uz neophodne hidrološke analize, u cilju sprečavanja prekomernog opterećenja vodnih resursa. Rezultati hidroloških istraživanja u koja su uključene navodnjavane poljoprivredne površine na lokalnom i regionalnom nivou u Uzbekistanu (Khorezm), otkrivaju da dostupna količina vode na poljoprivrednom gazdinstvu (polju) nije dovoljna za zadovoljenje potreba biljaka u nekim delovima proučavanog regiona, iako je količina zahvaćene vode iz reke Amudarya ogromna (Tischbein et al., 2012).

Cilj ovog rada je određivanje dostupne količine vode za navodnjavanje na teritoriji opštine Velika Plana koja se može zahvatiti iz Velike Morave bez ugrožavanja ekoloških uslova i nizvodnih korisnika.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE PODRUČJA

Velika Plana je tipična ruralna opština u kojoj blizu 80% teritorije čini poljoprivredno zemljište. Prema Prostornom planu opštine Velika Plana (2013.), ukupno poljoprivredno zemljište će zahvatiti površinu od 219,86 km². Glavne karakteristike opštine Velika Plana su umerena klima, plodno zemljište, značajne površine poljoprivrednog zemljišta i veliki potencijal za organsku poljoprivrednu proizvodnju. Teritorija opštine je vertikalno podeljena na dva dela: brdovitu zapadnu zonu (sa nadmorskim visinama 100-297 mnm) i istočnu ravničarsku duž Velike Morave (80-100 mnm). Područje opštine je uglavnom orijentisano na levoobalno priobalje reke Velike Morave, sa donjim tokovima i ušćima pritoka Jasenice i Rače. Teritorija opštine Velika Plana u hidrografskom pogledu pripada slivovima Velike Morave (262 km²) i Jezave (83 km²). Vododelnicu ova dva sliva moguće je odrediti na brdovitom terenu dok je u nizijском delu nedefinisana. Ukupna dužina obale Velike Morave iznosi na teritoriji opštine oko 38 km (leva obala) i oko 8 km (desna obala). Sliv Velike Morave ima razvijenu osnovnu hidrografsku mrežu i zahvata središnju zonu rasednih planina i kotlina zalazeći delom u Karpatsko-balkanski planinski sistem na istoku i u Dinarski planinski sistem na zapadu. Korito Velike Morave, čija širina varira na infleksijama od 110 m do 250 m, na najoštrijim krivinama usečeno je 5-6 m u peskovito-šljunkoviti aluvijum, čija debljina sloja nije manja od 10 m. Pošto je korito od slabo vezanog materijala, reka ruši obale i često menja položaj svog toka. Jedna od karakteristika toka je izraženo meandriranje. Reka preseca stare meandre stvarajući na taj način mrtvave i teče novim koritom, u kojem ponovo stvara meandre i taj proces se stalno ponavlja. Sliv Velike Morave se odlikuje veoma nepovoljnim vodnim režimom koji je uslovljen specifičnim klimatskim prilikama, topografijom, geološkom građom, stanjem vegetacionog pokrivača i dr. Oticanje vode u slivu karakterišu dva perioda i to:

- period velikih voda u kome otekne 60-70% ukupnih godišnjih voda, plaveći poljoprivredno zemljište, ugrožavajući naselja, industriju i saobraćajnice;
- period malih voda u kome oteknu preostale količine vode; a koji koincidira sa vegetacionim periodom, kada je voda poljoprivredi najpotrebnija.

Potrebe za vodom za navodnjavanje procenjene za 2 projektovana plodoređa (tipično ravničarski i brdsko-planinski), u toku vegetacione sezone iznose 165 mm u ravničarskom delu i 207 mm u brdsko-planinskoj zoni (Rudić et al., 2016). Procenjene površine koje mogu da se navodnjavaju iznose blizu 11.500 ha u ravničarskoj i 10.500 ha u brdsko-planinskoj zoni, pa je za navodnjavanje 50% ovih površina punom normom potrebno je 8,66M m³/god. i 11,90M m³/god. respektivno (Rudić et al., 2016).

3. MATERIJAL I METODE

Za hidrološku analizu korišćeni su dnevni proticaji na reprezentativnim vodomernim stanicama: (VS) „Bagrdan“ (uzvodno) i „Ljubičevski most“ (nizvodno) od opštine Velika Plana. Između navedenih osmatračkih mesta Republičkog hidrometeorološkog zavoda Republike Srbije, iz čije baze podataka su preuzeti podaci (Tabela 1), mnogi vodotoci se ulivaju u Veliku Moravu, i tako utiču na povećanje proticaja u reci. Raspoložive vremenske serije na analiziranim stanicama ograničene su na niz od 30 godina, što je zadovoljavajuće za sprovođenje potrebnih proračuna. Detaljne analize sprovedene su za obe stanice, a u radu su prikazani rezultati za nizvodnu stanicu „Ljubičevski most“.

Tabela 1. Osnovni podaci o analiziranim hidrološkim profilima

Stanica	Nadm. visina [mnm]	Od ušća [km]	Površina sliva [km ²]	Period obrade
„Bagrdan“	100,94	118,6	33.446	1986. -
„Lj. most“	73,42	21,8	37.320	2015.

Procena kapaciteta Velike Morave sa aspekta navodnjavanja zahteva procenu malih voda zbog zadovoljenja biološkog minimuma. Analiza godišnjih malih voda je postignuta primenom prihvaćenih metoda, analitičkih i statističkih testova, što obuhvata određivanje osnovnih statističkih parametara i poređenje raspodele verovatnoće pojave malih voda. Za određivanje minimalnih održivih proticaja korišćeni su srednji mesečni proticaji koji se prevazilaze u 95% slučajeva i to na bazi raspodela verovatnoće koje su pokazale zadovoljavajuću saglasnost između empirijske i teorijske funkcije (USDA NRCS, 2007).

Korišćeni su i grafički i statistički prikazi rezultata u cilju lakšeg prepoznavanja trendova i odnosa. Podaci su

prikazani i preko krivih trajanja, s obzirom da one predstavljaju jedan od najinformativnijih metoda za prikaz raspona proticaja vodotoka, od sušnih do plavnih perioda, odnosno događaja (Smakthin, 2001). U ovakvim analizama procena malih voda (biološkog minimuma) je neophodna, da bi se ublažio negativni uticaj zahvatanja vode na životnu sredinu, i da bi se planiralo buduće korišćenje vodnih resursa (WMO, 2008). Jedan od najvažnijih indikatora malih voda u upotrebi je upravo 95% proticaj (WMO, 2008), koji je pretpostavljeni biološki minimum ili zahtevani proticaj za održanje akvatičnog ekosistema predmetnog vodotoka. Analiza unutargodišnje varijacije proticaja vodotoka obuhvata analizu prosečnih mesečnih proticaja sa pripadajućim statističkim parametrima koji definišu raspodelu niza podataka:

a. srednji mesečni proticaj:

$$\bar{Q}_m(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_m(i, j) \quad (1)$$

b. standardna devijacija $S_m(j)$:

$$S_m(j) = \frac{1}{N-1} \sqrt{\sum_{i=1}^N [Q_m(i, j) - \bar{Q}_m(j)]^2} \quad (2)$$

c. koeficijent varijacije mesečnog proticaja:

$$C_{v,m} = \frac{S_m}{\bar{Q}_m} \quad (3)$$

d. koeficijent simetrije mesečnog proticaja:

$$C_{s,m}(j) = \frac{N}{(N-1) \times (N-2) \times (S_m)^3} \sqrt{\sum_{i=1}^N [Q_m(i, j) - \bar{Q}_m(j)]^3} \quad (4)$$

e. minimalni proticaj za određeni mesec:

$$\min Q_m(j) = \min_{i=1,2,\dots,N} [Q_m(i, j)] \quad (5)$$

f. maksimalni proticaj za određeni mesec:

$$\max Q_m(j) = \max_{i=1,2,\dots,N} [Q_m(i, j)] \quad (6)$$

gde su: Q_m – mesečni proticaj (m^3); i – godina; j – mesec.

Trajanje malovodnih ili sušnih perioda takođe je određeno analizom proticaja za 6 različitih trajanja (τ): 5, 10, 20, 30, 60, 90 dana. U okviru ovih analiza,

određeni su najniži prosečni proticaji za data trajanja $Q(\tau, i)$.

4. REŽIM VODA SLIVA VELIKE MORAVE

Režim voda Velike Morave je interesantan sa stanovišta korišćenja vode za navodnjavanje, bilo da se voda zahvata iz otvorenog toka, ili se u svrhu navodnjavanja grade rezervoarski prostori, koje će omogućiti vremensku preraspodelu vode i navodnjavanje tokom perioda kada su prirodni proticaji vodotoka niski.

Pre pristupanja analizama, izvršena je osnovna sistematizacija i obrada svih dnevnih proticaja po mesecima, te se orijentaciono može zaključiti da je varijabilnost proticaja dosta velika, kako unutar godine, tako i tokom višegodišnjeg perioda (Tabela 2).

Tabela 2. Srednji mesečni proticaji, VS „Ljubičevski most“ (m^3/s)

JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	
231	292	403	438	302	214	
JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	Sr. vred.
138	95	83	102	130	194	219

Na osnovu podataka sa VS „Ljubičevski most“, uradene su dve grupe analiza:

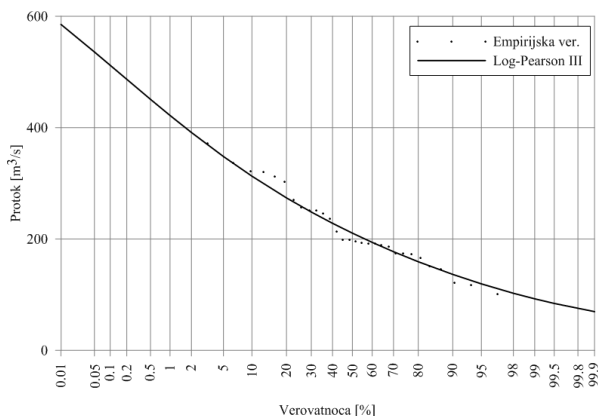
- Analiza karakterističnih godišnjih proticaja u dužem vremenskom periodu, tj. u periodu raspoloživih podataka,
- Analiza unutargodišnjih promena karakterističnih parametara.

4.1 Analiza karakterističnih godišnjih proticaja

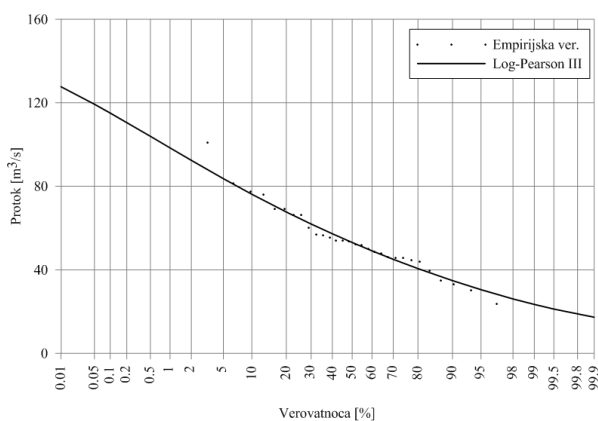
Fluktuacije karakterističnih godišnjih proticaja prikazuju parametri dati u Tabeli 3. Za bolju ocenu kretanja godišnjih karakterističnih vrednosti proticaja, sprovedena je statistička obrada ovih podataka (Grafikon 1). Ekstremne vrednosti značajno odstupaju u odnosu na prosečne vrednosti, što indikuje visoku unutargodišnju varijaciju proticaja (Grafikon 2 i 3).

Tabela 3. Osnovne karakteristike VS „Ljubičevski most“

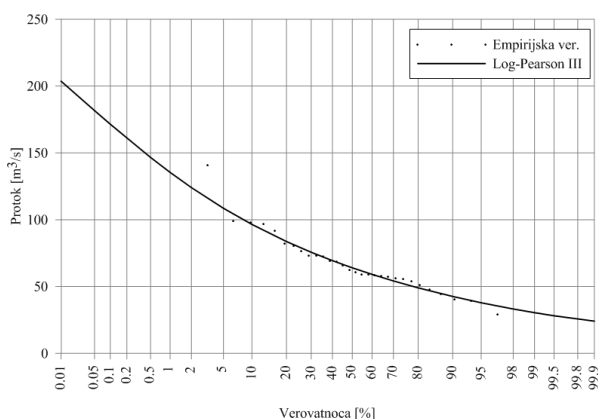
Povr. sliva [km^2]	\bar{Q}_g [m^3/s]	S_g [m^3/s]	$C_{v,g}$	$C_{s,g}$	$\max Q_d$ [m^3/s]	$\min Q_d$ [m^3/s]
37.320	218,6	69,3	0,32	0,47	2.130	23,7



Grafikon 1. Linije verovatnoće srednjih godišnjih proticaja (VS „Ljubičevski most“)



Grafikon 2. Linije verovatnoće minimalnih dnevnih proticaja (VS „Ljubičevski most“)



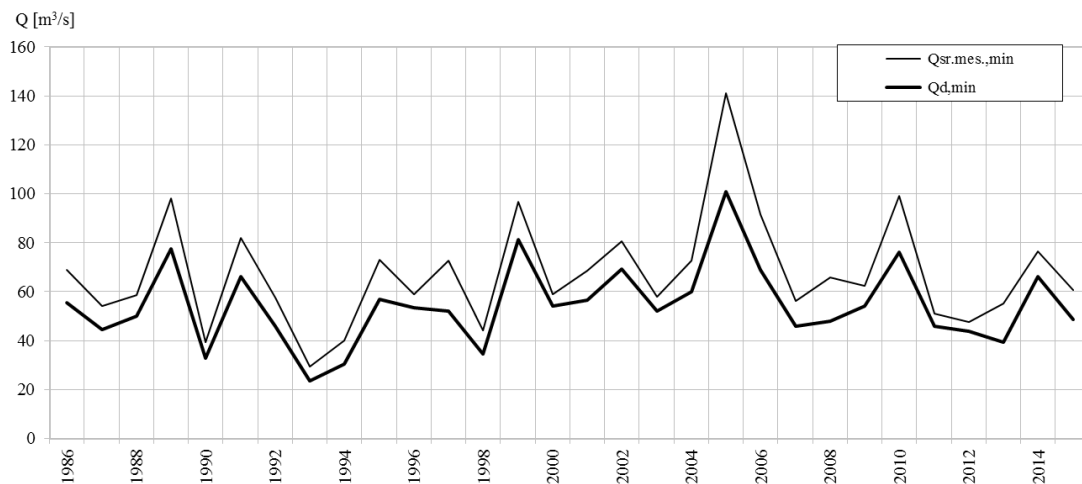
Grafikon 3. Linije verovatnoće minimalnih srednje mesečnih proticaja (VS „Ljubičevski most“)

Uporedni prikaz minimalnih mesečnih i minimalnih dnevnih proticaja (Grafikon 4), ukazuje na male razlike ovih vrednosti. Ova činjenica navodi na zaključak da su malovodni periodi relativno dugotrajni, tj. da u malovodnim periodima proticaji ostaju dosta slični.

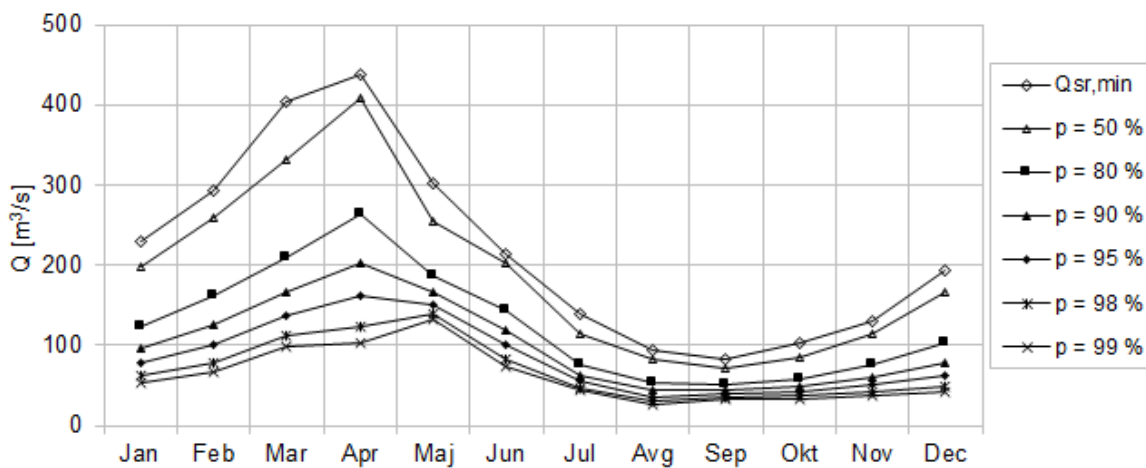
4.2 Unutargodišnja raspodela oticanja

Režim proticaja vode prikazan je preko unutargodišnje raspodele karakterističnih (minimalnih, srednjih i maksimalnih) proticaja. Radi sagledavanja ponašanja hidroloških procesa unutar godine sprovedene su analize koje se baziraju na dnevnim proticajima u analiziranom nizu podataka. Za analizu režima mesečnih proticaja korišćeni su vrednosti mesečnih proticaja po godinama, $Q_m(i,j)$, sa njihovim statističkim parametrima koji definišu raspodelu tih serija za svaki mesec. Sintezni prikaz za VS „Ljubičevski most“ (Grafikon 5) pored srednjih mesečnih proticaja, obuhvata i proticaje $Q_m(p)$ za nekoliko karakterističnih verovatnoća, $p=50\%$, $p=80\%$,..., $p=99\%$. Malovodni meseci na Velikoj Moravi se javljaju u periodu avgust – oktobar. Minimalni proticaji su relativno visoki u martu, aprilu, maju, a sušni meseci su avgust, septembar, oktobar. Za vodotoke u centralnoj Srbiji je karakteristična pojava malovodnih meseci već tokom leta.

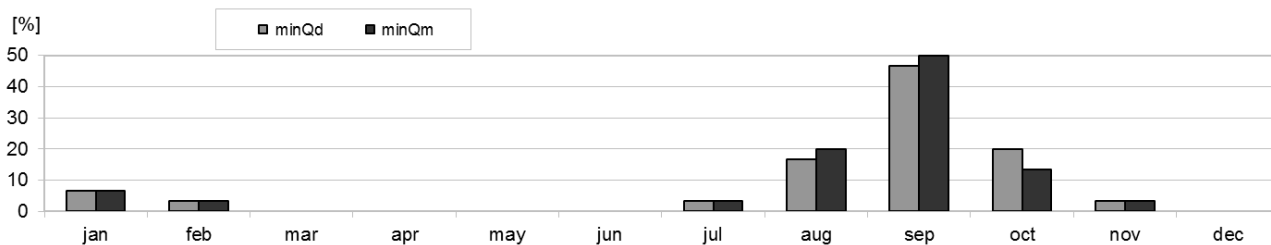
Imajući u vidu ciljeve ove analize, učestalost pojave sušnih meseci zaslužuje posebnu pažnju. U razmatranom nizu analiziran je broj pojava minimalnih mesečnih proticaja ($minQ_m$), i minimalnih dnevnih proticaja ($minQ_d$). Grafikon 6 prikazuje procentualni broj pojave minimuma u razmatranom periodu. Rezultati potvrđuju konstataciju da su minimalni proticaji na Velikoj Moravi relativno visoki u periodu od februara do maja, a vrlo sušni meseci su avgust, septembar i oktobar. Ove okolnosti su uslovno nepovoljne sa stanovišta navodnjavanja, jer se hidrološke suše odigravaju u periodu kada je voda za navodnjavanje najpotrebnija, posebno za useve druge setve. U cilju analize dugotrajnosti malovodnih ili sušnih perioda obrađeni su najniži prosečni proticaji za zadata trajanja za svaku godinu. Formirano je 6 serija podataka za analiziranu hidrološku stanicu, za sve serije su sračunati potrebni statistički parametri (Tabela 4). Iz prikazanih rezultata se, za nekoliko karakterističnih verovatnoća pojave interesantnih za navodnjavanje, može videti da se proticaji ne povećavaju značajno sa povećanjem trajanja τ . Ova činjenica upućuje na zaključak da su malovodni periodi relativno dugotrajni na razmatranom profilu na Velikoj Moravi.



Grafikon 4. Minimalni dnevni i minimalni mesečni proticaji



Grafikon 5. Verovatnoća pojave srednjih mesečnih proticaja



Grafikon 6. Učestalost pojave minimalnih proticaja po mesecima

Tabela 4. Prosečni proticaji u sušnim periodima različitog trajanja

Trajanje (dani)	5	10	20	30	60	90
$Q\tau$ [m ³ /s]	56,5	58,3	61,2	64,2	71,3	78,3
Sr. datum pojave	21. sep.	17. sep.	14. sep.	3. sep.	21. avg.	11. avg.
σ [m ³ /s]	17,1	18,1	19,7	21,6	26,0	29,4
Cv	0,302	0,310	0,323	0,336	0,364	0,375
Cs	0,713	0,819	1,130	1,383	1,561	1,160

5. RASPOLOŽIVE KOLIČINE VODE ZA NAVODNJAVANJE

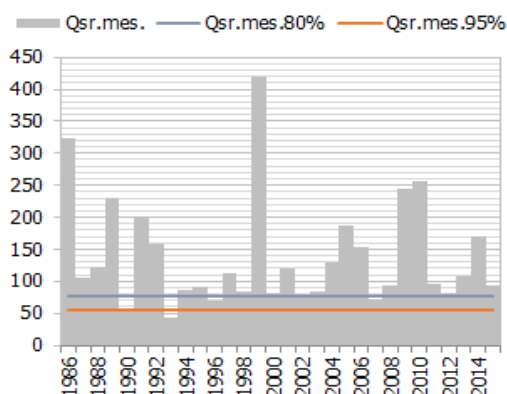
Imajući u vidu napred iznete zaključke i konstatacije u pogledu intenziteta, trajanja i vremena pojave sušnih perioda, očigledna je potreba da se precizno sagledaju mogućnosti navodnjavanja u vegetacionoj sezoni. U tom smislu su analizirane osnovne hidrološke karakteristike neophodne za sagledavanje ukupno raspoloživih količina površinskih voda, njihov prostorni i vremenski raspored, i definisane su merodavne veličine ekstremnih proticaja sa stanovišta zadovoljenja potreba različitih korisnika. Male vode su karakteristika vodnog režima koja ukazuje na ograničenja u korišćenju vodotoka, posebno imajući u vidu zaštitu kvaliteta rečnog toka. Ograničenja u korišćenju dostupnih voda iz Velike Morave mogu se svrstati u dve grupe:

- ograničavajući uslov minimalni garantovani proticaj: proticaj koji se nizvodno od vodozahvata mora obezbediti u vodotoku;
- ograničavajući uslov vodosnabdevanje: stanovništvo predstavlja prioritarnu grupu korisnika, pa se zahvatanje iz površinskih vodotoka može reflektovati na nivoe i količinu podzemnih voda, na čijoj upotrebi je bazirana većina sistema za vodosnabdevanje.

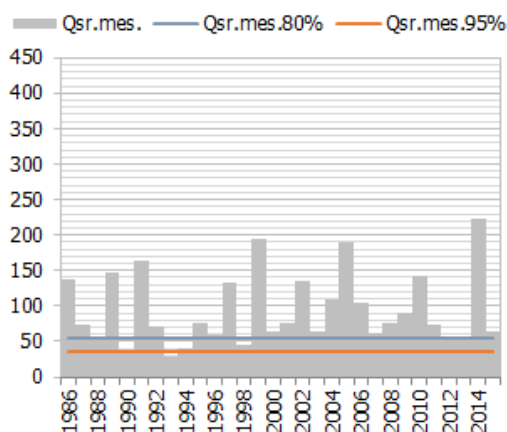
Zakon o vodama („Sl. glasnik RS“, br. 30/10, 93/12 i 101/16) definiše minimalni održivi protok kao „protok koji se nizvodno od vodozahvata mora obezbediti u vodotoku za opstanak i razvoj nizvodnih biocenoza i zadovoljavanje potreba nizvodnih korisnika“. Iako propust u obezbeđivanju minimalnog održivog protoka Q_{mo} spada u privredni prestup, Zakonom o vodama nije propisan način njegovog određivanja, niti Zakon upućuje na pravilnik, uredbu ili metodologiju kojima bi proračun vrednosti ovog protoka bio definisan. Ne postoji ni sveobuhvatan registar (na nivou Republike) koji bi pružio uvid u ažurne podatke o lokacijama postojećih korisnika duž vodotoka i njihove potrebe.

Količina vode u vodotoku je u bliskoj vezi sa brojnim fizičkim parametarima. Važniji parametri na koje vodnost vodotoka direktno utiče su temperatura vode, brzina tečenja, vodostaj, okvašeni obim rečnog korita, sposobnost toka za samoprečišćavanje, pronos hranljivih materija, nivo podzemnih voda u zaleđu, i dr. Od ovih parametara zavisi pogodnost staništa (stalnog ili privremenog), ishrana, razmnožavanje i rast biljnih i životinjskih vrsta u akvatičnoj sredini i u njenoj neposrednoj blizini. Na smanjenje dotoka i nivoa vode posebno su osetljiva močvarna područja, inundacije duž reka i zone mrestilišta. U praksi, vrednost minimalnog održivog protoka Q_{mo} i dodatne količine vode koje je neophodno ostaviti u vodotoku za nizvodne korisnike, utvrđuju nadležne ustanove u postupku izdavanja vodnih uslova (Republička direkcija za vode, na osnovu mišljenja RHMZ i mišljenja javnih vodoprivrednih preduzeća). Taj postupak se sprovodi na višim nivoima projektovanja (idejno rešenje, idejni projekat i projekat za građevinsku dozvolu). Predmetna analiza je sprovedena za potrebe generalnog projekta (Prethodna studija opravdanosti sa generalnim projektom mogućnosti razvoja navodnjavanja na teritoriji opštine Velika Plana, 2016.), sa ciljem da ljudske aktivnosti vezane za korišćenje voda iz vodotoka ne naruše prethodno uspostavljenu prirodnu ravnotežu.

Proračun minimalnih održivih proticaja je sproveden za svaki mesec unutar vegetacione sezone pojedinačno, zbog specifičnosti potreba biosfere za vodom, na nizovima osmotrenih podataka dužine 30 godina. Za svaki mesec vegetacione sezone određeni su i proticaji koji se javljaju sa verovatnoćom 80%. Raspon proticaja između vrednosti navedenih verovatnoća pojave (Grafikon 7 i 8) definiše se kao količina vode dostupna za zadovoljenje različitih potreba, predstavljenih različitim grupama korisnika: vodosnabdevanje stanovništva, navodnjavanje, industrija i ostala privreda (Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černić“, 2012.).



Grafikon 7. Analiza dostupnih voda u V. Moravi u julu (m^3/s)



Grafikon 8. Analiza dostupnih voda u V. Moravi u avgustu (m^3/s)

Grafikoni 7 i 8 pokazuju da je u razmatranom periodu bilo meseci u kojima srednji mesečni proticaj nije dostizao vrednost $Q_{sr.mes.80\%}$, pa ni vrednost $Q_{sr.mes.95\%}$. Ova činjenica još jednom ističe u prvi plan osetljivost neplanskog korišćenja vodnih resursa i stihijske izgradnje sistema za navodnjavanje, bez prethodnog sagledavanja šireg konteksta.

U daljim razmatranjima usvojeno je sledeće:

- zahvatanje za podmirenje potreba stanovništva i industrije već se odrazilo na osmotrene proticaje, te nije potrebno dodatno sagledavanje uticaja ovih potreba na dostupne količine vode;
- evidentan je pad broja stanovnika u naseljima na razmatranom području - većina postojećih sistema za vodosnabdevanje na razmatranom potezu V.

Morave može se u ovom trenutku smatrati dovoljnog kapaciteta za naredni srednjoročni period;

- stanje vodovodne mreže je nezadovoljavajuće, jer su gubici sistema za vodosnabdevanje u proseku 30-40% - rešavanjem ovog problema preostaje dodatne količine za ostale potrebe;
- imajući u vidu smanjenje obima industrijske proizvodnje, zatvaranje većeg broja fabrika i potrebu za racionalnijom potrošnjom vodnih resursa u proizvodnji (usvajanje čistijih tehnologija za koje su potrebne manje količine voda), može se očekivati da potrebe industrije u narednom periodu neće ispoljiti intenzivan porast.

Ipak, zbog neizvesnosti koja se pre svega ogleda u nepoznatoj trenutnoj i budućoj tražnji za vodom, usvojeno je da količine predviđene za navodnjavanje Q_n ne treba da prevaziđu polovinu dostupnih voda:

$$Q_{n,i} = \frac{Q_{sr,i}^{80\%} - Q_{sr,i}^{95\%}}{2} \quad (7)$$

Zahvatanje do jedne polovine dostupnih voda ostavlja dovoljno rezervi u vodotoku, koje se mogu aktivirati ukoliko nastupe prirodne ili društvene okolnosti bitno različite od onih koje su u ovom radu sagledane. Značajno odstupanje od proticaja evidentiranih u prethodnom periodu može da bude uslovljeno klimatskim promenama, značajnim povećanjem broja stanovnika, što bi uslovlilo povećan zahtev za vodosnabdevanjem, intenzivan razvoj industrije, i dr. Analiza sadašnjih društvenih i privrednih prilika, čini malo verovatnim odstupanje od usvojenog scenarija.

Za prikaz dostupnih voda unutar vegetacionog perioda (Tabela 5) je korišćen pristup *od ušća ka izvoru* – u obzir su uzete maksimalne količine voda koje se mogu uzeti za navodnjavanje na uzvodnoj hidrološkoj stanici (VS „Bagrdan“), te je na osnovu razlike proticaja u odnosu na VS „Ljubičevski most“ određena količina dostupne vode na predmetnoj sekciji, kojoj pripada teritorija opštine Velika Plana.

Tabela 5. Količine vode dostupne za navodnjavanje u razmatranom delu sliva Velike Morave

Vodomerna stanica	$(Q_{80\%} - Q_{95\%})/2$ [m^3/s]					
	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP
„Bagrdan“	46,1	17,5	19,1	6,3	6,8	5,8
„Lj. most“	58,8	18,8	23,9	10,7	8,3	6,2

Iz prikazanih vrednosti sledi da je su za navodnjavanje u kritičnim mesecima na raspolaganju sledeće količine vode:

- Jul $Q = 10,65 - 6,25 = 4,40 \text{ m}^3/\text{s}$
- Avgust $Q = 8,25 - 6,80 = 1,45 \text{ m}^3/\text{s}$

Kada ove količine svedemo na opštinske granice, dostupne količine vode treba srazmerno da dele opštine koje se nalaze na tom prostoru, pre svih opštine Velika Plana (leva obala) i Žabari (desna obala). Podaci prikazani u Tabeli 7 ukazuju na izazitu neravnomernost raspoloživih količina vode, pa da bi bili na strani sigurnosti, sledi da je u opštini Velika Plana dostupno oko 700 L/s (polovina raspoložive vode u avgustu), za navodnjavanje približno 2.000 ha poljoprivrednog zemljišta. Iako bi se na ovaj način obezbedilo navodnjavanje tek 8% od ukupnog poljoprivrednog zemljišta, to je veoma značajna površina u odnosu na dosadašnjih navodnjavanih 829 ha (4%) (RZZS, 2013).

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu, primenjena je hidrološka analiza za procenu kapaciteta površinskih voda za potrebe navodnjavanja. Generalni zaključak je da Velika Morava sa pritokama spada u slabo izdašne domaće vodotoke sa aspekta navodnjavanja, s obzirom da dostupna količina vode iz Velike Morave ne zadovoljava u potpunosti potrebe u opštini Velika Plana. Nedostaci vode još su izraženiji u periodima trajanja kraćih od 30 dana, što je važno uzeti u obzir ukoliko je sistem za navodnjavanje namenjen kulturama osetljivim na odsustvo vode. Iz navedenih razloga potrebno je razmotriti i alternativne izvore vode, odnosno direktno korišćenje podzemnih voda i eventualnu izgradnju mikro akumulacija na malim unutrašnjim vodotokovima. Takođe, potrebno je razmotriti izgradnju akumulacija ili kompenzacionih rezervoara sa pripadajućim crpnim stanicama i razvodnim cevovodima, da bi se na taj način omogućilo skladištenje vode i ublažio pritisak na vodne resurse u malovodnom periodu. Rezervoari potencijalno imaju rastuću ulogu u zadovoljenju budućih potreba za vodom za navodnjavanje posebno u regionima gde je nestašica vode posledica neravnomerne distribucije tokom godine (Biemans et al., 2011). Razvoj navodnjavanja treba da prati racionalno planiranje i korišćenje vodnih resursa, ali i primena nove tehnologije koje će tome doprineti, kao i naprednih tehnika za navodnjavanje, i prateće opreme koja omogućava pravovremeno navodnjavanje optimalnim normama, bez rasipanja dragocenog resursa - vode.

ZAHVALNICA

Rad je delimično finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, projekat TR 37005 i TR 37014. Autori se posebno zahvaljuju dr Dragoslavu Isailoviću na dragocenim savetima i metodološkom usmerenju, što je značajno doprinelo rezultatima ovog rada.

LITERATURA

- [1] Abdullah KB. 2006. Use of water and land for food security and environmental sustainability. *Irrigation and Drainage*. 55: 219–222.
- [2] Biemans H, Haddeland I, Kabat P, Ludwig F, Hutjes RWA, Heinke J, von Bloh W, and Gerten D. 2011. Impact of reservoirs on river discharge and irrigation water supply during the 20th century. *Water Resources Research*. 47: W03509.
- [3] Dougherty TC and Hall AW. 1995. Environmental impact assessment of irrigation and drainage projects. *Irrigation and Drainage Paper 53*. FAO, Rome.
- [4] Elliott J, Deryng D, Müller C, Frieler K, Konzmann M, Gerten D, Glotter M, Flörke M, Wada Y, Best N, Eisner S, Fekete BM, Folberth C, Foster I, Gosling SN, Haddeland I, Khabarov N, Ludwig F, Masaki Y, Olin S, Rosenzweig C, Ruane AC, Satoh Y, Schmid E, Stacke T, Tang Q and Wisser D. 2014. Constraints and potentials of future irrigation water availability on agricultural production under climate change. *PNAS* 111(9): 3239–3244.
- [5] IEEP. 2000. The Environmental Impact of Irrigation in the European Union, a report to the Environment Directorate of the European Commission. Institute for European Environmental Policy, London, in association with Politechnical University of Madrid and University of Athens.
- [6] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. 2012. Studija razvoja navodnjavanja u poljoprivredi Republike Srbije.
- [7] JP za planiranje i izgradnju „Plana“. 2013. Prostorni plan opštine Velika Plana 2012.-2022.
- [8] Maupin MA, Kenny JF, Hutson SS, Lovelace JK, Barber NL and Linsey KS. 2014. Estimated Use of Water in the United States in 2010: U.S. Geological Survey Circular 1405. 56 pp. (Available at: <http://dx.doi.org/10.3133/cir1405>).

- [9] Montazar A, Riazi H and Behbahani SM. 2010. Conjunctive Water Use Planning in an Irrigation Command Area. *Water Resources Management*. 24:577–596.
- [10] Rudić Ž, Božić M, Milošev D, Nikolić G and Radanovic J. 2016. Large Scale Irrigation Planning for Rational Use of Water Resources: Velika Plana as a Case Study (Serbia). In *Proceedings of IWA 8th Eastern European Young Water Professionals Conference*, 11-14 May 2016, Gdansk, Poland, pp. 357-364.
- [11] RZZS. 2013. *Popis poljoprivrede 2012. Poljoprivreda u Republici Srbiji, knjiga 1 i 2*, Republički zavod za statistiku Srbije, Beograd.
- [12] Smakthin VU. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*. 240: 147-186.
- [13] Tischbein B, Awan UK, Abdullaev I, Bobojonov I, Conrad C, Jabborov H, et al. 2012. Water management in Khorezm: current situation and options for improvement (hydrological perspective) In: Martius C, Rudenko I, Lamers J, Vlek P, et al., editors. *Cotton, water, salts and soums*. Dordrecht: Springer, pp. 69–92.
- [14] USDA NRCS. 2007. *Stream Hydrology*. In: *National Engineering Handbook - Part 654 Stream Restoration Design*. United States Department of Agriculture, National Resources Conservation Service. Washington, DC.
- [15] Wada Y, Wisser D, Eisner S, Flörke M, Gerten D, Haddeland I, Hanasaki N, Masaki Y, Portmann FT, Stacke T, Tessler Z and Schewe J. 2013. Multimodel projections and uncertainties of irrigation water demand under climate change. *Geophysical Research Letters*. 40: 4626–4632.
- [16] WMO. 2008. *Manual on Low-flow Estimation and Prediction*. Operational Hydrology Report 50. World Meteorological Organization. Geneva.

THE ANALYSIS OF WATER AVAILABILITY FOR IRRIGATION IN THE MUNICIPALITY OF VELIKA PLANA

by

Dejan MILOŠEV, Goran NIKOLIĆ, Željka RUDIĆ, Mile BOŽIĆ
Institute for the Development of Water Resources „Jaroslav Černi“, Belgrade

Summary

The aim of this paper is to highlight the need for irrigation planning and rational use of water resources, especially when planning systematic irrigation of large areas. We analysed main hydrological characteristics required for examining the total available amount of surface water, spatial and temporal distribution, and moreover the extreme flows from the standpoint of meeting the needs of different users. Velika Plana is a typical rural municipality with 21.986 ha of agricultural land. For irrigating 50% of agricultural land, it is necessary to provide around 20M m³/year to meet the

crop water requirements in 4 of 5 years. Hydrological analysis showed that the amount of water available from the Velika Morava River doesn't fully meet the irrigation demands in the municipality of Velika Plana. Available 0,5 m³/s is sufficient for only 8% of agricultural land in the municipality. If it is planned to expand and develop irrigation over large areas, it is necessary to consider alternative water sources.

Key words: irrigation, hydrological analysis, low flow regime, Velika Morava River

Redigovano 14.10.2017.