

ANALIZA MOGUĆNOSTI NAVODNJAVANJA KORIŠĆENJEM VODE IZ AKUMULACIJE "ZAVOJ"*

Olivera POTIĆ, Slaviša TRAJKOVIĆ
Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu

REZIME

U ovom radu prikazani su rezultati višenamenskog korišćenja akumulacije "Zavoj", za vodosnabdevanje Pirota, Niša i Bele Palanke, kao i za navodnjavanje do 9,000 ha poljoprivrednih površina. Potrebe za vodom za vodosnabdevanje određene su prema srednje godišnjim potrebama, na osnovu kojih su određene i srednje mesečne potrebe za vodom.

Rezultati sprovedenih analiza pokazuju, da akumulacija "Zavoj" može da obezbedi određenu količinu vode za vodosnabdevanje, a ispuštena voda iz akumulacije, nakon iskorišćenja njenog hidroenergetskog potencijala-regulisani proticaji u Nišavi, za hidromelioracione sisteme u slivu Nišave i značajno utiče na oplemenjavanje malih voda u sušnom periodu. Za utvrđivanje stanja vodoprivrednog sistema, korišćen je simulacioni model HEC-5.

Ključne reči: Hidroenergetika, Vodosnabdevanje, Navodnjavanje, Akumulacija, Simulacioni model.

1. UVOD

U slivu Nišave, izgrađena je višenamenska akumulacija "Zavoj" na reci Visočici. Voda iz akumulacije "Zavoj", po planskim i tehničkim dokumentima, treba da se koristi za proizvodnju hidroenergije, vodosnabdevanje, navodnjavanje, za zaštitu od poplava i oplemenjavanje malih voda.

Voda iz akumulacije "Zavoj" se uz neophodnu preradu može koristiti za vodosnabdevanje B.Palanke i Niša i to direktnim zahvatanjem iz akumulacije ili nakon iskorišćenja njenog energetskog potencijala.

Posle izgradnje akumulacije "Zavoj", u zavisnosti od dnevnog vremena rada hidroelektrane-HE "Zavoj", regulisani proticaji u Nišavi, nizvodno od elektrane, su veoma promenljivi. Po tehničkim karakteristikama [3], ispuštanje vode iz HE "Zavoj" u reku Nišavu, nakon izravnjanja voda u kompenzacionom basenu iznosi $\overline{Q_{dn}} = 8.2m^3 / s$.

U slivu Nišave, pored vodosnabdevanja, postoji i velika potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih površina. Navodnjavanje ima nezaobilazno mesto u procesu osiguranja stabilne poljoprivredne proizvodnje, ono može izazvati niz promena u agroindustrijskom kompleksu, kao i u privredi, ovog izrazito privredno nerazvijenog područja.

Nepovoljni raspored padavina i oticaja u slivu Nišave, kao i pojava velikog broja sušnih godina u poslednjoj deceniji, izbacila je u prvi plan značaj navodnjavanja. U opsežnoj akciji povećanja poljoprivrednih površina koje se navodnjavaju je rekonstrukcija postojećih melioracionih sistema, koji se ne koriste u dovoljnoj meri ili su potpuno zapušteni, kao i izgradnja novih sistema, za koje se voda može obezbediti iz akumulacije "Zavoj".

U ovom radu razmatrana je mogućnosti navodnjavanja Belopalanačkog polja u izmenjenim hidrološkim uslovima u slivu, nakon izgradnje akumulacije "Zavoj". Prikazani su rezultati i analize višenamenskog korišćenja voda iz akumulacije za proizvodnju hidroenergije, vodosnabdevanje i navodnjavanje, kao i proračun potreba za vodom za melioracione sisteme u slivu Nišave, za navodnjavanje od 2000 do 9000 ha poljoprivrednih površina u Pirotskoj, Belopalanačkoj i Niškoj kotlini.

* Ovaj članak rezultat je rada na projektu 410018 - Unapređenje metodologije i modela za efikasno praćenje i upravljanje kvalitetom vode u vodotocima.

Analizirano područje predstavlja ravničarski deo sliva, a vodozahvati za navodnjavanje bili bi locirani u samom vodotoku. Za analizu višenamenskog korišćenja voda iz akumulacije "Zavoj" korišćen je simulacioni model HEC-5 [4].

2. SISTEM U BELOPALANAČKOM POLJU

Sistem u Belopalanačkom polju, izgrađen je 1960.g. na površini od 1000 ha. Projektom je bilo predviđeno da se površine navodnjavaju vodom iz korita reke Nišave. Sistem je bio u funkciji samo nekoliko godina i u kasnijem periodu je potpuno zapušten.

Investicioni program za rekonstrukciju i modernizaciju ovog sistema za navodnjavanje urađen je sredinom osamdesetih godina prošlog veka, kojim je bilo predviđeno zalivanje kišenjem, kao i izgradnja druge faze sistema, koja treba da obuhvati dodatnih 1000 ha [5].

Programom se predviđa popravka postojećih objekata, čišćenje glavnih kanala, komasacija, izgradnja putne mreže i nabavka uređaja za kišenje. Poljoprivredne površine će se navodnjavati uređajima za kišenje, koji su izabrani i prilagođeni kako kulturama koje se planiraju tako i veličini parcela. Zahvat vode se predviđa agregatom iz glavnog kanala. Kulture će se navodnjavati tifonima i centar pivotima. Garnitura tifona se sastoji od tri uređaja, koji navodnjavaju površinu od 6.2 ha (310x200m). Jedna garnitura, sa premeštanjem tranzitnog voda, zaliva površinu od oko 100 ha. Centar pivotom se zaliva površina od 108 ha u prečniku 550 m.

3. POTREBE ZA VODOM

Srednje godišnje potrebe za vodom za vodosnabdevanje Pirota, Bele Palanke i Niša, iz akumulacije "Zavoj", za planski period do 2021.godine prema podacima iz Vodoprivredne osnove [7] su:

- za Pirota - $\overline{Q_{v, god}} = 0.15 - 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$;
- za B. Palanku - $\overline{Q_{v, god}} = 0.1 - 0.15 \text{ m}^3/\text{s}$;
- za Niš - $\overline{Q_{v, god}} = 0.75 - 1.1 \text{ m}^3/\text{s}$

U ovom radu, usvojeno je da se za vodosnabdevanje iz akumulacije zahvata srednji godišnji proticaj: za Niš - $\overline{Q_{v, god}} = 0.90 \text{ m}^3/\text{s}$, Belu Palanku - $\overline{Q_{v, god}} = 0.10 \text{ m}^3/\text{s}$, a nakon iskorišćenja hidroenergetskog potencijala iz kompenza-

cionog basena, za Pirota - $\overline{Q_{v, god}} = 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednje mesečne potrebe za vodom - $\overline{Q_{v, mes}}$ prikazane su u tabeli 1.

Potrebe za vodom hidromelioracionog sistema nisu konstantne tokom vegetacionog perioda i zavise od hidrometeoroloških uslova na području sistema, od vrste i zastupljenosti poljoprivrednih kultura, primenjenih agrotehničkih mera i dr. Potrebne količine vode za hidromelioracioni sistem, određene su iz jednačine vodnog bilansa zemljišta:

$$V_n = ET - P_e \quad (1)$$

gde je: V_n = potrebe za vodom (mm); ET = evapotranspiracija (mm); P_e = efektivne padavine (mm). Vrednosti za referentnu evapotranspiraciju, za period osmatranja od 1965-1985. god. dobijene su prema izmenjenoj Hargreaves metodi [6].

$$ET_{0, aharg} = 0.0023 \cdot R_a \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.424} \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} + 17.8 \right) \quad (2)$$

gde je: $ET_{0, aharg}$ = referentna evapotranspiracija [mm d^{-1}]; R_a = ekstraterestrijalna radijacija [$\text{MJm}^{-2} \text{d}^{-1}$]; T_{max} = srednja maksimalna temperatura vazduha [$^{\circ}\text{C}$]; T_{min} = srednja minimalna temperatura vazduha [$^{\circ}\text{C}$].

Plodored je određen na osnovu klimatskih i topografskih karakteristika kao i na osnovu potreba prehranbene industrije. Potrebe svake kulture iz plodoreda za vodom dobijene su po izrazu:

$$ET = k_c ET_o \quad (3)$$

gde je: k_c = koeficijent kulture; ET - evapotranspiracija kulture (mm).

Vrednosti koeficijenata kultura su dobijane po proceduri prikazanoj u [1]. Evapotranspiracija je određena prema relativnom učešću svake kulture, a proračun efektivnih padavina je obavljen prema USDA SCS metodi [2]:

$$P_e = 1.2525(P^{0.82416} - 2.3435)e^{0.0022ET} \delta(D_n) \quad (4)$$

gde je: P = mesečne padavine (mm); $\delta(D_n)$ = korekcionni faktor, zavisi od norme zalivanja. Potrebne srednje mesečne količine vode za vodosnabdevanje i hidromelioracioni sistem površine 1000 ha, 2000 ha i 5000 ha, date su u tabeli 1.

Tabela 1. Potrebe za vodom iz akumulacije "Zavoj"

mesec	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Biološki minimum - profil "Zavoj"						
$\overline{Q_{bm.mes}} = 0.6 \text{ [m}^3/\text{s]}$						
Srednje mesečne potrebe - vodosnabdevanje						
$\overline{Q_{v.mes}} \text{ [m}^3/\text{s]}$						
Q=1.0 (N+BP)	1.0 56	1.1 88	1.3 20	1.4 52	1.4 52	1.3 20
Q=0.2 (Piroto)	0.1 60	0.1 80	0.2 00	0.2 20	0.2 20	0.2 00
Srednje mesečne potrebe za hidromelioracioni sistem $\overline{Q_{n.mes}} \text{ [m}^3/\text{s]}$						
1000ha	0.25	0.39	0.47	0.63	0.55	0.34
2000ha	0.50	0.78	0.94	1.26	1.10	0.68
5000ha	1.75	1.95	2.35	3.15	2.75	1.70

4. PRIMENA SIMULACIONOG MODELA

Osnovne komponente višenamenskog vodoprivrednog sistema čiji se rad simulira su: glavni vodotok, akumulacije, kontrolne tačke, vodozahvati, tačke promene hidrološkog režima dotoka (ušća pritoka). Program prihvata bilo koju konfiguraciju sistema uz uslov da nema dimenzionalnih prekoračenja u pogledu broja kontrolnih tačaka i akumulacija. Kružni tokovi vode kao što su kanali i cevovodi za razmenu voda između akumulacija mogu se implicitno specificirati u obliku vodozahvata i povratnih tokova [4].

Delovanje svake akumulacije u sistemu nije samostalno već je diktirano potrebom da se zadovolje zahtevani proticaji na specificiranim nizvodnim kontrolnim tačkama. Prioriteti ispuštanja vode iz akumulacija definišu se zadavanjem "indeksnih nivoa" prema odgovarajućoj nameni dela zapremine akumulacije. Za vodoprivredne sisteme sa više akumulacija voda se ispušta tako da se teži dovođenju svake akumulacije na isti indeksni nivo (održavanje međusobne ravnoteže nivoa vode u akumulacijama).

Vodozahvati se u modelu pridružuju kontrolnim tačkama ili akumulacijama. Zahvatanje vode može biti konstantno ili promenljivo u diskretizacijskim vremenskim intervalima, u zavisnosti od zapremine akumulacije ili kapaciteta rečnog korita, za potrebe odvođenja suvišnih voda u poplavnom režimu rada, ili za potrebe rada elektrane, itd. Sve zahvaćene vode mogu se vratiti u sistem u određenom procentu ili se može specificirati njihovo odvođenje van sistema.

Simulacija proizvodnje energije i stanje zapremine svake akumulacije u sistemu određuju se u modelu na osnovu determinisanih podataka o elektranama.

U bilans voda može se uključiti i evaporacija, ukoliko je ona od značaja, a zadaje se u modelu za ceo rečni sliv ili posebno za površinu akumulacija, po mesečnoj raspodeli.

Osnovnu hidrološku komponentu u simulacionom modelu predstavljaju hidrografi dotoka koji se definišu u kontrolnim tačkama sistema. Model koristi inkrementalne lokalne dotoke koji se izračunavaju u modelu na osnovu prirodnih proticaja i proticaja dobijenih simulacijom zadatih ispuštanja iz akumulacija.

Na kraju simulacije program daje po izboru, sažete ili detaljne izveštaje o stanju sistema - korišćenju vode, proizvedenoj energiji, ublažavanju poplavnih talasa, ekonomskim parametrima i drugim.

Iako je od početka eksploatacije vode iz akumulacije "Zavoj" za proizvodnju hidroenergije, prošlo više od 15 godina, još uvek nema definitivnog opredeljenja stručnjaka u pogledu višenamenskog korišćenja ove akumulacije. Moguće varijante za vodosnabdevanje Niša, u periodu do 2021.godine, po planskim dokumentima su dovođenje vode iz akumulacija "Zavoj" ili "Selova".

U ovom radu su primenom simulacionog modela analizirane sledeće dve varijante višenamenskog korišćenja akumulacije "Zavoj":

1. Vodosnabdevanje Pirota, sa srednje godišnjim potrebama $\overline{Q_{god}} = 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$, koje treba obezbediti nakon iskorišćenja hidroenergetskog potencijala vode iz akumulacije; Navodnjavanje površina od 2000ha – Belopalanačko polje.
2. Vodosnabdevanje Niša i B.Palanke, sa srednje godišnjim potrebama $\overline{Q_{god}} = 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$. Navodnjavanje poljoprivrednih površina klase I i to: 2000 ha - Piroto, 2000 ha - B.Palanke i 5000 ha - Niš.

Uslovi korišćenja vode iz akumulacije "Zavoj" (zadati u simulacionom modelu) su: proizvodnja hidroenergije prema instaliranoj snazi hidroelektrane i nivou vode u akumulaciji, vodosnabdevanje sa obezbeđenjem od min 95%, obezbeđenje biološkog minimuma na svim kontrolnim tačkama u sistemu i navodnjavanje poljoprivrednih površina sa obezbeđenjem od min 80%.

Sve analize urađene su sa srednje mesečnim proticajima na vodomernim profilima: akumulacija "Zavoj", Kompenza-

cioni basen, Piroto, B.Palanka i Niš, za period od 1965. do 1985.god. (N=20 godina, 240 podataka) [3].

Tabela 2. Osnovne hidrološke veličine

Profil	Površina	Srednje	Srednji
	sliva	padavine	proticaj
	km ²	mm	m ³ /s
"Zavoj"	556	820-920	8.2

Osnovne karakteristike akumulacije su:

- Bruto zapremina 170 x 10⁶ m³
- Zapremina mrtvog prostora 8 x 10⁶ m³
- Korisna zapremina 162 x 10⁶ m³
- Zapremina za zaštitu od poplava 8 x 10⁶ m³

Osnovne karakteristike elektrane su:

- Instalirana snaga generatora 2 x 40 MW
- Instalirani protok 22.5 – 45 m³/s
- Prosečno vreme rada elektrane 4.3 h/dan
- Maksimalni neto pad 234.2 m
- Minimani neto pad 158 m
- Biološki minimum 0.6 m³/s

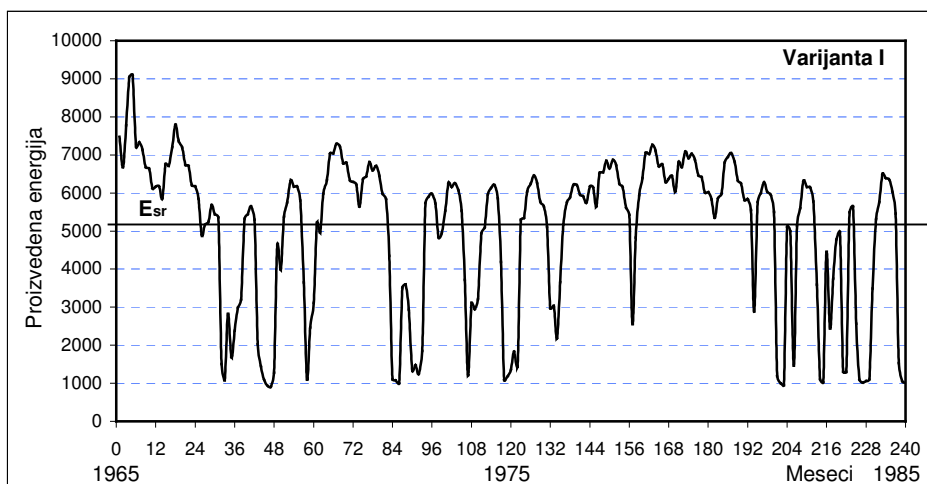
Pri višenamenskom korišćenju vode iz akumulacije, vodosnabdevanje stanovništva ima prioritet, a zahvatanje vode je direktno iz akumulacije. Mesečne oscilacije potreba za vodom za vodosnabdevanje, prikazane su u tabeli 1.

Voda za navodnjavanje se zahvata iz korita Nišave. Zahvaćena voda iz akumulacije za potrebe rada HE "Zavoj" se nakon iskorišćenja njenog energetskog potencijala i izravnjanja u kompenzacionom basenu, ispušta u rečni tok i koristi za navodnjavanje. Ispuštene vode iz akumulacije značajno utiču na oplemenjavanje malih voda u sušnom periodu i obezbeđenje povoljnijih ekoloških uslova u vodotoku, na većem delu toka Nišave.

5. REZULTATI

Usvojeno je da je akumulacija na početku simulacionog perioda (01.01.1965.) puna. Iz tog razloga, stanje korisne zapremine akumulacije, kao i proizvedena energija, za obe analizirane varijante ima maksimalne vrednosti na početku perioda za koji je vršena simulacija (N = 20 godina).

Rezultati simulacije višenamenskog korišćenja vode iz akumulacije "Zavoj" - VARIJANTA I, pokazuju da se radom HE "Zavoj" može obezbediti voda za vodosnabdevanje Pirota i navodnjavanje poljoprivrednih površina od 2000ha u Belopalanačkom polju. U periodu za koji je vršena simulacija, N = 240 meseci, srednja mesečna proizvedena energija prikazana na slici 1 jeste $E_{mes} = 5163$ MW/mes. Vodosnabdevanje Pirota vodom od $Q_{god} = 0.20$ m³/s, predviđeno je nakon iskorišćenja hidroenergetskog potencijala, a korišćenje vode za vodosnabdevanje i navodnjavanje ne utiče na veličinu proizvedene energije u sistemu.



Slika 1. Stanje proizvedene energije u HE "Zavoj", za VARIJANTU I višenamenskog korišćenja akumulacije "Zavoj"

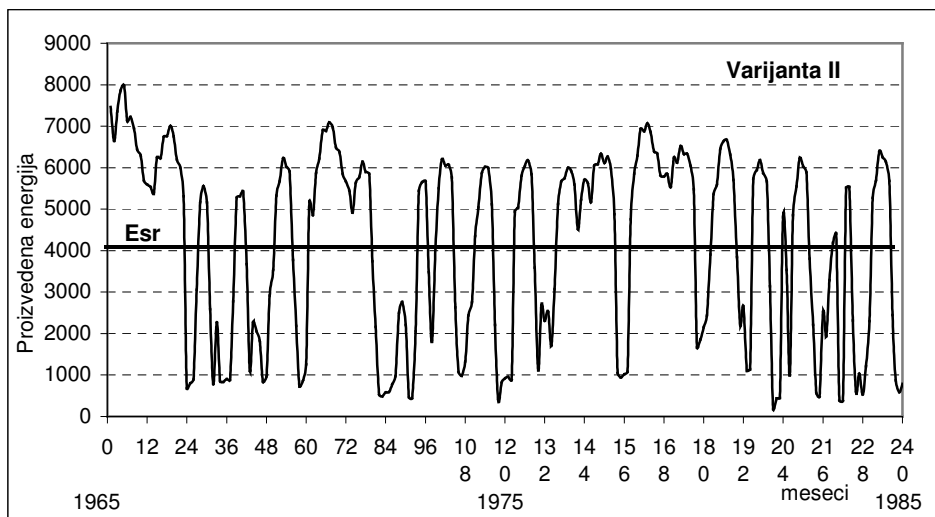
Međutim, po **VARIJANTI II**, rezultati prikazani na slici 2, pokazuju da se vodosnabdevanje Niša i B.Palanke, sa $\overline{Q}_{god} = 1.00 \text{ m}^3/\text{s}$, može obezbediti uz umanjene proizvedene energije. U periodu za koji je vršena simulacija stanja vodoprivrednog sistema, prosečna mesečna proizvedena energija u ovom slučaju je $\overline{E}_{mes} = 4033 \text{ MW}/\text{mes}$.

Prema sprovedenim analizama, regulisani proticaj u slivu Nišave nizvodno od akumulacije, a samim tim i količine vode za navodnjavanje u nizvodnim kontrolnim tačkama zavise od rada HE "Zavoj". Zbog režima rada HE "Zavoj" (vršna elektrana) ispuštanje vode iz akumulacije u reku Nišavu, nakon iskorišćenja njenog energetskeg potencijala

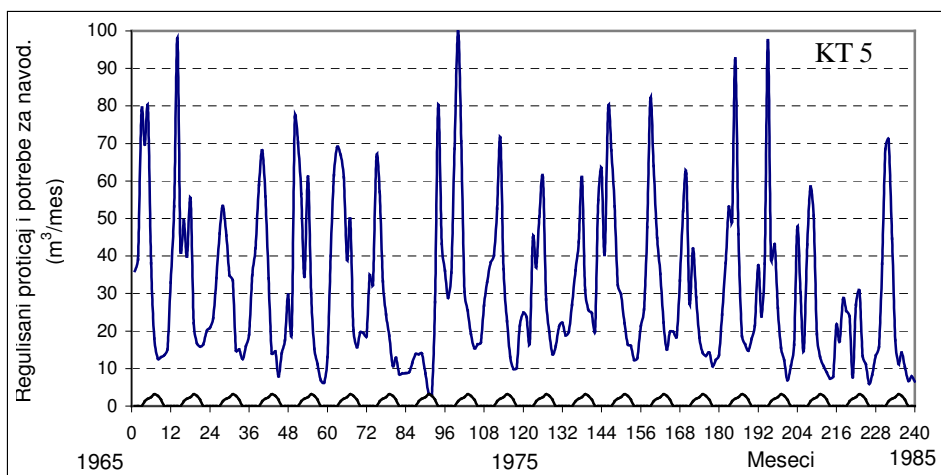
i izravnjanja u kompenzacionom basenu - KB je $Q_{is} = 8.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ovaj proticaj sa međudotokom do pojedinih kontrolnih tačaka (B.Palanka, Niš), zadovoljava potrebe za navodnjavanjem poljoprivrednih površina klase I, na nivou srednje mesečnih potreba. Za izbor načina i dinamike navodnjavanja, bilo bi potrebno uskladiti rad hidroelektrane i hidromelioracionog sistema.

Na slici 3, prikazan je hidrogram regulisanog proticaja Nišave za Niš (prirodni proticaj i ispuštanje iz akumulacije) i potrebe za vodom hidromelioracionog sistema u Niškoj kotlini.



Slika 2. Stanje proizvedene energije u HE "Zavoj", za razmatranu VARIJANTU II višenamenskog korišćenja akumulacije "Zavoj"



Slika 3. Regulisani proticaj Nišave, Niš i potrebe za vodom hidromelioracionog sistema u Niškoj kotlini

6. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj rada je analiza višenamenskog korišćenja akumulacija, za proizvodnju hidroenergije, vodosnabdevanje, navodnjavanje i oplemenjivanje malih voda primenom simulacionog modela HEC-5.

Vodoprivredni sistem u slivu Nišave analiziran je zbog izraženih potreba za vodom za vodosnabdevanje i značaja navodnjavanja za ovo područje.

Neophodni hidrološki podaci preuzeti su iz Glavnog projekta akumulacije "Zavoj". Obzirom na vremensku distancu, detaljnija hidrološka analiza, obrada raspoloživih merenja hidroloških veličina, kao i duži period simulacije rada vodoprivrednog sistema kojim bi bile obuhvaćeni i ekstremni hidrološki uslovi, pokazala bi verovatno različite rezultate od prikazanih u ovom radu.

Kao što se i iz prikazanih rezultata vidi, simulacioni model HEC-5 se može uspešno koristiti za planiranje korišćenja višenamenskih akumulacija, ali i u fazi operativnog upravljanja za raspodelu vode korisnicima, na osnovu poznatih ili prognoziranih dotoka.

LITERATURA

- [1] Allen R.G, Pereira L.S, Raes D. and Smith M: Crop Evaporation. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 1998.
- [2] Avakumović D: Navodnjavanje, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2005.
- [3] Akumulacija "Zavoj", Glavni projekat, Knjiga IV–Hidrološke podloge, Energoprojekt - Beograd, 1981.
- [4] Hidrologic Engineering Center, Users Manual, U.S.Army-Corps of Engineers: HEC-5 Simulation of Flood Control and Conservation Systems, Davis, 1985.
- [5] Sokolović, B., Sokolović, G.: Rekonstrukcija i modernizacija Belopalanačkog sistema za navodnjavanje, IV Republičko savetovanje o odvodnjavanju i navodnjavanju, Nis, 269-283, 1985.
- [6] Trajkovic, S., Hargreaves versus Penman-Monteith under Humid Conditions, J. Irrig. and Drain. Engrg. 133 (1), 38-42, 2007.
- [7] Vodoprivredna osnova, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" Beograd, 2001.

IRRIGATION FROM THE MULTIPURPOSE RESERVOIR "ZAVOJ"

by

Olivera POTIĆ, Slaviša TRAJKOVIĆ
Faculty of Civil Engineering and Architecture, University of Nis

Summary

The water storage created by the Zavoj dam has multipurpose uses: water supply of the municipalities of Pirot, Niš and Bela Palanka, as well as for irrigation of up to 9,000 ha of agricultural land. The reservoir's water supply capacity is analyzed considering the average yearly and monthly water demands and the results of analyses show that the reservoir "Zavoj" may

provide sufficient water both for water supply and irrigation. The operation of the water resources system was analyzed by making use of the HEC-5 simulation model.

Key words: Hydroenergetics, Water supply, Irrigation, Reservoir, Simulation model

Redigovano 14.12.2007.