

Dimenzioniranje akumulacija primjenom generiranih protoka

Josip Rubinić, Jure Margeta

Ključne riječi

akumulacija,
dimenzioniranje
akumulacije,
generiranje serije protoka,
modeliranje, sistemsko
inženjerstvo, Boljunčica

J. Rubinić, J. Margeta

Stručni rad

Dimenzioniranje akumulacija primjenom generiranih protoka

U radu je opisan pristup gospodarenju volumenima akumulacija na osnovi primjene generiranih serija ulaznih podataka o dotocima. Za generiranje serija dotoka u akumulaciju upotrebljen je Thomas – Fieringov model. Kao primjer za ilustraciju navedena je postojeća akumulacija Boljunčica u Istri. Ovdje provedene analize daju i praktičan doprinos budućem upravljanju s tom akumulacijom u smislu osiguranja metodološkog pristupa pri određivanju potrebnog prostora u zaplavu akumulacije.

Key words

water storage reservoir,
reservoir design,
generation of flow series,
modeling,
system engineering,
Boljunčica

J. Rubinić, J. Margeta

Professional paper

Design of water storage reservoirs based on flow generation

An approach to water reservoir management, as based on the use of generated series of input data about water inflow, is described. The Thomas - Fiering model is applied for generation of flow series. The existing Boljunčica reservoir in Istria is used as a practical example. The analyses performed on this project are a practical contribution to the future management of this reservoir because they provide a methodological approach for defining necessary space in the flood zone of the reservoir.

Mots clés

retenue, dimensionnement
de la retenue,
génération d'une série
de débits,
modélisation,
ingénierie système,
Boljunčica

J. Rubinić, J. Margeta

Ouvrage professionnel

Dimensionnement des retenues avec l'utilisation des débits générés

L'article décrit une approche de la gestion des volumes des retenues à partir des séries générées de données d'entrées relatives aux apports. Le modèle de Thomas – Fiering a été utilisé pour la génération des séries des apports dans la retenue. La retenue existante de Boljunčica en Istrie a été citée à titre d'exemple. Les analyses effectuées donnent aussi une contribution pratique à la future gestion de cette retenue, car elles assurent une approche méthodologique dans la détermination des berges de la retenue.

Schlüsselworte:

Stausee,
Stauseebemessung,
Generierung der
Durchflusserie,
Modellierung,
Systemingenieurwesen,
Boljunčica

J. Rubinić, J. Margeta

Fachbericht

Stauseebemessung mit Anwendung der generierten Durchflüsse

Im Artikel beschreibt man einen Zutritt zur Wahrung von Stauseevolumen auf Grund der Anwendung von generierten Serien einlaufender Angaben über den Durchfluss. Für das Generieren der Durchflusserien in den Stausee wurde das Modell von Thomas – Fiering benützt. Als Beispiel ist der bestehende Stausee Boljunčica in Istrien angegeben. Die hier durchgeführten Analysen bieten auch einen praktischen Beitrag zur zukünftigen Wahrung dieses Stausees im Sinn der Sicherung eines methodologischen Zutritts zur Bestimmung des notwendigen Stauraums.

Autori: **Josip Rubinić**, dipl. ing. građ., Hrvatske vode, VGI "Raša – Boljunčica", Labin;
prof. dr. sc. **Jure Margeta**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Matice hrvatske 15

1 Uvod

Akumulacije su vodnogospodarski objekti s kojima je moguća regulacija prirodnog režima otjecanja te je njima, u zavisnosti od prirodnih značajki hidrološkog sustava, potreba za vodom i volumenskim kapacitetom rezervoara moguće upravljati vodnim resursima sliva. Sve većim iscrpljivanjem prirodnih vodnih resursa, te sve većim problemima sa zadovoljavanjem potreba za vodom, naglašena je potreba za izgradnjom akumulacija, često i s višegodišnjim izravnjima, kao sastavnim elementom integralnoga gospodarenja vodnim resursima. Gospodarenje vodnim resursima sadrži niz aktivnosti kao što su planiranje, projektiranje, izgradnja, upravljanje održavanjem te na kraju i promatranje i kontrola izgrađenog objekta radi ocjene učinkovitosti izgrađenog objekta [1]. U skladu s tim potrebno je posebno planirati sve aktivnosti u odnosu prema akumulacijama kao ključnim objektima gospodarenja vodnim režimom nekog sliva.

Sve većim, te često i međusobno suprotstavljenim zahtjevima korištenja vodnim resursima, pojavljuje se i potreba za složenijim metodama gospodarenja uključujući i gospodarenje volumenima akumulacija. U rješavanju ovog problema već se dugo uspješno primjenjuju metode sustavnog inženjerstva. Metodama sustavnog inženjerstva nastoji se na temelju značajki ulaza u sustav i značajki akumulacije dobiti što povoljniji izlaz, to jest zadovoljavanje višenamjenskih potreba sa što manje negativnih popratnih pojava. Iskustvo u uporabi samo simulacijskih modela pokazalo je da je, uzimajući u obzir postavljene ciljeve i ograničenja, objektivno nemoguće samo primjenom simulacijskih modela uskladiti međusobno suprotstavljene zahtjeve i iznaći optimalno rješenje. Njih je potrebno uskladiti na temelju prihvaćenih mjerila vrednovanja, pri čemu se uz metode simulacije primjenjuju i metode optimalizacije te njihove kombinacije. Pri optimalizaciji rada hidrotehničkih sustava rabi se niz tehnika, počev od linearnog programiranja, dinamičkog programiranja, pa do nelinearnog programiranja i njihovih međusobnih kombinacija [2].

Jedno od ključnih pitanja pri planiranju regulacije otjecanja s nekog sliva jest određivanje kapaciteta vodospremišta - volumena akumulacije. Za taj zadatak primjenjuju se, prema [3, 4] tri grupe metoda:

1. *Klasične empirijske metode* - Zasnove su na pristupu rješavanja s pomoću krivulja masa (Ripple dijagrama). Ovom se metodom analizira mjereni, povijesni niz dotoka u akumulaciju te se za dimenzioniranje akumulacija upotrebljuje izmjereno kritično razdoblje malih voda. Rezultat toga jest proračunana (jedna) veličina volumena akumulacije. To su najjednostavnije metode koje se danas u svijetu uglavnom primjenjuju još samo pri preliminarnim analizama.

2. *Analitičke metode* - Zasnove su na analitičkoj relaciji između volumena i ispuštanja iz akumulacije, čime je u jednostavnijim slučajevima moguće odrediti distribuciju parametara kapaciteta akumulacije (vjerojatnog stanja volumena akumulacije) kao slučajne varijable.
3. *Metode generiranja uzoraka* - Zasnove su na generiranim serijama ulaznih podataka i njihovim simulacijama, čime se na osnovi poznatog povijesnog uzorka simulira velik broj ulaznih i izlaznih podataka vezanih uz proračun kapaciteta, odnosno stupnja zadovoljavanja potreba za vodom iz akumulacije [5].

Pri određivanju volumena akumulacija u domaćoj je praksi još uvijek uvriježena upotreba uglavnom samo klasičnih empirijskih metoda, zasnovanih na analizi samo jedne - povijesno opažene serije hidroloških podataka o dotocima u akumulaciju. U ovome radu analizirat će se pristup i mogućnosti koje pruža posljednja od prethodno spomenutih grupa metoda - metoda generiranja uzoraka. Analiza je provedena na primjeru postojeće akumulacije Boljunčica u Istri, gdje su se do sada u analizama primjenjivale samo empirijske metode zasnovane na sumarnoj krivulji masa.

Radi se o akumulaciji koja se, zbog izraženih gubitaka na poniranje iz zaplavnog prostora, za sada rabi samo jednonamjenski, i to za zaštitu od velikih voda. U tijeku je provođenje istražnih radova kojima je cilj procjena mogućnosti provedbe njezina otješnjenja, no koji još nisu rezultirali konačnim prijedlozima rješenja. Pri provedbi spomenute analize dijelom su upotrebljene podloge sadržane u hidrološkoj studiji [6] (JVP Labin, 1996.) te novelaciji Plana natapanja [7].

2 Opće hidrološke i hidrotehničke značajke akumulacije Boljunčica

Akumulacija Boljunčica izgrađena je na istoimenom bujičnom vodotoku koji prikuplja vode sjeveroistočnog dijela istarskog poluotoka zapadno od Učke [8, 9]. Izgradnjom brane Letaj 1970. godine formirana je akumulacija volumena otprilike 6,5 mil. m³, koja je trebala funkcionirati kao dvonamjenski objekt - za zaštitu nizvodnijeg dolinskog toka Boljunčice - Čepičkog polja od velikih voda i za osiguranje vode za navodnjavanje Čepičkog polja na kojem je izgrađen hidromelioracijski sustav s oko 1.400 ha obradive zemlje. No, s obzirom na značajne gubitke iz zaplavnog prostora koji pri izgradnji brane nisu bili odgovarajuće uočeni, akumulacija se za sada isključivo iskorištava za zaštitu od poplava.

Akumulacija je formirana na najnižvodnijem dijelu Boljunskog polja gdje je u kanjonskom dijelu toka Boljunčice izgrađena 35 m visoka lučna betonska brana Letaj. Površina neposrednog sliva Boljunčice do brane Letaj

iznosi približno 74 km². Kota praga preljeva akumulacije je na 93,00 m n.m. čemu je nakon izgradnje akumulacije odgovarao volumen zaplavnog prostora od oko 6,5 mil. m³, no koji se je prema procjenama tijekom proteklih tridesetak godina zbog taloženja nanosa u akumulaciji smanjio gotovo 0,5 mil. m³. Područje akumulacije karakterizira izrazito složena tektonika. Geološku građu karakterizira kontakt navlačenih struktura masiva Učke i flišne podloge središnjeg dijela istarskog platoa. Prevladavaju vapnenci krede i eocena te eocenski fliš. Dno akumulacije pokriveno je kvartarnim taloženjima. Čelo navlake iz okršanih vapnenačkih stijena pruža se lijevim bokom akumulacije. S obzirom na takvu strukturu terena, voda se iz akumulacije prazni nizom ponora.

Dotoci u akumulaciju (povijesni niz) određeni su u okviru pripreme hidroloških podloga za novelaciju Plana natapanja istarskih slivova, i to na osnovi usporedbe nizova podataka o srednjim mjesečnim protocima s profila Letaj - Boljunčica prije izgradnje akumulacije (1961.-1966.) s podacima na najbližem hidrološki sličnom slivu Pazinčice na profilu Dubravica. S obzirom na to da je hidrološka analiza provedena za veći broj potencijalnih pregradnih profila, usvojeno je zajedničko, 20-godišnje razdoblje obrade [6]. Iz tog je razloga i za potrebe ove analize kao polazni niz podataka za analizu i generiranje serija srednjih mjesečnih podataka o dotocima usvojen tako određen 20-godišnji niz podataka o protocima koji obuhvaća razdoblje hidr. god. 1973./74.-1992./93.

Podaci o mjesečnim količinama isparavanja sa slobodne vodene površine na području akumulacije Boljunčica određeni su na osnovi rezultata praćenja isparavanja na američkom isparitelju klase A na postaji Botonega, reducirani 30% koliko je na osnovi ostalih meteoroloških parametara procijenjeno da bi mogla biti manja isparavanja iz akumulacije Boljunčica.

Postojeće *krivulje površine i volumena akumulacije* Boljunčica, određene na osnovi premjera na početku rada akumulacije, ne mogu se s obzirom na dinamiku donosa nanosa, smatrati jednoznačnim funkcijama. Nanos je istaložen pretežno u dubljim dijelovima akumulacijskog prostora, pa je za potrebe analiza u ovome radu provedena njihova korekcija. Na temelju početnog stanja i rezultata izvršenih premjera iz 1988. i 1993. godine, izvršena je procjena donosa nanosa u akumulaciju u razdoblju do zaključno 1999. te korekcija krivulja volumena i površina vode ovisno o razini vode - nadmorskoj visini (H - dana u m n.m.) u akumulaciji. U sklopu primijenog potprograma simulacijskog modela RESOP-HVRI [10] (Mihajlo Pupin, 1979.) definirane su njihove funkcije u sljedećem obliku:

$$F = 36725.7 * (H - 76,00)^{1.2275} \quad (\text{m}^2) \quad (1)$$

$$V = 22513 * (H - 76,00)^{2.003} \quad (\text{m}^3) \quad (2)$$

Kao početna kota vode u akumulaciji uzeta je visina od 76,00 m n. m., do koje je zapravo u približnom prostoru akumulacija i zapunjena istaloženim nanosom.

Potrebe za vodom iz akumulacije analizirane su u okviru Plana navodnjavanja [7]. Proračunano je da je za navodnjavanje 2101 ha poljoprivrednog zemljišta na području Potpičanskog, Posertskeg i Čepičkog polja potrebno 2,784 mil. m³ vode tijekom sezone navodnjavanja. Od te je količine 0,435 mil. m³ potrebno u travnju, 1,266 mil. m³ u svibnju, 0,707 mil. m³ u lipnju, 0,374 mil. m³ u srpnju te 0,002 mil. m³ tijekom kolovoza. U spomenutom je planu kao najpovoljnije rješenje za osiguranje potrebnih količina vode za navodnjavanje ocijenjena akumulacija Boljunčica, naravno uz pretpostavku da će se osigurati rješenje njezina otješnjenja.

3 Generiranje serija podataka o dotocima u akumulaciju

Osnovni su ulazni podaci u simulacijske modele kojima se određuje potreban volumen akumulacijskog prostora serije srednjih mjesečnih dotoka u akumulaciju koje su stohastičkog karaktera. Promatrani uzorak - stvarno zapažena serija dotoka, odražava osobine realizacije samo jednog hidrološkog procesa, tako da određivanje veličine poželjnog akumulacijskog prostora samo na osnovi takve jedne serije unosi visok stupanj rizika. Osnovna je pretpostavka da će se ista hidrološka serija ponoviti i u idućem razdoblju. Tim se pristupom volumen akumulacijskog prostora tretira kao deterministička veličina, iako je u naravi ponašanje akumulacije rezultat stohastičkih procesa pa prema tome i veličina volumena akumulacije ima osobine slučajno promjenjive varijable [11, 12].

Stoga veličinu akumulacijskog prostora treba određivati analizom niza sintetičkih, generiranih hidroloških serija podataka o dotocima u akumulaciju uz odgovarajuću stohastičku interpretaciju dobivenih veličina potrebnog volumena akumulacije. Na ovaj se način omogućava analiza funkcije vjerojatnoće raspodjele tih volumena i vjerojatnoće zadovoljenja potreba, čime se dobiva bitno kvalitetniji rezultat. Što je više nizova to su rezultati pouzdaniji. Broj generiranih nizova može biti i do 1000.

Generirane serije sintetičkih protoka određuju se nekim od u praksi poznatih matematičkih modela, a čiji je zadatak da se na osnovi prikupljenih informacija o stohastičkim značajkama zapažene serije dotoka predviđaju pojave i drugih serija dotoka (većeg broja i duljine), s moguće i nepovoljnijim realizacijama dotoka vode u akumulaciju - npr. zbog pojave niza uzastopno veoma sušnih godina. Pritom generirane serije dotoka u akumulaciju moraju po svojim stohastičkim značajkama (sr. vrijednost, koeficijenti varijacije i asimetrije, autokorelacije.....) odgovarati polaznom povijesnom uzorku [13].

Pri generiranju serija ulaznih podataka o srednjim mjesečnim protocima u praksi se rabi više metodoloških postupaka, odnosno tipova autoregresijskih modela. Modeli za generiranje godišnjih vrijednosti ne mogu se upotrijebiti i za mjesečne jer se različiti mjeseci tijekom godine ne podudaraju sa srednjim godišnjim protokom i njegovom varijancom, a također ni korelacija između pojedinih uzastopnih mjesečnih protoka nije slična za sve mjesece. Jedan od najčešće primjenjivanih modela jest Thomas - Fieringov model [1], razvijen upravo za generiranje podataka s izraženim sezonskim varijacijama. Taj model pripada grupi AR(1) modela te zadržava osnovne sezonske značajke povijesnog niza zapaženih podataka srednjih mjesečnih dotoka, ali uglavnom u znatno manjoj mjeri i značajke godišnjih podataka. Ideja tog modela jest da se pri generiranju rabi dvanaest jednadžbi (po jedna za svaki mjesec) koje su uzastopno regresijski povezane.

Opći oblik takve regresijske jednadžbe jest [14, 15]:

$$x_{i+1} = u_{j+1} + b_j (x_i - u_j) + t_i * s_{j+1} (1 - r_j^2)^{0.5} \quad (3)$$

tu su:

$$b_j = r_j * (s_{j+1} / s_j) \quad (4)$$

x_{i+1}, x_i - generirani protoci za $(i+1)$ i i -ti mjesec

u_{j+1}, u_j - srednji protoci $(j+1)$ i j -tog mjeseca

s_{j+1}, s_j - standardna devijacija protoka u $(j+1)$ i j -tom mjesecu

r_j - koeficijent korelacije j -tog i $(j+1)$ mjeseca

t_i - slučajni broj normalne raspodjele ($sr = 0$, varijanca = 1) - određuje se uz pomoć generatora slučajnih brojeva.

Za analizirani slučaj akumulacije Boljunčica ulaznu (povijesnu) seriju podataka predstavljao je 20-godišnji niz srednjih godišnjih protoka (hidr. g. 1973./74. - 1992./93.), koji je bio analiziran prilikom prethodnih analiza u studiji natapanja istarskih slivova [7].

Tablica 1. Osnovni parametri zapažene serije dotoka u akumulaciju Boljunčicu (hidr. god. 1973./74. - 1992./93.)

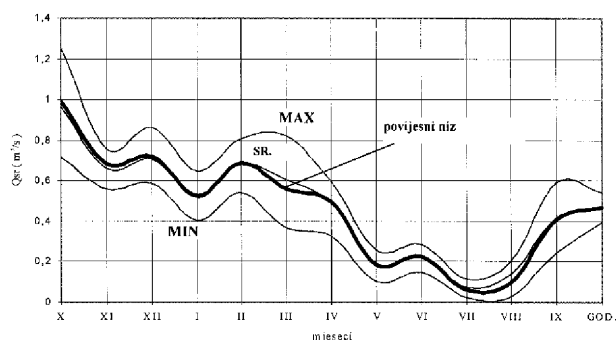
Mj.	u_j [m ³ s ⁻¹]	s_j [m ³ s ⁻¹]	r_j	b_j
10.	0,993	1,084	0,3783	0,1832
11.	0,683	0,525	0,3118	0,2572
12.	0,772	0,433	0,4254	0,4814
1.	0,523	0,490	0,6735	0,6900
2.	0,690	0,502	0,0889	0,0570
3.	0,560	0,322	0,2623	0,1996
4.	0,495	0,245	0,5347	0,2510
5.	0,184	0,115	0,3724	0,6606
6.	0,226	0,204	0,2610	0,0832
7.	0,061	0,065	0,3920	0,8383
8.	0,097	0,139	0,4957	1,8865
9.	0,407	0,529	0,1411	0,2891

Na osnovu tih podataka formirano je dvanaest jednadžbi (za svaki mjesec) koje za dani primjer imaju oblik:

$$\begin{aligned} q_{10} &= 0,993 + 0,1832 (q_9 - 0,407) + 1,0034 * t_i \\ q_{11} &= 0,683 + 0,2572 (q_{10} - 0,993) + 0,4988 * t_i \\ q_{12} &= 0,722 + 0,4814 (q_{11} - 0,683) + 0,3919 * t_i \\ q_1 &= 0,523 + 0,6900 (q_{12} - 0,722) + 0,3622 * t_i \\ q_2 &= 0,690 + 0,0570 (q_1 - 0,523) + 0,5000 * t_i \\ q_3 &= 0,560 + 0,1996 (q_2 - 0,690) + 0,3107 * t_i \\ q_4 &= 0,495 + 0,2510 (q_3 - 0,560) + 0,2070 * t_i \\ q_5 &= 0,184 + 0,6606 (q_4 - 0,495) + 0,1067 * t_i \\ q_6 &= 0,226 + 0,0832 (q_5 - 0,184) + 0,1969 * t_i \\ q_7 &= 0,061 + 0,8383 (q_6 - 0,226) + 0,0598 * t_i \\ q_8 &= 0,097 + 1,8865 (q_7 - 0,061) + 0,1207 * t_i \\ q_9 &= 0,407 + 0,2891 (q_8 - 0,097) + 0,5237 * t_i \end{aligned} \quad (5)$$

Iz prethodno navedenih jednadžbi vidi se da pojedinačne vrijednosti generiranih mjesečnih protoka po analiziranom Thomas - Fieringovu modelu ovise o dvama promjenjivim elementima - generirane vrijednosti srednjega mjesečnog protoka u prethodnom mjesecu i slučajne komponente - broja t_i koji je u danom slučaju generiran uz pomoć EXCEL-ova generatora slučajnih brojeva normalne razdiobe. Istim je tabličnim kalkulatorom proveden i kompletan proračun - generiranje vremenskih serija.

Generirano je ukupno 30 serija dotoka u akumulaciju Boljunčicu u dvadesetogodišnjem razdoblju. Osnovni dobiveni rezultati uspoređeni su sa značajkama osnovne - povijesne serije te prikazani na slikama 1. i 2.

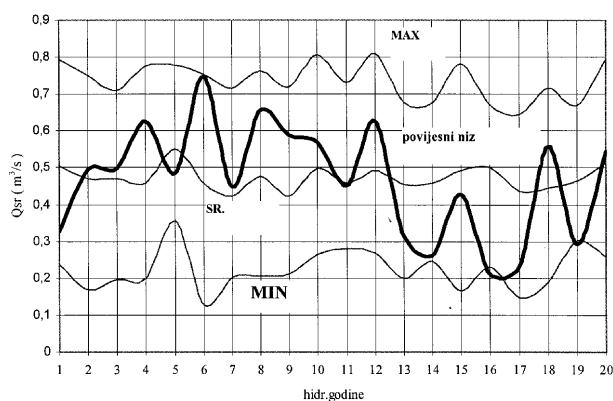


Slika 1. Usporedba srednjih mjesečnih protoka povijesnog niza (1973./74.-1992./93.) i karakterističnih vrijednosti srednjih mjesečnih protoka

Vidi se relativno dobro podudaranje statističkih značajki kod zapažene povijesne vremenske serije i odgovarajućih srednjih vrijednosti generiranih serija. Tako je npr. srednja godišnja vrijednost promatrane serije 0,468 m³s⁻¹, a proračunana srednja god. vrijednost iz svih 30 gene-

riranih vremenskih serija gotovo identična – $0,472 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Nešto se malo više razlikuju standardne devijacije sr. god. protoka - kod povijesne serije ona iznosi $0,152 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a prosjek dobiven iz srednjih prosječnih vrijednosti generiranih serija $0,131 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Ako se standardna devijacija računa iz svih pojedinačnih članova analiziranih 30 serija sa po 20-godišnjim nizovima podataka, dobije se praktički identična vrijednost kao i kod analizirane povijesne serije, tj. vrijednost 0,132. Rezultati bi se bolje podudarali kada bi se generiralo bar 100 serija, pa i više, što se inače preporučuje. To se može vidjeti ako, primjerice usporedimo rezultate za srednje vrijednosti 10 nizova ($0,4836 \text{ m}^3/\text{s}$) i 30 nizova ($0,472 \text{ m}^3/\text{s}$) sa srednjom vrijednosti povijesnog niza ($0,468 \text{ m}^3/\text{s}$).

Daljnje poboljšanje može se postići kad se povijesni niz normalizira i time bolje prilagodi modelu, a što u ovome radu inače nije učinjeno.



Slika 2. Usporedba srednjih godišnjih protoka povijesnog niza (1973./74.-1992./93.) i karakterističnih vrijednosti srednjih godišnjih protoka

Obilježbe podataka o dotocima u akumulaciju Boljunčicu zanimljivo je usporediti i s gledišta hoda nizova njihovih srednjih godišnjih vrijednosti. Zbog toga su na slici 2. srednji godišnji protoci povijesnoga niza uspoređeni s prosječnim, te ekstremnim najmanjim i najvećim srednjim godišnjim protocima iz proračunanih 30 serija generiranih dotoka. Iz prikaza se vidi da se ekstremne srednje mjesečne vrijednosti praktički kreću u granicama vrijednosti zabilježenih tijekom analiziranoga povijesnog niza te da se srednje vrijednosti kreću oko veličine vrijednosti srednjega godišnjeg protoka cjelokupnoga analiziranog razdoblja. Ono što nije isto, i u čemu se očekivano pojedine serije razlikuju, različite su karakteristike kritičnog perioda koji je značajan za analizu akumulacija.

3 Modelske postavke simulacije rada akumulacija modelom RESOP-HVRI

Pri izradi predmetnog rada za simulaciju rada akumulacije uporabljen je matematički model RESOP-HVRI,

prilagođen za rad na PC u informatičkoj službi HV u Rijeci na osnovi modela RESOP-I(p) koji je uporabljen i pri prvim simulacijskim analizama mogućnosti akumulacija u Istri u pogledu osiguranja potrebnih količina vode za navodnjavanje [10].

Modelom se, na razini mjesečnih veličina, simulira promjena stanja u akumulaciji ovisno o zadanom dotoku, potrebama za vodom te gubicima iz akumulacije na isparavanje koji su u funkciji srednje mjesečne površine vode u akumulaciji. Radi se o najjednostavnijem bilančnom modelu pri kojem se volumen vode na kraju mjeseca za koji se obavlja simulacija računa po formuli:

$$V_{i+1} = V_i + D_i - Z_i - (E_i + E_{i+1})/2 \quad (6)$$

gdje je:

V_{i+1} - volumen vode na početku $i+1$ -vog mjeseca (m^3)

V_i - volumen vode na početku i -tog mjeseca (m^3)

D_i - volumen dotoka vode u i -tom mjesecu (m^3)

Z_i - ukupni zahtjevi za vodom u i -tom mjesecu (m^3)

E_i - evaporacija u i -tom mjesecu (m^3)

E_{i+1} - evaporacija u $i+1$ mjesecu (m^3) – računa se iterativnim postupkom u funkciji srednje mjesečne površine vode u akumulaciji

U programu se vodi računa i o dimenzijama akumulacijskog prostora, a ulazni parametri su i najveći i najmanji dozvoljeni volumen vode u akumulaciji. Ako je zbroj volumena prethodnog stanja vode u akumulaciji te razlike dotoka i gubitaka vode iz akumulacije veći od najvećega dozvoljenog volumena vode u akumulaciji, višak se smatra izgubljenom (preljevnom) količinom vode i u sljedećem vremenskom koraku za početno stanje vode u akumulaciji uzima se početnim uvjetom definirani najveći dozvoljeni volumen vode. Model operira s relativnim visinama vode u akumulaciji, pri čemu je kao početna veličina uzeta kota od 76,00 m n. m.

Konačni rezultat provedene simulacije danim modelom RESOP-HVRI jest izdvajanje broja godina tijekom analiziranog razdoblja kod kojih nije bilo moguće osigurati potrebne količine voda za navodnjavanje, te na temelju toga definiranje stupnja zadovoljavanja potreba za vodom tijekom godine (u % u odnosu prema ukupno promatranom razdoblju).

Iako je izgradnjom brane Letaj akumulacija Boljunčica već formirana, te je time definiran i volumen njezina zaplavnog prostora, s obzirom na iskazane gubitke iz njezina zaplava, te eventualna moguća rješenja otješnjenja dijela prostora zaplava koji bi služio za akumuliranje vode, potrebno je provesti simulaciju rada akumulacije za različite volumene vode. S obzirom na veličinu potrebnog rezervnog volumena vode u akumulaciji potrebnog za prihvat vodnog vala, veličinu do sada zatpa-

nog volumena akumulacije istaloženim nanosom i iskazane potrebe za vodom iz akumulacije za navodnjavanje, u analizu simulacijskim modelom RESOP-HVRI uzete su veličine korisnog volumena akumulacije od 1, 1,5, 2, 2,5 i 3 mil. m³.

Analiza je provedena uporabom spomenutih 30 generiranih 20-godišnjih serija podataka srednjih mjesečnih dotoka, a radi usporedbe provedena je i s povijesnom 20-godišnjom serijom dotoka iz razdoblja 1973./74.-1992./93. Kao maksimalno dozvoljeni volumeni vode u akumulaciji uzimale su se prethodno navedene vrijednosti mogućega korisnog volumena vode u akumulaciji, a uvjet eliminacije utjecaja početnog volumena vode u akumulaciji ostvaren je time što su u analizi iskorištene hidrološke godine (listopad - rujan), na početku kojih je u danom slučaju dozvoljeno nulto stanje vode u akumulaciji. Za sve analizirane vremenske serije (povijesne i generirane) volumeni vode u akumulaciji od 2,5 i 3 mil m³ (i naravno veći) bili su dovoljni da se osigura 100% zadovoljenje potreba za vodom, dok je kod manjih volumena vode taj broj varirao ovisno o statističkim značajkama ulazne serije podataka o dotocima u akumulaciju. U tablici 2. je prikaz osnovnih statističkih obilježja analize rezultata provedenih simulacija ulaznih serija podataka o dotocima.

Tablica 2. Prikaz osnovnih statističkih obilježja stupnja zadovoljavanja potreba za vodom (u %)

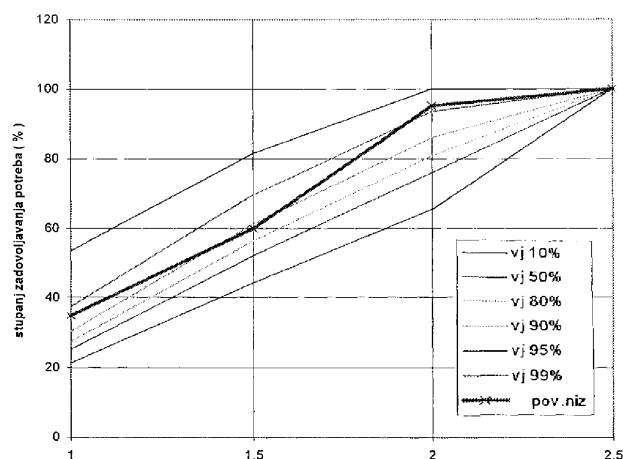
Parametar	Volumeni akumulacija			
	V = 1,0 [mil m ³]	V = 1,5 [mil m ³]	V = 2,0 [mil m ³]	V = 2,5 [mil m ³]
sr.	39,3%	69,2%	91,7%	100 %
st.dev	10,9%	9,9%	7,9%	0
cv	0,28	0,14	0,085	0
min	10%	40%	65%	100%
max	60%	90%	100%	100%

Iz tablice se vidi da su različite ulazne serije podataka o generiranim dotocima rezultirale i različitim vrijednostima stupnja zadovoljavanja potreba za vodom pri određenim najvećim volumenima vode u akumulaciji, tj. da i stupanj zadovoljavanja potreba za vodom, kao i same serije ulaznih podataka o dotocima, ima obilježja statis-

Tablica 3. Prikaz stupnja zadovoljavanja potreba za vodom (u %) za različite veličine akumulacija i vjerojatnosti pojave te zadovoljavanja potreba za vodom za analizirani povijesni niz

Volumen ak. [mil m ³]	Odabrana razdioba	Vjerojatnosti zadovoljenja potreba za vodom						Povijesni niz
		99%	95%	90%	80%	50%	10%	
1	Gumbel	21,5	25,1	27,4	30,4	37,6	53,5	35
1.5	Pearson 3	44,4	52,2	56,2	61	69,6	81,6	60
2	Pearson 3	65,3	76,1	81	86,1	93,5	99,9	95
2.5	-	100	100	100	100	100	100	100

tičke veličine. Na temelju tako određenih vrijednosti stupnja zadovoljavanja potreba za vodom svake serije i za sve analizirane volumene vode u akumulaciji, po pojedinim je volumenima vode provedena i analiza vjerojatnosti stupnja zadovoljavanja potreba za vodom. Analiza je provedena uporabom nekoliko najčešće uporabljenih funkcija razdiobe (Gauss, Galton, Pearson 3, Log Pearson 3 i Gumbel), a odabir najprikladnije funkcije razdiobe izvršen je na osnovi provedenih testova Smirnov - Kolmogorova i Hi-kvadrat testa. Rezultati te analize dani su u tablici 3. i na slici 3.



Slika 3. Grafički prikaz stupnja zadovoljenja potreba za vodom (u %) za različite veličine akumulacija i vjerojatnosti pojave te iskaz stupnja zadovoljavanja potreba za vodom za analizirani povijesni niz

Iz prikaza je uočljivo da postoji veoma dobra međusobna povezanost između veličine volumena akumulacije, vjerojatnosti pojave i stupnja osiguranja potreba za vodom. Tako je na primjer za akumulaciju volumena 1,0 mil m³ 99%-tna vjerojatnost da će zadovoljiti iskazane potrebe za vodom 21,5%, a 50%-tna vjerojatnost 37,6%. Ako se poveća vrijednost volumena na 2,0 mil m³, 99%-tna vjerojatnost zadovoljavanja potreba za vodom jest 65,3%, a 50%-tna 93,5%. Kod volumena akumulacije od 2,5 mil m³, i 50%-tna i 99%-tna vjerojatnost su jednake - u 100% slučajeva akumulacija bi zadovoljavala iskazane potrebe za vodom.

U kontekstu provedenih razmatranja, zanimljivo je usporediti dobivene vrijednosti stupnja zadovoljavanja

potreba za vodom na osnovi provedenih simulacija serije o povijesnim dotocima. Za tu je seriju dobiveno da je, primjerice, kod razmatranog volumena akumulacije od 1,0 mil. m³ stupanj osiguranja zadovoljavanja potreba za vodom 35%, a koji se za volumen akumulacije od 2,0 mil m³ penje na 95%. Iako se ti rezultati, općenito gledajući, uklapaju u ostale vrijednosti u tablici 3., vidi se da na osnovi rezultata analize samo jedne analizirane vremenske serije nije moguće definirati i pripadajuće vjerojatnosti dobivenih vrijednosti stupnja zadovoljavanja - osiguranja potreba za vodom. To je moguće jedino potankom statističkom obradom rezultata više analiziranih - generiranih vremenskih serija koje u sebi sadržavaju statistička obilježja spomenute povijesne vremenske serije.

5 Zaključak

U radu su provedeni analiza i generiranje vremenskih serija podataka o dotocima u akumulaciju uz pomoć Thomas - Fieringova modela te statistička obrada rezultata provedenih simulacija rada akumulacije modelom RESOP-HVRI na osnovi takvih serija, a za različite veličine volumena akumulacije. Takav pristup, iako već odavno poznat u stručnoj literaturi, još se nije udomačio i u našoj praksi, pa se stoga provedeni primjer analiza može smatrati jednim od početnih primjera u tom smislu.

Iako je u tom primjeru uporabljen jednostavni AR(1) sezonski model za generiranje dotoka, kao i o vrlo jednostavan simulacijski model, dobiveni su vrlo zanimljivi i prihvatljivi rezultati. Rezultirajuće generirane serije dotoka u akumulaciju zadržale su osnovna statistička i se-

zonska obilježja analizirane povijesne vremenske serije, a bilo bi i bolje da je generirano više serija. Njihovom je analizom simulacijskim modelom omogućeno da se dobiveni rezultati simulacije - stupanj osiguranja - zadovoljavanja potreba za vodom iz akumulacije za različite njezine veličine, vrednuju i u smislu ocjene vjerojatnosti njihove pojave. Time se stvaraju dodatne potrebne podloge vezane uz odluke o izgradnji akumulacija i mogućnosti realnijeg jamstva osiguranja zadovoljavanja potreba za vodom iz akumulacije.

Poznati su i složeniji pristupi pri odabiru veličine volumena akumulacija, a kod kojih se primjenjuju i sofisticiraniji modeli generiranja i simulacije vremenskih serija i metode upravljanja akumulacijom na osnovi dinamičkog programiranja. No, namjera ovoga rada bila je da se pokaže kako se čak i upotrebom jednostavnih modela, uz uzimanjem u obzir iznesenih principa o statističkom karakteru dotoka u akumulaciju i stupnja osiguranja potreba za vodom, mogu dobiti puno potpunije podloge važne za odabir veličine akumulacije i upravljanje radom akumulacije, negoli se to postiže uporabom samo povijesnih serija o dotocima, a što je dosad bila praksa.

Takav pristup rješavanju problema gospodarenja akumulacijama bit će sve značajniji jer se isporuka vode iz akumulacija u tržišnoj ekonomiji ugovara, a svako odstupanje od ugovorenih količina za određeno vremensko razdoblje se kažnjava. Za ovakav oblik rada akumulacija odlučujuće je odrediti rizik s kojim se ulazi u ugovaranje. Takve se informacije mogu dobiti prikazanim postupkom analize rada akumulacije.

LITERATURA

- [1] Margeta, J.: *Osnove gospodarenja vodama*. Građevinski fakultet. Split. 230 str., 1992.
- [2] Petrićec, M.; Margeta, J.: *Model optimalnog upravljanja hidroenergetskim akumulacijama*, Hrvatske vode 7/26. 1.-14., 1999.
- [3] Tomanić, M.; Simonović, S.: *Usporedna analiza brzih postupaka dimenzioniranja akumulacija*, Vodoprivreda 17/98. 385.-394., 1985.
- [4] Margeta, J.; Fontane D.: *Uvod u sistemsko inženjerstvo u projektiranju i upravljanju volumenima akumulacija*, Fakultet Građevinskih znanosti. Split. 92 str., 1988.
- [5] Simonović, S.: *Ulazni podaci za stohastički model dimenzioniranja višenamjenske akumulacije*, Zbornik radova Jugoslavneskog simpozija o inženjerskoj hidrologiji - knjiga I. Split 9.-12.11.1983.: 34.-45., 1983.
- [6] JVP istarskih slivova: *Hidrološka analiza akumulacije Boljunčica*, Labin. 113 str. Npublicir., 1996.
- [7] Građevinski fakultet Rijeka: *Plan natapanja Čepičkog polja*, 1998.
- [8] Rubinić, J.; Tomašić, M.; Ožanić, N.; Kukuljan, I.: *Hidrologija akumulacije Boljunčica u Istri*, Zbornik radova 2. Hrvatske konferencije o vodama. Dubrovnik 19.-22.05.1999. 597.-604., 1999.
- [9] Rubinić, J.: *Poplava u Istri 1993.godine i rad akumulacija*, Građevinar 47 (1995) 6, 331.-338.
- [10] Institut Mihailo Pupin.: *Analiza mogućnosti akumulacija u Istri u pogledu obezbjeđenja potrebnih količina vode*, 88 str., 1979.
- [11] Hrelja, H.: *Vodoprivredni sistemi*, Svjetlost. Sarajevo. 232 str., 1996.
- [12] Simonović, S.; Marino, M. A.: *Dimenzionisanje višenamenskog akumulacionog bazena - inverzan problem optimalnog upravljanja slučajnih ograničenja*, Vodoprivreda 62: 20.-26., 1983.
- [13] Salas, J. D.; Delleur, J. W.; Yevjevich, V.; Lane, W. L.: *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publications. Colorado. 484 str., 1980.
- [14] Thomas, H. A.; Fiering, M. B.: *Matemtical synthesis of streamflow sequences for the analysis of river basin simulation*, In design of water resources systems, A. Mass et al. pp. 459-493., Havard University Press, Messacussets, USA, 1962.
- [15] Fiering, M. B.; Jankson, B. B.: *Synthetic hydrology*, Monograph No. 1., American Geophysical Union, Washington, D.C., USA, 1971.