

MREŽNI MODEL REGIONALNOG HIDROSISTEMA KRIVAJA U VOJVODINI

Bojan SRĐEVIĆ¹, Zorica SRĐEVIĆ¹, Boško BLAGOJEVIĆ¹, Ratko BAJČETIĆ²

¹Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad

²JVP Vode Vojvodine, Novi Sad

REZIME

Funkcionalna adaptibilnost regionalnih vodoprivrednih sistema u Vojvodini predmet je istraživanja nekoliko završenih i tekućih naučno-istraživačkih projekata. Za ravničarske višenamenske regionalne hidrosisteme Krivaja i Nadela formirani su kompjuterski mrežni simulacioni modeli pomoću kojih su ocenjivani mogući scenariji raspodele voda na prostorno i vremenski distribuirane korisnike u normalnim i hazardnim hidrometeorološkim uslovima. Modelom ACQUANET koji predstavlja verziju poznatog modela MODSIM, simuliran je višegodišnji rad oba hidrosistema za sadašnja i neka buduća stanja razvoja. U radu je dat sažet prikaz istorije razvoja mrežnih simulacionih modela kojima pripada i ACQUANET, opisane su neke bitne karakteristike ovog modela, a za hidrosistem Krivaja prikazani su i odabrani rezultati primene modela. Analize rezultata pokazale su da je odabrani sistemski prilaz ispravan put da se prepoznaju kritične komponente modela kao što su kapaciteti i druge karakteristike konstruktivnih komponenata sistema (npr. akumulacije, kanali i vodozahvati) i nekonstruktivne mere koje regulišu distribuciju voda u sistemu (npr. pravila upravljanja akumulacijama i prioriteti konsumptivnih i nekonsumptivnih vidova korišćenja voda).

Ključne reči: Hidrosistem, mrežni model, SIMYLD, MODSIM, ACQUANET

UVOD

U periodu 2011-2014 u Departmanu za uređenje voda Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu u okviru naučno-istraživačkog projekta 'Mrežno modeliranje i evaluacija funkcionalne adaptibilnosti regionalnih vodoprivrednih sistema u Vojvodini' razvijeni su i implementirani kompjuterski modeli/programski sistemi

za regionalne hidrosisteme Krivaja i Nadela u Vojvodini: ACQUANET/K i ACQUANET/N. Modeli su prilagođeni i testirani za navedene vojvodanske hidrosisteme, a zatim intenzivno korišćeni u sistemskoj analizi dinamičke performanse i adaptibilnosti sistema sa raspoloživim i generisanim podacima u okviru nekoliko stručnih i naučno-istraživačkih studija (npr., [1,2]).

Model ACQUANET je prvi put postavljen pod imenom ModSimLSL na PC platformu početkom devedesetih godina prošlog veka u Sao Paulu u Brazilu (Universidade de Sao Paulo) [6]. Ovaj model je predstavljao redukovanu verziju matičnog modela MODSIM koji je polovinom osamdesetih godina istog veka razvijen na Državnom univerzitetu Kolorada (Colorado State University) u Fort Kolinsu u SAD [5].

Istorijski posmatrano, američki model MODSIM i njegova brazilska verzija ACQUANET rezultat su škole mrežnog modeliranja složenih višenamenskih vodoprivrednih sistema sa površinskim akumulacijama, uspostavljene početkom sedamdesetih godina istog veka u Fondu za razvoj voda Teksasa (TWDB - Texas Water Development Board) u Ostinu, SAD. Neposredni prethodnik ovih modela je SIMYLD-II razvijen u Teksasu 1972. godine u saradnji TWDB i Univerziteta Teksas u Ostinu (University of Texas, Austin) [10]. Model je uspešno primenjen na sistem sa 18 akumulacija u Teksasu i Arkanzasu, između ostalog da bi se utvrdile godišnje garantovane vode iz sistema i iskorišćenje razuđene kanalske mreže koja je uključivala i poznati trans-teksaški kanal dug oko 600 milja.

Istorijska perspektiva korišćenja mrežnih modela sistema sa akumulacijama u Srbiji datira unazad do projekta UNDP pod nazivom 'Upravljanje slivom Morave pomoću računara' u periodu 1974-1980. god. U

tom periodu stručnjaci Instituta Mihajlo Pupin u Beogradu su implementirali na mejnfrejmske računarske platforme IBM-a u Beogradu nekoliko kompjuterizovanih modela iz familije mrežnih modela razvijenih u TWDB [4,7,8,9]. Modeli su prilagođavani za domaće uslove i primenjivani na sistem tada postojećih i planiranih sedam akumulacija u Regionu 12 koji je po tadašnjoj podeli pripadao slivu Zapadne Morave. Modeli su detaljno dokumentovani na srpskom jeziku kao uputstva za korisnike i napisane su studije u kojima su prikazane primene modela na slivu Morave. Modeli su dobili u nazivima ekstenziju (P) da bi se zaštitio autorski doprinos stručnjaka iz Instituta Mihajlo Pupin koji su instalirali, modifikovali i izvršavali na računarima programske verzije ovih modela. Najviše korišćeni modeli (programi) bili su SIMYLD-II(P) i SIM-IV(P). Model AL-IV takođe je prenet iz SAD, ali nije implementiran jer je ocenjeno da u to vreme nema za to opravdanja. Valja pomenuti da su tokom osamdesetih godina prošlog veka u TWDB urađene kompletne verzije nekih od navedenih mrežnih

modela, npr. SIM V i AL V, ali autorima nije poznato da li su i koliko korišćeni u SAD.

Model SIMYLD-II nastavio je svoj 'život' na Univerzitetu države Kolorado na Građevinskom fakultetu. Do danas, model je na ovom univerzitetu usavršavan, menjani su interfejs i algoritmi za lokalne optimizacije (o čemu će biti reči kasnije), model je povezan sa GIS-om a u novije vreme rade se i rutine za tretiranje ne samo kvantiteta već i kvaliteta voda.

Detalji o modelima MODSIM i ACQUANET dostupni su na internetu, uključujući i zemlje u kojima se koriste (npr. SAD, Brazil, Egipat, Iran, Srbija i dr.), a softver je jednostavno preuzeti kao i prateću programsku dokumentaciju.

U tabeli 1 sabrane su informacije o nazivima, poreklu i godinama distribucije mrežnih modela iz TWDB škole modeliranja.

Tabela 1. Istorijska perspektiva razvoja mrežnih modela višenamenskih vodoprivrednih sistema

Model	Godina
SIMYLD II (Simulating Yields) – TWDB, USA	1972
SIMYLD II (P) (Simulating Yields) – IMP, Jugoslavija	1974-1977
AL IV i AL V (Surface Water Resources Allocation Model) – TWDB, USA	1973 i 1982
SIM IV i SIM V (Multireservoir Optimization Model) – TWDB, USA	1972 i 1980
MODSIM (River Basin Simulation Model) – CSU, USA (naslednik SIMYLD II)	1986
ModSimLS (River Basin Simulation Model) – USP, Brazil (redukovana i softverski prerađena verzija modela MODSIM)	1992
ACQUANET (River Basin Simulation Model) – USP, Brazil (softverski usavršena verzija modela ModSimLS)	1996
ACQUANET/K i ACQUANET/N (River Basin Simulation Model) – PF/DUV, Srbija (prilagođene verzije modela ACQUANET za sisteme Krivaja i Nadela u AP Vojvodini)	2011, 2012

Skraćenice u tabeli: TWDB - Texas Water Development Board, Austin, TX, USA; IMP - Institut Mihajlo Pupin, Beograd, Jugoslavija (Srbija); CSU - Colorado State University, Fort Collins, USA; USP - University of Sao Paulo, Sao Paulo, Brasil; PF/DUV - Poljoprivredni fakultet/Departman za uređenje voda.

OPŠTE KARAKTERISTIKE MREŽNIH MODELA VODOPRIVREDNIH SISTEMA

Mrežni modeli sistema akumulacija su konceptijski postavljeni kao planerski jer su predviđeni za višegodišnje simulacije rada sistema sa opcijom prognoze od mesec dana, u smislu da modeli 'vide' hidrometeorološke ulaze i zahteve za vodom samo za mesec dana unapred. Ovo odgovara realnim uslovima

planiranja, a strateško upravljanje vodama u sistemu na modelima se imitira preko pravila upravljanja akumulacijama i prioritarnih shema raspodele voda. Modeli su po karakteru deterministički. Stohastički aspekt se bez problema može tretirati generisanjem vremenskih serija podataka izvan modela i zatim višestrukim simulacijama rada sistema sa takvim sekvencama.

Mrežni koncept implementiran u navedenim modelima (tabela 1) ima sledeće karakteristike:

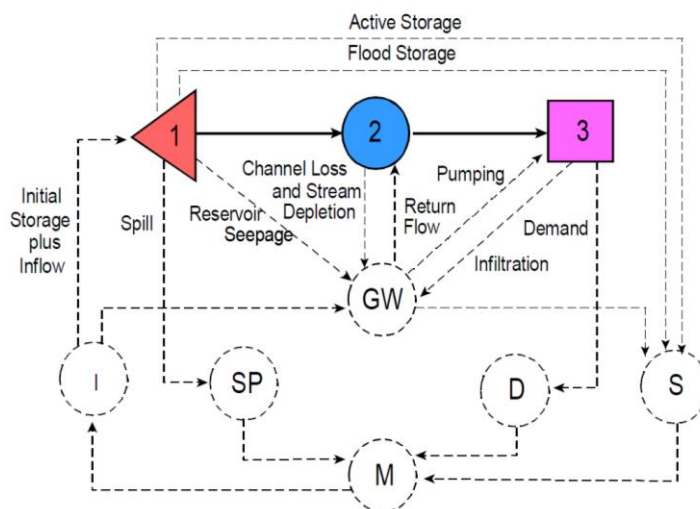
a) Kombinuju se simulacija i optimizacija tako što se na mesečnim intervalima optimalno alokira voda na akumulacije i korisnike po zadatim prioritetima, a bilansiranjem voda za dati mesec, informacija o vodama koje su ostale u akumulacijama na kraju datog meseca prenosi se na početak sledećeg meseca i tretira kao deo ulaznih (raspoloživih) voda, uz prirodne doticaje voda u sistem koji se uvek definišu za dati mesec.

b) Ulazni model sistema se formira tako što korisnik (analitičar) startuje programski sistem ACQUANET i putem interaktivnog interfejsa struktuirano shemu akumulacija, vodotokova (reka i kanala), mesta spajanja vodotokova (protočni čvorovi) i vodozahvata. Za strukturne elemente unose se tipizirani podaci, pored ostalog o kapacitivnim karakteristikama akumulacija i vodotokova, prioritetima koji će se poštovati pri raspodeli voda u celom sistemu, zahtevima za vodom na čvorovima koji reprezentuju vodozahvate, zahtevima za čuvanje vode u akumulacijama u vidu zapreminskih nivoa koje treba dostići na kraju svakog meseca (pravila upravljanja) i serije podataka o inkrementalnim dotocima u sve akumulacije i protočne čvorove.

c) Programski sistem automatski transformiše ulazni model sistema u mrežni model u kome čvorovi (akumulacije, vodozahvati i mesta spajanja vodotokova) više nemaju kapacitete. Automatski se dodaju veštačke grane do i od čvorova ulaznog modela, dodaju se veštački bilansni čvorovi sa skupovima novih veštačkih grana i formira se potpuno zatvorena kapacitivna mreža. Na osnovu prioriteta za raspodelu voda unetih pri formiranju ulaznog modela, za sve grane u novoformiranom mrežnom modelu programski sistem generiše jedinične cene toka i tako se kompletira standardni transprenosni problem linearnog programiranja za dati mesec. Problem se rešava nekim od specijalnih mrežnih algoritama linearnog programiranja (npr. Ford-Falkersonovim algoritmom out-of-kilter, ili u novije vreme metodom sukcesivne relaksacije). Drugim rečima, u svakom mesecu struktura mrežnog modela je ista, a samo se menjaju jedinične cene i kapaciteti na granama; čvorovi mreže ostaju bez kapaciteta. Rešenje transprenosnog problema za dati mesec interpretira se na ulaznom modelu i analitičar zapravo ne vidi prethodno opisano automatsko modeliranje i procese transformacija ulaznih podataka i rezultata optimizacije.

Tehnika mrežnog modeliranja i određivanja rešenja u ACQUANET-u zasniva se na tome da su sve grane u mreži orijentisane i identifikuju se sa tri parametra: max. kapacitet toka, min. kapacitet toka i jedinična cena toka. 'Stvarne' grane u mreži predstavljaju fizički stvarne tokove vode u mreži (reke, kanali i cevovodi), a 'veštačke' grane obezbeđuju mrežni kontinuitet, bilans voda u mreži, kao i sve što je vezano za bilans u svakom pojedinačnom čvoru. Najsloženija situacija je na akumulaciji. Automatski se dodaju veštačke grane koje dati čvor akumulacije transformišu u nekapacitivni čvor. Dodaje se jedna dolazna grana na kojoj se definiše max/min kapacitet kao zbir početne zapremine akumulacije na početku datog meseca i dotoka vode u tom mesecu; jedinična cena se automatski postavlja na nulu jer tom granom može proticati samo navedena količina vode (zbog jednakog max/min kapaciteta). Iz čvora akumulacije izlaze tri veštačke grane koje se takođe automatski dodaju. U prvoj grani minimalni kapacitet toka je minimalna dozvoljena zapremina akumulacije (obično mrtvi prostor, ili bufer zona), a maksimalni kapacitet toka je željena zapremina sa krive pravila upravljanja koja se zadaje kao ulaz u model i predstavlja strategiju vođenja akumulacije kroz vreme u toku simulacije; jedinična cena toka se automatski izračunava prema matrici svih prioriteta u mreži zato što se u alokaciji voda tok kroz ovu granu smatra zadovoljenjem zahteva (da se voda zadrži u akumulaciji). Druga veštačka grana je sa minimalnim ograničenjem jednakim nula, a maksimalno ograničenje je razlika od željene zapremine do maksimalnog kapaciteta akumulacije; jedinična cena na ovoj grani je nula čime se iskazuje princip da ako ima viška vode, akumulaciju treba puniti do vrha. Treća grana je tzv. grana preliivanja putem koje se sav višak vode iz akumulacije preliiva i nestaje iz bilansa u mreži (tzv. spillwater). Minimalni kapacitet ove grane je nula, a maksimalni je proizvoljno veliki; jedinična cena toka kroz ovu granu je ekstremno visoka da bi se iskazao princip da vodu na akumulaciji treba preliivati samo kada je akumulacija puna i nizvodni tokovi ne mogu da prime viškove vode.

Na sličan način se čvorovima zahteva za vodom automatski dodaju izlazne grane sa kapacitetima od nule do visine zahteva na čvoru; jedinične cene toka se određuju na osnovu opšte matrice prioriteta za sve zahteve za vodom u sistemu (konzumni i nekonzumni). Primer koji ilustruje mrežni koncept modeliranja sistema dat je na slici 1.



Slika 1. Shema sistema sa jednom akumulacijom i jednim čvorom zahteva (Slika preuzeta iz originalne programske dokumentacije za model MODSIM)

Na slici 1 je prikazano kako se fizička mreža, koja se sastoji od tri obojena čvora povezana sa dve usmerene grane, pomoću veštačkih čvorova i grana (svi označeni crticama) zatvara da bi se dobila tzv. veštačka mreža na kojoj se optimizira tok vode u datom mesecu. Model na početku datog meseca ima informaciju o stanju ispunjenosti akumulacije (trougao i čvor) i 'vidi' (zato je model deterministički) dotok u akumulaciju u tom mesecu, kao i zahtev za vodom (kvadratni čvor). U fizičkoj mreži trougao 1 je akumulacija, krug 2 je protočna kontrolna tačka, a kvadrat je tačka izlaza iz sistema, tačnije zahtev za vodom nizvodnih korisnika. Ova tri čvora i dve pune usmerene linije koje ih povezuju čine fizički sistem. U terminologiji mrežnog modeliranja to je fizička mreža; dakle, linije predstavljaju realne vodne tokove kao što su reke i/ili kanali i mogu se nazvati granama mreže. Ostali deo mrežnog modela čine veštački čvorovi i grane.

GW je čvor koji označava 'podzemni rezervoar vode', uslovno rečeno akvifer. Kao što se vidi na slici, on je važan element bilansiranja voda i njegova uloga se opisuje kroz uloge ostalih čvorova.

I je čvor raspoložive vode u sistemu, odnosno vode koja je na raspolaganju za alokaciju. Jedna grana vodi ka akumulaciji i protok kroz nju je jednak količini vode u akumulaciji na početku meseca plus dotok u tom mesecu (Initial Storage plus Inflow). Iz čvora I druga grana ide u čvor GW da definiše raspoloživu vodu u podzemnom rezervoaru na početku meseca.

D je čvor zahteva za vodom. Pošto u sistemu postoji samo jedan zahtev, iz čvora 3 do čvora D dolazi samo jedna grana (Demand); da ima više čvorova zahteva, u čvor D bi dolazile grane iz svakog takvog čvora.

S je tzv. čvor zapremine. U njega dolaze tri grane, dve iz akumulacije i jedna iz podzemnog rezervoara. Prva iz akumulacije (Active Storage) omogućava da se akumulaciji dodeli količina vode do traženog nivoa sa krive upravljanja koja se zadaje kao ulaz u model. Druga grana iz akumulacije (Flood Storage) omogućava da se akumulacija napuni do maksimalnog kapaciteta (ako ima viška vode posle zadovoljenja svih ostalih zahteva u sistemu, uključujući i punjenje akumulacije do krive upravljanja). Treća grana služi da pokaže kakvo je stanje ispunjenosti podzemnog rezervoara na kraju meseca.

SP je tzv. prelivni čvor. U njega dolazi jedna grana iz akumulacije (Spill), a uloga joj je da primi sve viškove vode koji ne mogu dalje od akumulacije; to je situacija kada je akumulacija ispunjena do vrha, a protok kroz nizvodnu granu je na maksimumu kapaciteta grane.

Čvor M je bilansni čvor koji potpuno zatvara mrežu.

GW čvor služi za prihvatanje voda koje procuruju iz akumulacije (Reservoir Seepage), gubitaka u vodotoku ispod akumulacije (Channel Loss and Stream Depletion) i infiltracije na mreži (Infiltration), tačnije infiltracije koncentrisane u čvoru 3. Iz čvora izlazi grana kojom se

definiše pumpanje vode iz podzemlja u čvor 3 (Pumping), kao i grana povratnog toka (Return Flow) koji nastaje od perkolacije posle upotrebe voda, npr. na nekom čvoru zahteva navodnjavanja, kada se deo vode vraća u sistem, npr. drenažom.

Matematički mrežni model definisan je za veštačku mrežu u datom mesecu i glasi:

$$\text{Minimizirati: } F = \sum_{ij} C_{ij} X_{ij}, \text{ za svako } i \text{ i } j \quad (1)$$

uz uslov da su svi čvorovi u mreži u ravnoteži:

$$\sum_j X_{ji} - \sum_j X_{ij} = 0, \text{ za svako } i \quad (2)$$

i da su zadovoljena ograničenja na tokove u svim granama mreže

$$L_{ij} \leq X_{ij} \leq U_{ij}, \text{ za svako } i \text{ i } j \quad (3)$$

gde su:

i, j indeksi za čvorove u mreži

X_{ij} količina koja protiče granom $[i, j]$

C_{ij} jedinična cena toka kroz granu $[i, j]$

L_{ij}, U_{ij} minimalni i maksimalni dopušteni tok u grani $[i, j]$.

Jednačine (2) predstavljaju bilans mase u svim čvorovima veštačke (ne fizičke!) mreže. Ograničenja (3) se odnose na protoke u granama mreže, a F u jednačini (1) je kriterijum koji treba minimizirati i predstavlja ukupne troškove prenosa vode kroz mrežu. Jedinične cene toka u veštačkim granama mreže izvode se iz prioritarnih brojeva definisanih u jedinstvenoj prioritarnoj shemi za sve zahteve na mreži; jedinične cene toka u kanalima i rekama iz fizičkog dela mreže jednake su nuli.

Mrežni model (1)-(3) rešava se u svakom mesecu posebno na osnovu parametara mreže (dotoci, zahtevi, pravila upravljanja akumulacijama, ograničenja na protoke, prioritarna shema svih zahteva za vodom itd.). Prva verzija ACQUANET koristila je specijalni mrežni algoritam out-of-kilter, a u sada aktuelnoj verziji koristi se efikasniji algoritam zasnovan na Lagranžovoj relaksaciji. Osnovni mrežni model je programiran na jeziku Fortran, a za interfejs je korišćen Visual Basic.

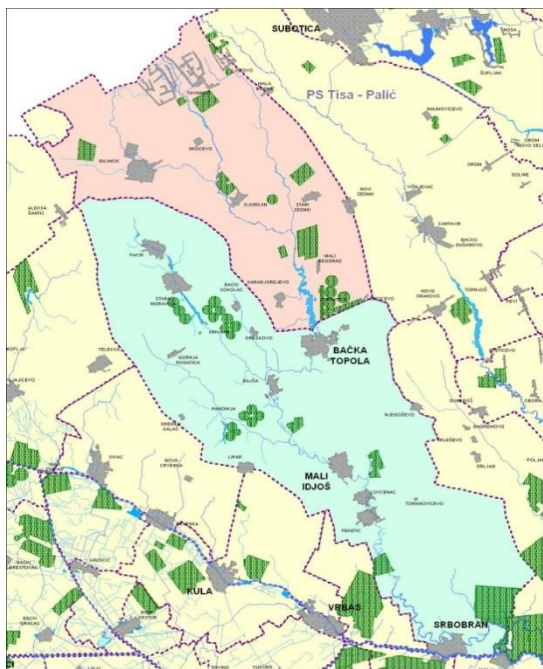
Bitna karakteristika modela ACQUANET je da se upravlja akumulacijama po pravilima (krivama) upravljanja koje determinišu željene količine vode u akumulacijama u svim mesecima kalendarske godine. Ova pravila su fiksirana za ceo period simulacije,

stacionarna su i jedino opravdana jer je model strogo deterministički. Pravila se tretiraju kao zahtevi za vodom, jednako kao i drugi zahtevi u sistemu. Alokacija voda vrši se po jedinstvenoj prioritarnoj shemi. Prvo se fizički sistem zatvori sa veštačkim čvorovima i granama. Zatim se podaci o fizičkim karakteristikama sistema (kapaciteti), zahtevi za vodom, jedinstvena prioritarna shema i pravila upravljanja akumulacijama transformišu u kapacitete grana i jedinične cene toka, svi čvorovi postaju čvorovi bez kapaciteta i ceo problem svodi na matematički program (1)-(3). Primenom specijalnog relaksacionog mrežnog algoritma problem se rešava kao celobrojni zadatak LP (klasični transportni zatvoreni problem). Softver automatski interpretira rezultate na fizičkoj mreži i korisnik dobija kompletan uvid u rezultate, numerički i grafički.

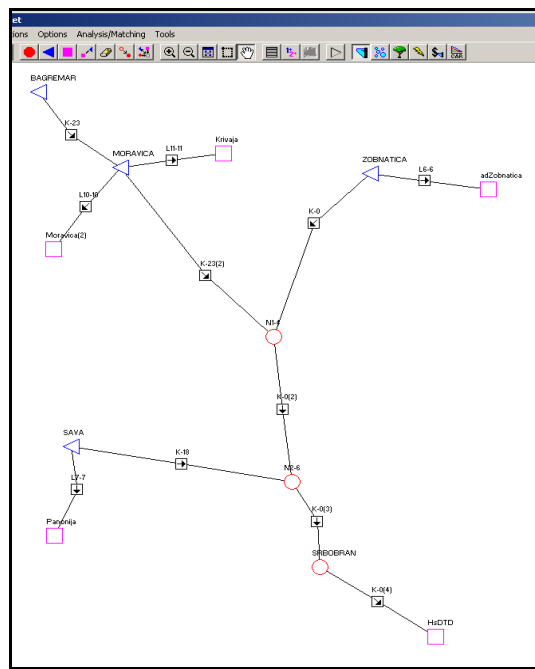
Konačno, važna mogućnost modela je da se omogućava tzv. taktičko upravljanje akumulacijama u toku simulacije rada sistema. Naime, za svaku akumulaciju definišu se tri krive upravljanja za tri hidrološka režima: sušni, prosečni i vlažni. Koja će se kriva koristiti za sve akumulacije u sistemu zavisi od stanja odabranog reprezentativnog skupa akumulacija, odnosno od zbira količina voda u njima i dotoka u te akumulacije u tekućem mesecu. Tako se određuje hidrološko stanje, a isto se zatim proverava u odnosu na granice stanja (LB, UB) da bi se odredilo koja pravila upravljanja primeniti za tekući mesec.

MODEL REGIONALNOG HIDROSISTEMA KRIVAJA

Za slivno područje Krivaje (slika 2) koncipirane su dve varijante mrežnog modela ACQUANET/K: (1) za sadašnje stanje i (2) buduće stanje, kada će se sliv uključiti u regionalni hidrosistem (RHs) Severna Bačka. Na slici 3 prikazan je ulazni model za hidrosistem Krivaja u sadašnjem stanju. Napomenimo da je u modelu za buduće stanje, koji se ovde ne razmatra, uzeta u obzir činjenica da će strateško i operativno funkcionisanje RHs Severna Bačka promeniti buduću hidrološko-hidrauličku sliku sliva Krivaje. Naime, sada delimično regulisanom vodotoku, koji je većim delom kanalan i ima nekoliko akumulacija, dodaće se tri vodozahvatna inputa i time povećati broj i zapremina akumulacionih prostora. Takođe, realan je porast broja korisnika koji treba da participiraju u odlučivanju o vodnim resursima što je u skladu sa standardima EU definisanim u Direktivi o vodama Evrope [3].



Slika 2. Regionalni hidrosistem (RHS) Severna Bačka - Krivaja



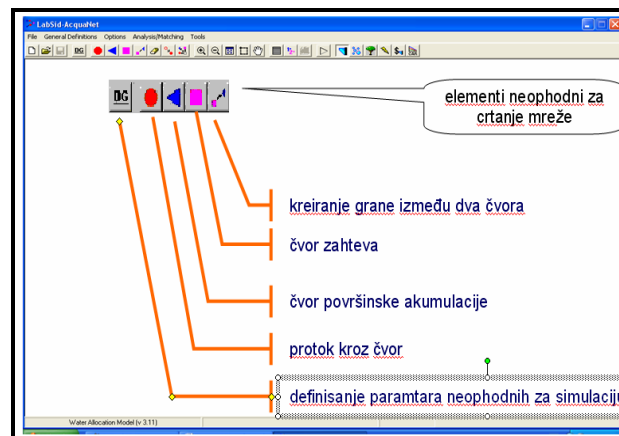
Slika 3. ACQUANET/K za postojeće stanje hidrosistema Krivaja

Dosadašnje analize su pokazale da rad sa modelom ACQUANET/K zahteva pouzdane podatke o zahtevima za vodom koji za sada nisu potpuno određeni, kao i jasne preference korisnika voda u slivu da bi se formulisala pravila upravljanja postojećim i budućim akumulacijama u slivu. Pregled ulaza i izlaza modela koji sledi dat je kao naznaka da rad sa modelom zahteva odgovornu manipulaciju podacima i informacijama jer se radi o višestruko isprepletanim interesima interesnih grupacija.

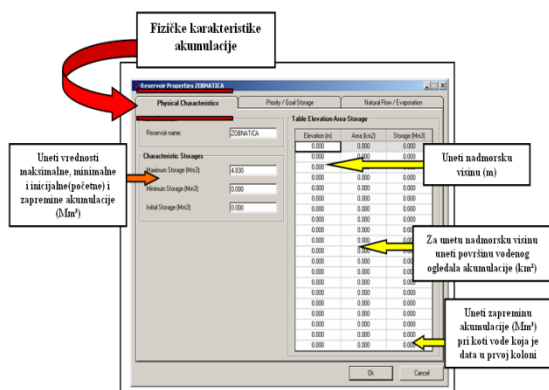
Ulazi modela su: a) konfiguracija sistema; b) hidrološki i meteorološki podaci; c) podaci o akumulacijama (kapaciteti, pravila upravljanja, početne zapremine); d) vodozahvati (količine i/ili godišnje raspodele); e) vodotoci (min/max protoci reka i kanala); i f) prioriteti svih zahteva.

Izlazi modela su: a) zapreminski nivoi akumulacija; b) isporučene vode na vodozahvatima; c) protoci u vodotocima; d) manjkovi vode i e) statistika za ceo period simulacije.

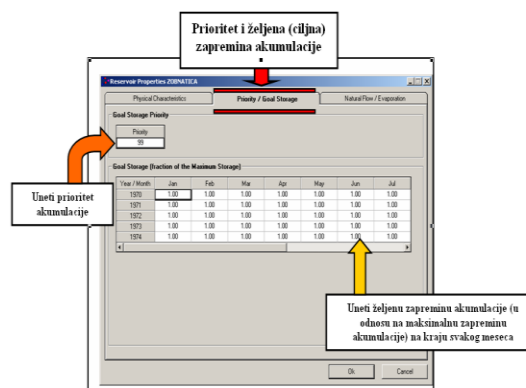
Karakteristični prozori koje softver generiše (sa utisnutim objašnjenjima) prikazani su na slikama 4-6, a jedan od izlaza modela prikazan je na slici 7.



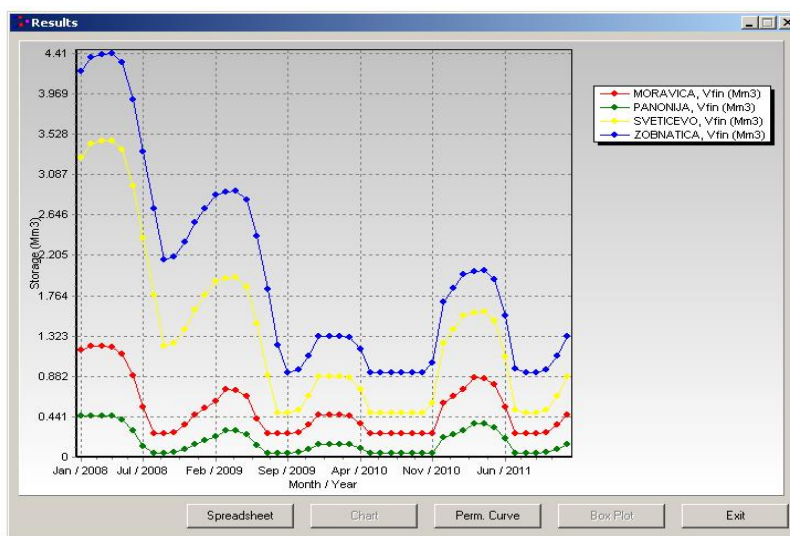
Slika 4. Konfiguracijski elementi modela ACQUANET/K



Slika 5. Unos podataka za akumulacije (konfiguracijske karakteristike)



Slika 6. Unos podataka za akumulacije (prioriteti i pravila upravljanja)



Slika 7. Nivoi akumulacija na izlazu modela ACQUANET/K

NAVODNJAVANJE KAO FOKUS MODELA ACQUANET/K

Prema merodavnim izvorima na državnom nivou, planovi za izgradnju sistema za navodnjavanje u Srbiji trebalo je da budu gotovi do kraja novembra 2012. godine. Autorima rada nije poznato da li su ovi planovi doneti. Prema preliminarnim procenama u prvoj fazi trebalo bi da budu podignuti sistemi za navodnjavanje za oko 250.000 ha na čitavoj teritoriji Srbije. Poznato je da se teritorija opštine Bačka Topola i cela teritorija severne Bačke u Vojvodini nalaze na zemljištima prve i druge klase pogodnosti za navodnjavanje koja imaju potrebu za navodnjavanjem. Poslednjih godina se čitavo ovo područje nalazilo u sušnim i umereno sušnim uslovima što je, zajedno sa drugim činjenicama,

još jednom pokazalo da je za stabilne i visoke prinose i intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju na ovom području neophodno navodnjavanje i da bi ga stoga trebalo uključiti u navedene planove. Model ACQUANET/K je tokom 2014. godine dopunjen novim (generisanim) podacima da bi simulirane mogućnosti obezbeđenja prostorne i vremenske alokacije voda za postojeće i predviđene buduće korisnike omogućile donosiocima odluka da realno ocenjuju potencijal sistema u odnosu na navodnjavanje i poređenje sa planovima koji će biti doneti. Jedan od produkata budućih analiza na modelu biće ustanovljavanje najpogodnijih površina za navodnjavanje iz postojećih akumulacija u različitim hidrološkim uslovima, uključujući i hazardne (velike i

dugotrajne suše). Matrice pripreme ulaznih podataka u ovom smislu već su kreirane i razmatraće se više različitih scenarija alokacije voda u slivu Krivaje.

ZAKLJUČAK

Savremeno strateško upravljanje višenamenskim vodoprivrednim sistemima podrazumeva korišćenje pouzdanih kompjuterskih modela i metoda odlučivanja, sistemski pristup i analizu problema od postavke do interpretacije rešenja i odluka. U radu je sažeto opisan jedan od dva ključna elementa sistemskog pristupa upravljanju hidrosistemom Krivaja u Vojvodini. Postavljen je mrežni simulacioni model višegodišnjeg rada sistema sa ugrađenom lokalnom (mesečnom) optimizacijom raspodele voda u sistemu po prioritetima korisnika. Rezultati modeliranja i brojne simulacije rada sistema potvrdili su ispravnost pristupa dugoročnom planiranju upravljanja sistemom Krivaja i trasirali put za dalje primene mrežnog modela ACQUANET/K. Drugi ključni element je potreba detaljnije prioritizacije korisnika voda u slivu, vrednovanje zahteva za vodom po vremenu i prostoru pomoću višekriterijumskih modela, i konačno, izrada uputstava za strateško i operativno upravljanje sistemom u normalnim i hazardnim hidrometeorološkim uslovima

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Pokrajinskom sekretarijatu za nauku i tehnološki razvoj koji finansira istraživanja na projektu: Mrežno modeliranje i evaluacija funkcionalne adaptibilnosti regionalnih vodoprivrednih sistema u Vojvodini, ciklus 2011-2014.

LITERATURA

- [1] DUV, Unapređenje regionalnog hidrosistema Nadela prema evropskim standardima sa participativnim modelom odlučivanja o višenamenskoj eksploataciji sistema (I-III faza), Studija, Departman za uređenje voda, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2010-2012
- [2] DUV, Izrada simulaciono-optimizacionog modela za alokaciju vode i participativnog modela

odlučivanja o višekorisničkoj eksploataciji vodnih resursa slivnog područja reke Krivaja (I-III faza), Studija, Departman za uređenje voda, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2011-2013

- [3] EU, European Commission – Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) Public Participation in relation to the Water Framework Directive, European Communities, 2003
- [4] IMP, SIMYLD-II(P) – Program za planiranje sistema akumulacija, Institut Mihajlo Pupin, Beograd, 1977
- [5] Labadie, J.W., MODSIM – River Basin Network Model for Water Rights Planning, Documentation and User Manual, Colorado State University, USA, 1986-1995
- [6] LabSid, 'AcquaNet – Modelo integrado para análise de sistemas complexos em recursos hídricos', Universidade de Sao Paulo, Brasil, 1996-2014
<http://www.labsid.com.br/arquivos.php?id=126>
- [7] Srđević, B. (1975): Primena programa HEC-3(P) i SIMYLD-II(P) u simulaciji rada sistema akumulacija u delu sliva Zapadne Morave, Institut Mihajlo Pupin, Beograd
- [8] Srđević, B., Anđelić, M., Feldman, A. (1975): Primena programa HEC-3(P) i SIMYLD-II(P) u simulaciji rada sistema akumulacija u delu sliva Zapadne Morave, Studija, Projekat UNDP Upravljanje slivom Morava pomoću računara, Institut Mihajlo Pupin i Environmental Dynamics Inc. L.A., Beograd
- [9] Srđević, B., Anđelić, M. (1976): Primena programa SIM-IV(P) u simulaciji rada sistema akumulacija, Studija za Republički fond voda Srbije, Institut Mihajlo Pupin, Beograd
- [10] TWDB, SIMYLD-II – River Basin Simulation Model, Texas Water Development Board, Austin, USA, 1972

NETWORK MODEL OF KRIVAJA REGIONAL HYDRO-SYSTEM IN VOJVODINA PROVINCE

by

Bojan SRĐEVIĆ¹, Zorica SRĐEVIĆ¹, Boško BLAGOJEVIĆ¹, Ratko BAJČETIĆ²

¹University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management, Novi Sad

²PWC Vode Vojvodine, Novi Sad

E-mails: {bojans, srdjevicz, blagojevicb}@polj.uns.ac.rs;
rbajcetic@vodevojvodine.com

Summary

Scientific project 'Network modeling and evaluation of functional adaptability of regional hydro-systems in Vojvodina Province, Serbia' and few other recently completed research projects refer to the problem of water allocation scenarios evaluation in the presence of spatially and temporarily distributed water users in the river basins. Network model ACQUANET (a version of MODSIM) is used to simulate multiyear operation of the regional hydro-systems Nadela and Krivaja in Vojvodina Province in Serbia. After short introduction

to the history of network modeling of multipurpose water resources systems, major features of the ACQUANET/K model of Krivaja regional hydro-system are described. Recent analyses related to irrigation in Vojvodina Province are briefly commented as a foreseen focus of the further ACQUANET/K model applications.

Keywords: Hydro-system, network model, SIMYLD, MODSIM, ACQUANET

Redigovano 18.11.2015.