

OPTIMIZACIJA I ESTIMACIJA PRI PLANIRANJU I UPRAVLJANJU U SISTEMU DRINE

Branislav ĐORĐEVIĆ*, Nenad GRUJOVIĆ**, Dejan DIVAC***

* Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

** Mašinski fakultet Univerziteta u Kragujevcu

*** Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd

*Prilikom matematičkog modeliranja treba umešno
provesti brod, model sistema, između Scile - prevelikog
uproščavanja, i Haribde - nepotrebnog osložnjavanja.*

(Misao R.Belmana, filozofija modeliranja sistema)

REZIME

Vodoprivredni sistem u slivu Drine biće jedan od prostorno i funkcionalno najsloženijih sistema u Evropi. Uspešno planiranje sistema i upravljanje gotovim sistemom mora se zasnivati na najsavremenijim kibernetским metodama. Razmatraju se načini formalizacije ciljnih struktura, sa ciljem najvišeg reda koji se definiše kao "*integralno uređenje, korišćenje i zaštita sliva reke Drine*", koji se zatim u vidu granatog stabla dekomponije na sve detaljnije ciljeve svih korisnika prostora. Kao posebno važan zaključak se ističe da se vodoprivredni i hidroenergetski ciljevi moraju tretirati sasvim ravnopravno sa ciljevima svih ostalih korisnika prostora. Nakon dekompozicije sistema prikazuju se osnovni tipovi preslikavanja u pojedinim delovima sistema. Razmatra se proces odlučivanja u svim fazama upravljanja, sa determinisanjem zadataka na nivou donošenja odluka i na tehničkom nivou, na kome se obavlja modeliranje, estimacija i valorizacija / optimizacija upravljanja, kao priprema za proces donošenja odluka. Donosilac odluke mora da bude iterativno uključen u proces odlučivanja, kako bi na bazi novih saznanja o rezultatima optimizacije mogao da zahteva izmenu kriterijuma i preferencija, pri višekriterijumskom vrednovanju varijanti i upravljačkih odluka. Razmatraju se zadaci optimizacije, pri čemu se posebno analiziraju kriterijumi koji su najupotrebljiviji u procesu planiranja i eksploatacije sistema u slivu Drine. Analizira se i uloga spoljnih estimatora, i prikazuje poboljšanje upravljanja kao rezultat dobijanja prognoze realizacije ulaznih vektora u sistemu.

Ključne reči: Matematičko modeliranje, optimizacija, estimacija, vodoprivredni sistem, Drina, donošenje odluka

1. UVOD

Višenamenski, hidroenergetsko-vodoprivredni sistem u slivu Drine, sa osam postojećih postrojenja, od kojih su tri sa velikim akumulacijama sa sezonskim regulisanjem, već sada predstavlja upravljački složen sistem, čiji se optimalni efekti mogu ostvariti samo ukoliko se njime upravlja primenom savremenih metoda operacionih istraživanja. Međutim, treba imati u vidu činjenicu da će se na tom slivu u konačnim fazama njegovog razvoja naći blizu 50 objekata višenamenskog karaktera. Samo na neposrednom toku Drine, od sastavnice Pive i Tare do ušća u Savu, sada se planski sagledava gotovo kontinuirana kaskada od 17 objekata, a složeni kaskadni sistemi se predviđaju i u gornjem delu sliva i na svim većim pritokama, osim na donjem toku reke Tare.

Ciljna struktura za razvoj sistema je vrlo složena, sa ciljem najvišeg reda koji bi se mogao formulirati kao "*integralno uređenje, korišćenje i zaštita sliva reke Drine*". Taj cilj najvišeg reda se u okviru ciljne strukture razlaže na grupe ciljeva: *socijalne* (stvaranje uslova za poboljšanje demografske strukture na slivu, preusmeravanje sadašnjih nepovoljnih migracionih tokova, itd), *privredne* (ubrzaniji privredni razvoj na slivu), itd), *saobraćajne* (poboljšanje saobraćajne infrastrukture na slivnom području, itd), *urbane* (urbanizacija, sanitacija i hidrotehničko uređenje

naselja), *ekološke* (zaštita ekoloških sistema i poboljšanje ekoloških uslova u kritičnim razdobljima, npr. u periodu povodnja i malovođa, itd), *kulturološke* (zaštita i revitalizacija nepokretnih kulturnih dobara na slivu, itd), *hidroenergetske* (što potpunije korišćenje hidroenergetskih potencijala sliva, kao obnovljivog i ekološki najčistijeg vida energije), *vodoprivredne* (uređenje i poboljšanje vodnih režima na slivu, rešenje problema korišćenja i zaštite voda, snabdevanja vodom naselja, navodnjavanje zemljišta najviših bonitetnih klasa, itd). Zapaža se da se u okviru složene ciljne strukture hidroenergetika i vodoprivreda tretiraju samo kao dva ravnopravna korisnika sa svim ostalim korisnicima prostora. Međutim, njihov zadatak je važan i delikatan: da kao dobro organizovani sistemi realizacijom višenamenskih objekata aktiviraju sve ostale razvojne i zaštitne komponente na slivu, i doprinesu realizaciji i ostalih komponenti ciljne strukture.

Po broju objekata, po broju interakcija između njih i sa okruženjem, kao i po složenosti ciljne strukture, sistem na slivu Drine postaće jedan od najznačajnijih i upravljački najsloženijih vodoprivrednih sistema Evrope. To će zahtevati razvoj najsavremenijih kibernetičkih metoda upravljanja, sa odgovarajućim monitoring-informacionim sistemima, koji su neophodni za podršku upravljanju.

Da bi se sagledali principi upravljanja ovako složenim sistemom, neophodna je jasna kibernetička interpretacija sistema, svih njegovih elemenata sa njihovim funkcijama, kao i sistematizacija zadataka upravljanja i neophodne informacione podrške.

2. KIBERNETSKA ŠEMA I RAZLAGANJE SISTEMA

Kibernetička šema vodoprivrednog sistema (VS) data je na slici 1, sa funkcionalnim razlaganjem sistema na pojedine elemente, čije se funkcije jasno razgraničavaju, sa opštim relacijama preslikavanja koja se odigravaju u pojedinim delovima sistema.

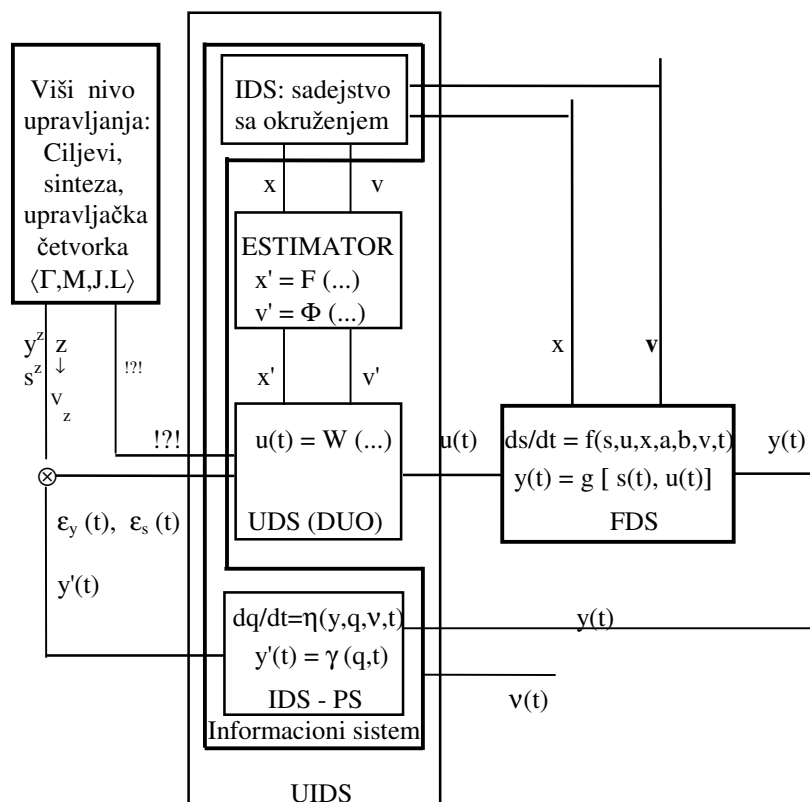
Bazno polazište za upravljanje sistemom, u vidu ciljnih zahteva, zadaje se na višem upravljačkom nivou (levi blok na sl.1). Zadaje se upravljačka četvorka $\langle \Gamma, M, J, L \rangle$, koju čini ciljna struktura (Γ), kriterijumi za vrednovanje upravljanja (J), ograničenja po stanju i upravljanju (L), a vrlo često se definišu i osnovni zahtevi vezani za matematički model (M). Iz tih elemenata proističu

zahtevi (z) postavljeni sistemu, koji se, po pravilu, svode na definisanje strukture V_z kojom se iskazuje kakvi se izlazi (y^z) i stanja (s^z) zahtevaju od sistema (isporuke vode, energije / snage), na kojim mestima, sa kojim kvalitetom [5,6]. Ti zahtevi se upućuju prema upravljačkom delu sistema (vid. sl.1).

Shodno osnovnom kibernetičkom polazištu sistem se razlaže na fizički deo sistema (FDS), i informaciono-upravljački deo sistema (UIDS). Na fizički deo sistema (akumulacije, hidroelektrane, razna vodoprivredna postrojenja, itd) deluju vektor ulaza (x), koga u ovom slučaju čine svi hidrološki ulazi, kao i slučajni vektor poremećaja (v) koji deluju na VS (razmatraju se samo oni poremećaji koji moraju da budu obuhvaćeni algoritmom upravljanja). U fizičkom delu odigravaju se preslikavanja koja se definišu: opštom dinamičkom jednačinom promene stanja $ds/dt = f(s,u,x,a,b,v,t)$, početnim uslovom $s(t_0)=s_0$, i jednačinom izlaznog preslikavanja $y(t) = [s(t),u(t)]$. Ovde su, od novih oznaka: s - stanje sistema, u - upravljanje, y - izlaz iz sistema, a - parametri fizičkog dela sistema, b - parametri upravljačkog dela sistema, t - vreme. Kao rezultat iniciranog upravljanja $u(t)$ i odgovarajućih transformacija, iz FDS se realizuje izlaz $y(t)$, koji se povratnom spregom vraća prema UIDS na upoređivanje, radi poboljšavanja odluke u narednom upravljačkom koraku.

Upravljačko-informacioni deo sistema (UIDS) kod kibernetizovanih VS sastoji se iz dva dela. Prvi čine dva elementa: upravljački deo sistema, ili blok Donošenja upravljačkih odluka ($UDS \equiv DUO$) i estimator sistema (EST). Estimator je blok u kome se vrši estimacija vektora ulaza (x) i slučajnog vektora (v). Zavisno od zadatka koji se rešava estimacija podrazumeva prognozu realizacija ulaza u narednim vremenskim intervalima, i/ili generisanje sintetičkih serija, o čemu će kasnije biti više reči. Estimacijom dobijene veličine x' i v dostavljaju se bloku DUO, da ih ima na raspoloženju prilikom donošenja upravljačke odluke $u(t)$. Ta odluka se na najopštijem nivou dobija kao funkcija $u(t) = W(u_{t-\tau}, x', v', \epsilon_y, \epsilon_s, t)$, gde su: $u_{t-\tau}$ - upravljačke odluke u prethodnih τ upravljačkih koraka, ϵ_y i ϵ_s - odstupanja izlazne veličine (y) i stanja (s) u odnosu na zahtevane veličine (y^z) i (s^z).

Informacioni sistem (IDS), u okviru UIDS (uokviren debljom linijom na sl.1), čine dva elementa: (1) informacioni sistem kojim se uspostavlja povratna sprega sistema (IDS-PS), (2) informacioni sistem koji



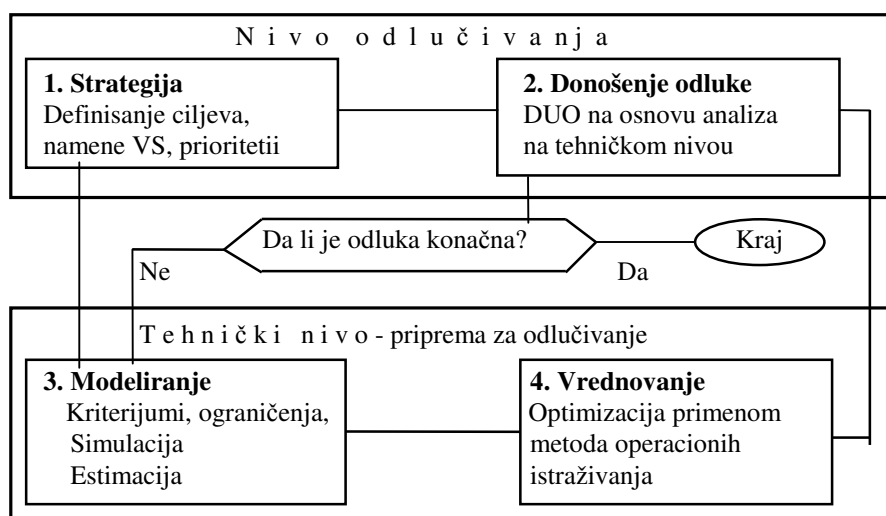
Slika 1. Osnovna kibernetička šema vodoprivrednog sistema

prati sadejstvo sa okolinom, pre svega, koji sakuplja neophodne informacije o ulazima (x) i poremećajima (v). Ta dva elementa IDS obezbeđuju punu osmotrivost sistema i omogućavaju funkcionisanje povratnih sprega i blagovremeno obezbeđivanja svih neophodnih ulaznih podataka iz okruženja za rešavanje zadataka upravljanja. Na IDS deluje vektor poremećaja v . U IDS-PS, tačnije, u njegovom monitoring delu, prate se promene stanja neke veličine (q) koju možemo meriti (npr. električni otpor neke sonde, nivo, itd), te se na bazi toga i jednačine izlaznog preslikavanja iz merno-informacionog sistema $y'(t) = \gamma(q, t)$ dobija izmerna izlazna veličina $y'(t)$. Ta izmerna izlazna veličina, kao i izmerna relevantna stanja u VS (s'), upoređuju se u elementu \otimes sa zahtevanim veličinama y^z i s^z , na osnovu čega se dobijaju razlike ϵ_y i ϵ_s , koje se dostavljaju bloku DUO, kako bi u narednom upravljačkom koraku poboljšao upravljanje, u smislu realizacije zahtevanih izlaza i stanja sistema. Treba zapaziti i element dodatne povratne sprege koja je sasvim smišljeno ovde označena sa (!?!) preko koje blok DUO obaveštava (tačnije: upozorava) viši upravljački nivo, ukoliko ne može da ostvari zahtevane ciljeve, ako su isti postavljeni preambiciozno, ili ako su definisani strogi kriterijumi i

ograničenja, koji onemogućavaju ispunjenje ciljeva. Ta sprega (!?!) omogućava upravljačkom organu na višem nivou da izvrši promene u upravljačkoj četvorci $\langle \Gamma, M, J, L \rangle$ (ublaži ograničenja i kriterijume za vrednovanje rešenja, itd), kako bi se moglo da iznađe ostvarljivo upravljačko rešenje. Pošto se radi o različitim ingerencijama u procesu odlučivanja, bitno je jasno razgraničiti proces odlučivanja u svim fazama planiranja VS i operativnog upravljanja.

3. PROCES ODLUČIVANJA TOKOM PLANIRANJA

Zadaci planiranja i upravljanja složenim VS kakav je već sada sistem u slivu Drine odvijaju se na dva nivoa kompetentnosti (sl. 2): (I) nivo odlučivanja, na kome se nalaze Donosioci odluka, (II) tehnički nivo, na kome se obavljaju sve pripreme za odlučivanje: modeliranje sistema, estimacija, vrednovanje i optimizacija. To razgraničavanje kompetencija je uvek jako važno, ali je posebno bitno u slučaju sliva Drine, kod koga će zbog međunarodnog karaktera sliva nivo Donosilaca odluka imati još veću težinu, zbog još složenijih ciljnih struktura no što bi bio slučaj da je sliv na teritoriji samo jednog državnog entiteta.



Slika 2: Tehnički nivo i nivo odlučivanja pri upravljanju VS

Donosilac odluke (engl. *Decision maker*) je, po pravilu, telo / institucija u čiju kompetenciju spada donošenje izvršne odluke koja se varijanta, odnosno rešenje usvaja za realizaciju iz skupa opcija koje su dobijene optimizacionim postupkom. Mnogi planeri ne shvataju tu veoma jasnu činjenicu, koja ne zavisi od političkog sistema. Može se menjati samo organizaciono-pravni okvir donošenja odluke, ali donosilac odluke (DO) uvek ostaje i dalje sa svojim izvršnim kompetencijama, a planer sa svojim obavezama da izvednuje sve varijante i jasno ih prezentira za donošenje odluke. Ukoliko odluku donose složena tela (što će, po svemu sudeći, biti slučaj sa slivom Drine, imajući u vidu njen međunarodni karakter) proces "planiranje - odlučivanje" je metodološki isti, ali će biti složeniji, zbog usklađivanja često konfliktnih zahteva pojedinih entiteta. Planer mora donosiocu odluke da jasno ukaže i na sve bitne političke implikacije pojedinih odluka. Od one oportunističke "*do nothing*" ("ne raditi ništa"), koja samo odlaže rešenje i uvećava socijalne, ekonomske i političke traume sa kojima će se društvo suočiti kada se vodoprivredni problemi nagomilaju, pa do jasnog obrazlaganja performansi integralnog sistema, koji jedini donose ekonomski prosperitet, ali i socijalnu, razvojno-ekonomsku i političku stabilnost svim subjektima na slivu.

Na sl.2 se zapaža da se na nivou odlučivanja definišu strateški zahtevi prema sistemu. Oni se prosleđuju tehničkom nivou, na kome se obavljaju dva izuzetno važna posla: obavlja se modeliranje VS, simulacija upravljanja uz primenu estimacije (blok 3, sl.2), a zatim

se vrši vrednovanje svih upravljačkih opcija, primenom odgovarajućih metoda operacionih istraživanja (blok 4). Nakon toga se rezultati vrednovanja svih opcija upućuju donosiocu odluka (blok 2) na odlučivanje. On može da donese konačnu odluku (o konfiguraciji i parametrima sistema), ali može da izvrši i odgovarajuće izmene u četvorci $\langle \Gamma, M, J, L \rangle$ - da zatraži dopunu / promenu ciljnih struktura, kriterijuma, ograničenja, posebno onih koja su vezana za sadejstvo sa okruženjem. Zbog toga su u šemi i prikazane veze koje omogućavaju taj iterativni, postupni proces odlučivanja.

4. ZADACI OPTIMIZACIJE UPRAVLJANJA

Razlikuju se dve velike klase zadataka optimizacije sistema u slivu Drine: (1) optimalna sinteza sistema - izbor optimalne konfiguracije i parametara sistema; (2) optimalna analiza sistema - optimalno upravljanje sistemom, u uslovima višenamenskog korišćenja voda, sa često konfliktnim zahtevima pojedinih korisnika sistema.

U oba slučaja radi se o višekriterijumskoj optimizaciji. Kriterijumi (J) za vrednovanje upravljanja formiraju se u prostoru kriterijumske šestorke

$$\langle C, Q, P, T, N, E \rangle \Rightarrow J \quad (1)$$

gde su: C - kriterijumi koji proističu iz pokazatelja ekonomske efektivnosti sistema, Q - kriterijumi kvantitativne efektivnosti (promene vodnih režima, itd), P - kriterijumi na bazi probablističke efektivnosti (obezbeđenosti, pouzdanosti, itd), T - kriterijumi na bazi vremenskih pokazatelja, N - kriterijumi na bazi ocena

nemerljivih svojstava VS, koja se daju ocenama, E - kriterijumi na bazi ocena interakcija VS sa drugim korisnicima prostora i okruženjem. Iz pomenute šestorke može se formirati veliki broj kriterijuma.

Postoji čitava lepeza ekonomskih kriterijuma koja se mogu koristiti u optimalnoj sintezi sistema Drine. Pored uobičajenih kriterijuma koji se uvek koriste za potrebe ocene ekonomske i finansijske izvodljivosti od strane međunarodnih finansijskih institucija: $B/C \Rightarrow \max$ (*Benefit / Cost Ratio*), $(B-C) \Rightarrow \max$ (*Net Present Value - NPV*), maksimizacija interne stope vraćanja kapitala: $IRR \Rightarrow \max$ (*Internal Rate of Return*), može se koristiti i čitava lepeza drugih ekonomskih kriterijuma, kojima se definiše strateško opredeljenje planera. To su kriterijumi tipa odnosa "fizički efekti VS / utrošeni resursi", kao što su: $D / I \Rightarrow \max$ (D - dobit, I - investicije, te se taj kriterijum svodi na maksimizacija profitne stope), $D/Z \Rightarrow \max$ (Z - zemljište, te je kriterijum dobit po površini zemljišta koje se navodnjava, štiti, i sl.), $C/W \Rightarrow \min$ (W- voda, što se svodi na minimizaciju jedinične cene vode), $C/E = c_e \Rightarrow \min$ (minimizacija cene energije), itd. (detaljnije [5,6]).

U oblasti kriterijuma kvantitativne efektivnosti biće obavezni kriterijumi koji proističu iz vrednovanja poboljšanja vodnih režima - povećanja malih voda i smanjenja vrhova povodnja, delovanjem retenzionih zapremina akumulacija. Primer je kriterijum tipa $Q_{m,mes}^{95\%} \Rightarrow \max$, koji prednost daje onoj varijanti koja omogućava najveće povećanje minimalne mesečne vode obezbeđenosti 95% (na nekim merodavnim profilima). Za akumulacije koje služe za snabdevanje vodom naselja, industrije i navodnjavanja obavezni su kriterijumi probablističke efektivnosti, tipa $P \Rightarrow \max$, kojim se daje prednost varijanti kojom se postiže naveća obezbeđenost (P) isporuke (bez redukcije) vode korisnicima. Za opcije izbora najpovoljnije konfiguracija složenih sistema snabdevanja vodom biće obavezan i kriterijum $R \Rightarrow \max$, gde je R - pouzdanost sistema, kao skup hidrauličke i mehaničke pouzdanosti. Kriterijumi vremenske efektivnosti se svode na kriterijume minimizacije vremena realizacije pojedinih objekata sistema (vrlo aktuelan kriterijum, posebno u slučaju kada zaostajanje u rezvoju pojedinih elemenata sistema počinje da ugrožava bezbednost i vitalne potrebe stanovništva).

Kriterijumi sadejstva vodoprivrednog sistema sa okruženjem se najčešće definišu relativnim ocenama,

kojima se ocenjuje uticaj pojedinih varijantnih rešenja na komponente okruženja, posebno na urbano, ekološko i kulturološko okruženje. Ti kriterijumi su postali obavezni pri vrednovanju i izboru konfiguracija i parametara sistema (izbor položaja akumulacija, definisanje njihovih kota uspora, odlučivanje između opcija pribranskih i derivacionih varijanti objekata, itd.).

U slučaju da se razne varijante ocenjuju preko minimizacije troškova ($C \Rightarrow \min$), obavezno je uvođenje kriterijumskog ograničenja: $EF_1 \succ EF_1^Z$ ($i=1,n$), koje se svodi na zahtev da neka i-ta efektivnost sistema bude bolja (oznaka: \succ) od neke zahtevane efektivnosti. Zanimarivanje te činjenice, naročito u slučaju vrednovanja varijanti sa različitim izvorištima, već je dovela do ozbiljnih promašaja, posebno u slučaju kada su akumulacije, kao izvorišta najviše obezbeđenosti ($P \geq 97\%$) upoređivana sa izvorištima podzemnih voda malih obezbeđenosti (često ne većim od $P \approx 70\%$). Varijantni sistemi različitih obezbeđenosti ne predstavljaju opcije koje se mogu i smeju upoređivati, jer se visoke obezbeđenosti, naročito one preko 90% ostvaruje uz izuzetno velike troškove. To ilustruje primer: povećanje obezbeđenosti isporuke vode iz akumulacije sa 90% na 97% (obezbeđenost od 97% je uobičajena za velike regionalne sisteme) zahteva, u slučaju relativne potrošnje $\alpha = 0,7$, i za koeficijent varijacije $C_v=0,5$, za koeficijent autokorelacije $r=0,3$ povećanje zapremine akumulacije za oko 2,2 puta! (Đorđević, 1990).

Imajući u vidu da je sliv Drine hidroenergetski najznačajniji sliv ne samo u SCG, već i u ovom delu Evrope, kod podsistema sa dominantnom hidroenergetskom namenom pored već navedenih opštih kriterijuma koriste se i neki specifični, za upoređivanje varijanti i određivanje redosleda građenja. Jedan od najprihvatljivijih je kriterijum definisan preko *relativne energetske vrednosti hidroelektrana*. Taj kriterijum je poseban slučaj kriterijuma $B/C \rightarrow \max$, samo što se do njega dolazi na bazi energetske - ekonomske analize u nešto specifičnijem vidu. Energetska vrednost (EV) hidroelektrane definiše se preko ušteda u EES do kojih dolazi nakon uvođenja u pogon razmatrane HE ili hidroenergetskog sistema [7]. U opštem slučaju je EV:

$$EV = p \cdot b_t \cdot N_{hkr} + k'_b (E_t + E_h) - k_b \cdot E_t + k'_r \cdot E'_r - k_r \cdot E_r \quad (2)$$

gde su: p - faktor rezerve ($p > 1 \approx 1,18$), b_t - specifični stalni troškovi po jedinici snage na pragu (din/kW·god); N_{hkr} - iskoristiva snaga HE u kritičnom periodu; k'_b i k_b

- prosečni promenljivi troškovi u termoelektranama (din/kWh) pre i posle uvođenja razmatrane HE; E_t - potrebna proizvodnja u termoelektranama (kWh/god); E_h - proizvodnja razmatrane HE; k_r i k'_r - prosečne specifične štete (din/kWh-god) zbog redukcije potrošnje pre i posle uvođenja razmatrane HE; E_r i E'_r - obim redukcija pre i posle uvođenja u pogon razmatrane HE [7]. Ukoliko su godišnji troškovi razmatrane hidroelektrane C, tada je relativna energetska vrednost ev:

$$ev = EV / C \quad (3)$$

Tada se kriterijum za optimizaciju hidroenergetskih sistema može da napiše u obliku:

$$ev \Rightarrow \max \quad (4)$$

Energetske efekte (uštede u EES) treba računati vodeći računa o uticaju razmatrane HE na nizvodna i uzvodna postrojenja. Zato se postupak valorizacije mora sprovesti iterativno, kako bi se došlo do prioritnog redosleda izgradnje. Najpre se odrede koeficijenti (ev) svih razmatranih HE u sistemu, polazeći od pretpostavke da se svaka od njih prva realizuje u EES već postojeće konfiguracije. Nakon toga se sve razmatrane HE rangiraju prema veličini (kriterijum: $ev \Rightarrow \max$), te se primenom i drugih kriterijuma izdvoji najbolja HE, ona koju bi trebalo prvu realizovati. Tada se ulazi u drugi krug proračuna: ponovo se izračunavaju relativne vrednosti (ev), polazeći od pretpostavke da je u postojećem sistemu već realizovana najbolja HE iz prvog kruga, ponovo se prepostavlja da se preostale HE mogu realizovati kao prva naredna; ponovo se rangiraju, dopunskim kriterijumima se odabira druga po redosledu HE, i tako sve dok se ne rangiraju sve HE koje imaju vrednost $ev > 1$.

Analize koje su u rađene za razne konfiguracije objekata u slivu Dine pokazuju da najveće koeficijente vrednosti ima sistem HE Buk Bijela - HE Foča, koje su uvek moraju razmatrati zajedno, jer HE Foča služi kao kompenzacioni basen uzvodne visoko instalisene HE, kojoj otklanja sva pogonska ograničenja, podižući joj znatno energetska vrednost. Pri varijantnim analizama ev tog sistema je uvek $ev > 2$, što taj sistem svrstava u ubedljivo najisplativija i energetska najznačajnija postrojenja u Evropi. Veoma visoku relativnu energetska vrednost ima i HE Komarnica, oko $ev \approx 1,8$, koliko približno iznosi i ev za HE Koštanicu, u varijanti sa prevodnjem voda. Na srednjem toku Drine najbolji je objekat HE Rogačica, ali taj projekat mora da pretrpi izvesne izmene, kako bi se prilagodio urbanom okruženju grada Bajina Bašta. Međutim, poemenuta

vrednovanja su isključivo po pokazateljima energetske efektivnosti. Kada se u ciljne funkcije uvedu i sve vodoprivredne dobiti, ukupne optimalne ekonomske performanse svih objekata, posebno akumulacionih, značajno će se povećati.

Višekriterijumska optimizacija (VKO) sistema u slivu Drine treba da razmotri sve opcije koje su sada u razmatranju. Razmatrajući optimizacioni postupak (OP) primenom VKO na višem nivou generalizacije definiše se preslikavanjem

$$OP: \langle \Gamma, M, J, L \rangle \Rightarrow x^* \quad (5)$$

što znači da se optimizacionim postupkom upravljačka četvorka $\langle \Gamma, M, J, L \rangle$ preslikava u neko "najbolje" rešenje / odluku x^* (ovde je x - rešenje koje se traži i ne treba ga poistovećivati sa ulazom, koji je ranije tako označavan).

Imajući u vidu činjenicu da se "najbolje" rešenje kod VKO traži u uslovima neodređenosti, potrebno je uvesti u optimizacioni postupak još i neku strukturu preferencije (P). Njome se bliže definišu i formalizuju želje i namere DO u pogledu stepena značajnosti koji se daje pojedinim kriterijumima i kriterijumskim ograničenjima. Uvođenjem strukture preferencije (P) kriterijum (J) se u uslovima VKO pretvara u dvojk

$$J = \langle F(x), P \rangle ; \text{ gde je: } F(x) = [f_1(x), \dots; f_n(x)] \quad (6)$$

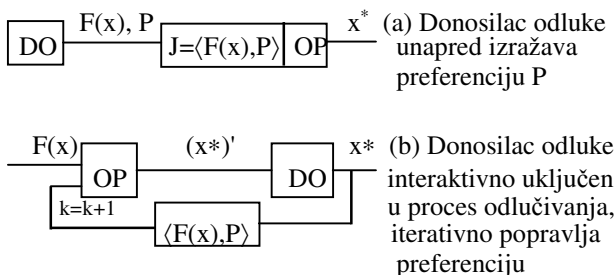
Ovde je $F(x)$ - vektorska kriterijumska funkcija, sastavljena od kriterijuma f_i koji su usvojeni za vrednovanje rešenja u procesu optimizacije.

Uvođenjem strukture preferencije i formalizacijom kriterijumske dvojke (6) postaje jasnija uloga DO. Pošto i DO preferencije uvodi u uslovima neodređenosti, bitno je kako će on biti uključen u optimizacioni proces. Postoje dva načina uključivanja donosioca odluke u OP.

(1) Uključivanje na početku OP, što znači da DO svoje strateške zahteve iskazuje na samom početku procesa planiranja, i kasnije ih ne menja, tako da je rešenje dobijeno OP jednoznačno, te se ili usvaja ili odbacuje.

(2) DO se u OP uključuje tako da je u stanju da interaktivno učestvuje u optimizacionom postupku, uvodeći i korigujući preferencije (ali i kriterijume) nakon dobijanja rezultata prvih optimizacionih iteracija. Pošto dobije rezultat optimizacije DO ima mogućnost da koriguje preferenciju, a po potrebi i kriterijumske funkcije (da eventualno uvede još koju), nakon čega

ulazi u novi iteracioni ciklus optimizacije. To je najefikasniji način uključivanja DO u proces izbora rešenja. Upravo takav se postupak jedino može primenjivati pri optimizaciji sistema u slivu Drine, jer se radi o vrlo složenom OP, kod koga se kriterijumi, kriterijumska ograničenja i preferencije ne mogu tretirati kao apsolutna kategorija, te se moraju iterativno korigovati tokom optimizacije.



Slika 3: Apriorno i interaktivno izražavanje preferencije donosioca odluke

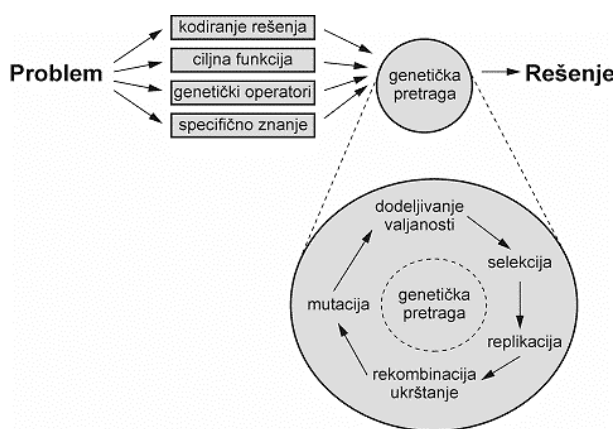
Metode optimizacije. Za optimizaciju upravljanja koriste se praktično sve metode operacionih istraživanja. Za rešavanje upravljačkih zadataka u slivu Drine univerzalno je upotrebljiva metoda dinamičkog programiranja, kojom se mogu rešavati svi zadaci - i linearni i nelinearni. Ona se može koristiti i u zadacima analize, i u zadacima sinteze sistema. Posebno je pogodna za rešavanje raznih klasa optimizacije sistema akumulacija. Može se koristiti i u slučaju najsloženijih šema korišćenja vode iz akumulacija, sa brojnim direktnim i indirektnim korisnicima (korisnici koji zahvataju vode negde nizvodno, a za koje je neophodno ispuštati namenski vodu iz akumulacija u čeonom delu sliva). Za taj upravljački složen slučaj kod nas su razvijene posebne metode koje su stekle međunarodnu afirmaciju [11,5]. Za optimizaciju granatih sistema (mreže sistema pod pritiskom i sa slobodnim tečenjem) veoma se uspešno može koristiti više metoda. Jedna od njih, koja se pokazala uspešnom u praksi, je primena celobrojnog 0-1 programiranja, koja omogućava uspešnu optimizaciju najpovoljnije konfiguracije objekata i veza u sistemu. Druga, novija, koja sada preuzima primat pri optimizaciji mrežnih sistema jeste metoda genetskih evolucionih algoritama (GA) [14,15,2]. Iamjući u vudu njen sve veći značaj za optimizaciju složenih VS ona će ovde biti nešto podrobnije prikazana.

Metoda genetskih evolucionih algoritama. Obzirom na nelinearnost pojava koje se matematički modeliraju i

simuliraju, i ciljno optimizaciju mreža velikih regionalnih sistema u slivu Drine, a posebno velikih sistema za navodnjavanje, nije moguće kvalitetno iskoristiti osnovne linearne optimizacione algoritme.

Ovakvi problemi se mogu svrstati u grupu nelinearnih prekidnih problema koji ne samo da mogu imati više oblasti u kojima su rešenja dozvoljena, kao i veliki broj lokalnih minimuma u svakoj od datih oblasti, već je i informacija o gradijentu funkcije generalno neupotrebljiva za određivanje pravca u kome funkcija raste (ili opada). Ovo dovodi do teškoća u pokušaju da se iz trenutnog stanja pronađe put ka boljem rešenju koje nastaju usled nedostatka informacija.

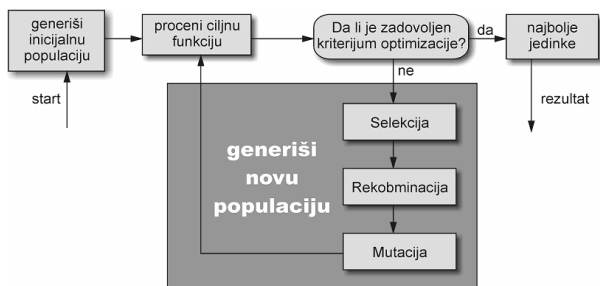
Praktično u svim, sem u najjednostavnijim problemima, pa tako i u datim optimizacionim problemima, neizvodljivo je simuliranje svih mogućih rešenja i samim tim sigurno određivanje najpovoljnije konfiguracije. Iz tog razloga se kod realnih problema primenjuju stohastičke metode koje omogućavaju da se polazeći od hipotetičkog sistema, na bazi definisanih kriterijuma, oponašanjem zakonitosti iz teorije evolucije (slika 4.) dođe do najpovoljnije konfiguracije i parametara mrežnog sistema.



Slika 4. Rešavanje problema uz pomoć evolucionih algoritama.

Pored navedenih metoda u praksi su vrlo primenljive i hibridne metode koje na najbolji način kombinuju prednosti klasičnih i metaheurističkih genetičkih, ili evolucionih algoritama. Evolucionih algoritama. Evolucionih algoritama sadrže modele prirodnih procesa kao što su selekcija, rekombinacija, mutacija, migracija, lokalitet i susednost. Na slici 5 je dat šematski prikaz jednostavnog genetskog algoritma. Genetski algoritmi operišu nad populacijom

jedinki umesto nad jednim rešenjem (kao kod konvencionalnih metoda), pa se tako dobija paralelna pretraga rešenja.



Slika 5. Struktura evolucionog algoritma sa jednom populacijom

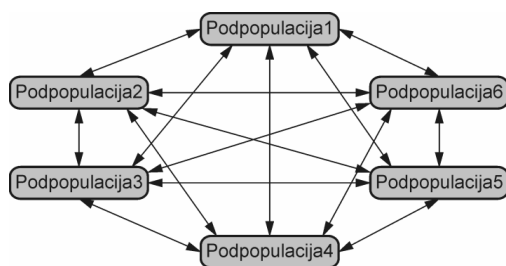
Evolucionni algoritmi se značajno razlikuju od tradicionalnih metoda pretrage i optimizacije. Najvažnije razlike su:

- evolucionni algoritmi paralelno pretražuju rešenja u više tačaka, a ne samo u pojedinačnim tačkama;
- za evolucionne algoritme nisu potrebne informacije o izvodima ili kakvo drugo analitičko proračunavanje,

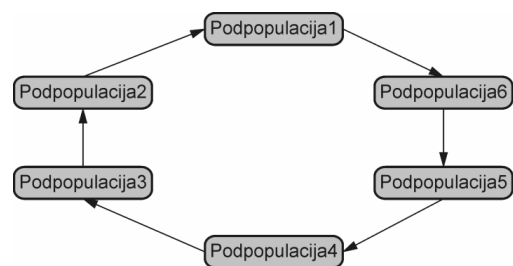
već na smer pretrage utiče samo ciljna funkcija i nivoi valjanosti;

- evolucionni algoritmi mogu dati više mogućih rešenja za dati problem, a korisnik može napraviti izbor na kraju. Ovo je važno kod problema koji nisu potpuno određeni pa mogu imati veći broj rešenja (višeparameterska optimizacija i sl.).

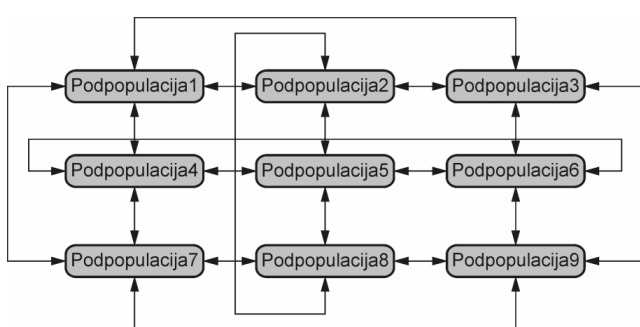
S obzirom na intenzitet realnih numeričkih proračuna i čestu potrebu za brzim donošenjem odluka, postojeći optimizacioni moduli se mogu proširiti i podrškom za rad u distribuiranom okruženju. Evolucionni algoritmi sa više autonomnih podpopulacija su još približniji realnoj evoluciji. Ovaj način podrazumeva podelu populacije na više podpopulacija. One evoluiraju svaka za sebe određen broj generacija (vreme izolacije). Nakon tog vremena određen broj jedinki se razmeni između podpopulacija (migracija). Broj razmenjenih jedinki (razmera migracije), način selekcije jedinki za migraciju i šema migracije (slika 6.) određuju obim diverziteta u podpopulacijama i razmenu informacija između podpopulacija.



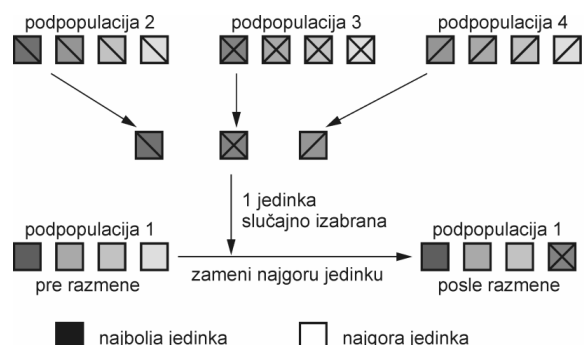
a) potpuna topologija - slobodna migracija



b) prstenasta topologija



c) susedna topologija (2D susedstvo)



d) migracija između podpopulacija

Slika 6. Paralelna obrada evolucionih algoritama: migracioni modeli (a,b,c) i šema migracije (d).

Primena paralelne obrade algoritma migracionog modela je, pored ubrzanja u proračunu, u realnim uslovima pokazala i manji broj procena ciljne funkcije u odnosu na algoritam sa jednom populacijom.

Metoda optimizacije mreža velikih regionalnih sistema je proširena i analizom pouzdanosti takvih sistema [2,3], što ima izvanredno važan uticaj na proces planiranja, jer omogućava da se apriorno, tokom planiranja konfiguracije sistema, ispituju njegove hidrauličke i mehaničke pouzdanosti, tako da se na kraju tog procesa, za donosioca odluke, pripremaju samo ona rešenja koja su i u tom pogledu prešla prag prihvatljive pouzdanosti.

Za višekriterijumsku optimizaciju i rangiranje varijantnih rešenja u upotrebi je više metoda. Pored metoda višeatributnog utiliteta, kao i metoda tipa ELECTRE i PROMETHEE, koje su korišćene u svetu, kod nas je razvijena metoda VIKOR (VIšekriterijumsko KOMpromisno Rangiranje [11]). Ta metoda je kod nas postala opšte prihvaćena, jer omogućava rešavanje svih klasa zadataka izbora najpovoljnijih varijanti čak i najstrožijih sistema (korišćena je pri izradi Vodoprivredne osnove Srbije). Ta metoda omogućava da se DO iterativno uključi u proces odlučivanja, menjajući preferencije kriterijuma, kao i tzv. koeficijente strategija, kojima se balansira između, sa jedne strane, najvećih grupnih koristi sistema, ili, sa druge strane, strategije koja bi se mogla nazvati "konseznusom strategijom", jer po cenu manje grupne koristi ne dozvoljava veliko nezadovoljenje nekog od kriterijuma. Metoda VIKOR je veoma povoljna za izbor optimalnih konfiguracija i parametara sistema u slivu Drine.

Ispitivanje osetljivosti optimalnog rešenja. Pošto su neki do ključnih parametara koji ulaze u ekonomsku analizu veličine koje se ne mogu apriori tačno odrediti, potrebno je ispitati osetljivost rešenja na promenu tih parametara. Moguća su dva pristupa.

1. Variranje ključnih ulaznih veličina. Za ključne ulazne veličine (kamatna stopa, prodajna cena energije, jedinično koštanje ključnih predračunskih pozicija, itd), sagledaju se opsezi mogućih promena, te se zatim radi posebna analiza za razne kombinacije vrednosti iz tih opsega. To omogućava da se naprave odgovarajuće funkcionalne zavisnosti ključnih ekonomskih performansi planirane hidroelektrane, čime se sužava prostor za odlučivanje.

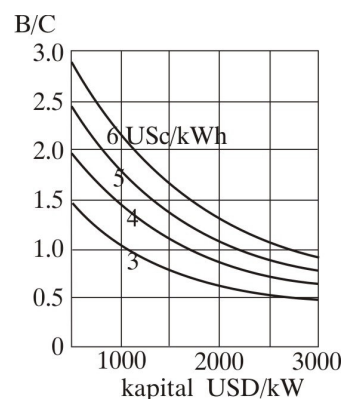
Za donošenje odluke posebno je bitna osetljivost rešenja (tačnije, osetljivost pokazatelja - ekonomskih indikatora B/C, (B-C) i IRR) - na promenu slededećih veličina: investiciona vrednost K, eskontna ili kamatna stopa (r), godišnji troškovi upravljanja, održavanja i remonta (UOR), inflaciona stopa povećanja UOR troškova (e), prosečna planirana proizvodnja energije (E), cena energije (c_e). Te veličine se ne mogu tačno predvideti, jer se uvek nalaze u domenu nekih neizvesnosti. Zato se odluka ne može doneti na osnovu jednoznačnih vrednosti tih veličina, već se moraju tražiti funkcionalne zavisnosti tipa:

$$B/C = f_1(K, r, UOR, e, E, c_e)$$

$$(B-C) = f_2(K, r, UOR, e, E, c_e) \quad (7)$$

$$IRR = f_3(K, r, UOR, e, E, c_e)$$

Svaka od tih ulaznih veličina ima neki opseg mogućih promena, te je potrebno uraditi varijantne analize za razne kombinacije ulaznih parametara, kako bi se sagledala osetljivost ekonomskih indikatora na promenu ulaznih veličina. Time se za donosioca odluke priprema jedan od ključnih pokazatelja: osetljivost rešenja na promenu ključnih ekonomskih parametara.



Slika 7: Analiza osetljivosti rešenja

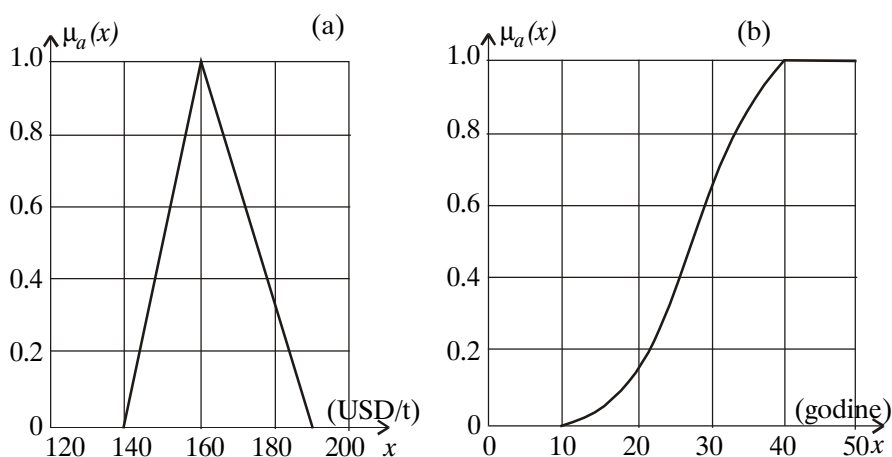
Na sl. 4. prikazane je jedna takva zavisnost, koja odnos aktueliziranih vrednosti dobiti B i troškova C dovodi u vezu sa specifičnim investicijama (USD/kW) i prodajnom cenom energije (USc/kWh). Jasno se uočava zona $B/C > 1$, u kojoj se nalaze vrednosti za koje je rešenje ekonomski prihvatljivo. Obavezno se ispituje i osetljivost rešenja na veličinu kamatne stope, jer je i to kategorija koju nije moguće apriori precizno utvrditi. Takođe se ispituje osetljivost rešenja i na druge parametre: period otplate duga, cena sa kojom se može prodati energije sistemu, itd.

2. Fazi pristup za analizu neodređenosti. Drugi pristup pri rešavanju neizvesnosti ulaznih parametara je noviji i polazi sa pozicija analize tzv. rasplnutih ("fazi" - fuzzy) skupova (*Fuzzy set theory*, koju je fundirao Zadeh, L.A.). Po tom pristupu (Đorđević, 1993) neki ulazni parametar A, čija se veličina ne može tačno definisati, prikazuje preko fazi veličina, čija funkcija pripadnosti μ_A može imati bilo koju vrednost između 0 i 1, uključiv i te dve vrednosti, te se takva veličina analitički može definisati "rasplinuto" u obliku

$$\forall x \in A, \mu_A(x) \in [0,1] \quad (8)$$

Fazi skupovi se bitno razlikuju od binarnih skupova. Kod binarnih skupova neki element x ili rezolutno

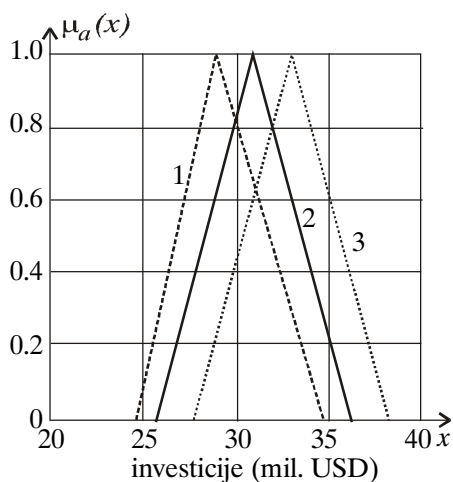
pripada skupu A (funkcija pripadnosti $\mu_A=1$) ili ne pripada tom skupu ($\mu_A=0$). U slučaju fazi skupova neka veličina x može pripadati skupu A sa nekom funkcijom pripadnosti μ_A , koja zauzima vrednosti između [0,1], uključiv i te dve krajnje vrednosti. Na taj način se, primenom fazi pristupa, mogu definisati i neodređene veličine, kao što su "cena energije OKO 4 USc/kWh", "kamatna stopa OKO 8%", itd. Međutim, mogu se definisati i semantički nejasni pojmovi, kao što je "star generator", "mala voda", itd. Na slici 5. prikazani su, primenom fazi skupova, pojmovi "cena oko 160 USD/t" (a) i "star generator" (b).



Slika 8: Prikaz primenom fazi skupova: "Cena OKO 160 USD/t" (a) i "Star generator" (b)

Postoji egzaktno definisana algebra fazi veličina, kao i kriterijumi za njihovo upoređivanje i rangiranje. To omogućava da se u ekonomsku analizu uđe sa ulaznim veličinama u vidu fazi skupova (najčešće u vidu trougaonih ili trapezastih fazi brojeva), te da se kao rezultat dobiju veličine u vidu fazi skupova, koje pružaju veći prostor za donošenje valjane odluke. Na sl. 6. prikazana je ekonomski deo analize izbora tipa brane. Razmatrane su tri različite dispozicije brane i za svaku od njih su cene ulaznih resursa (cena ugrađenog betona, cena ugrađenog kamena, cena goriva, itd) definisane preko fazi veličina, u smislu kako je to prikazano na sl.5a ("cena oko ..."). Na isti način je preko fazi brojeva prikazana i visina kamate. Kao rezultat dobijene su investicije za svaki od tri razmatrana tipa brane u vidu fazi brojeva. Iz te analize nedvosmisleno sledi da bez obzira na sve neizvesnosti oko ulaznih veličina nesumnjivu prednost ima varijanta 1. Ukoliko bi se

funkcija pripadnosti μ_A fazi brojeva, kojima se iskazuju investicije za pojedine tipove brana, sekle i ukrštale, postoji nešto složeniji, ali sasvim egzaktna način njihovog kvantifikovanja, upoređivanja i rangiranja, na osnovu kojih se i u uslovima neizvesnosti može egzaktno zaključiti koja je varijanta brane bolja (detaljnije: [6]). To je posebno bitno ako su različiti stepeni neodređenosti cena za ključne ulazne resurse, koji su različiti kod pojedinih tipova brana. Npr. kod nasute brane posebno bitan resurs je nafta za pogon mašina, kod betonske brane - cement, kod brane sa ustavama - čelik, itd. Očito je da su različiti opsezi neizvesnosti tih veličina, pogotovu ako se radi o resursima iz uvoza.



Slika 9: Varijante brane čije su investicije upoređivane preko fazi skupova

5. ESTIMACIJA U PROCESU UPRAVLJANJA

Na kibernetskoj šemi VS (sl.1) prikazani su mesto i uloga estimatora u dekomponovanom sistemu. Njegov zadatak je da na bazi prikupljenih informacija o ulaznim resursima u FDS (vektor x) i vektora svih slučajnih uticaja koji deluju na FDS (v) vrši estimaciju (simulaciju ili predviđanje) tih vektora, dostavljajući bloku donošenja upravljačkih odluka estimacione vrednosti x' i v' kako bi ih on mogao da upotrebi u svom upravljačkom algoritmu za donošenje upravljačkih odluka u narednom koraku upravljanja.

Estimator je matematički model izvan modela sistema (zbog toga se najčešće naziva "spoljni estimator"). Razlozi za izvlačenje estimacionih modela van modela sistema su očiti: (a) ne opterećuje se model VS glomaznim estimacionim modelima, čime se olakšava numerički postupak simulacije i/ili optimizacije; (b) ne mešaju se različite neizvesnosti u jednom modelu, već se sa dve grupe modela različitih stepena neizvesnosti lakše može da prati kako se tokom prikupljanja informacija prevazilaze određene sistemske neodređenosti u modelima sistema i modelima estimatora; (c) preglednije se prati kvalitet prikupljenih informacija za modele VS i estimacione modele, te se može lakše uočiti koje su to informacije čiji kvalitet treba poboljšati delovanjem u informacionom sistemu.

Zavisno od vrste upravljačkih zadataka karakter estimacije može da bude dvojak:

♦ U zadacima **analize sistema**, kada se određuje optimalno operativno upravljanje, spoljni estimator ima karakter **prognostičkih modela**, kojima se prognozira realizacija vektora ulaza x i slučajnih poremećaja v u narednim intervalima vremena.

♦ U zadacima **sinteze sistema**, pri planiranju konfiguracije i parametara VS, spoljni estimator ima karakter **modela za simulaciju sintetičkih serija** ulaza x i slučajnog vektora v . Smisao te estimacije je višestruk:

- Pri dimenzionisanju akumulacija i drugih objekata VS, primenom sintetičkih serija se dobijaju i nepovoljnije realizacije hidroloških ulaza od onih koji su se javili u osmotrenim nizovima (nepovoljnije kombinacije uzastopnog nagomilavanja sušnih godina, nepovoljnije realizacije padavina u vegetacionom delu godine pri dimenzionisanju melioracionih sistema, duži i nepovoljniji periodi malovođa tokom godine, itd).

- Dobijaju se sintetički hidrogrami određenih verovatnoća javljanja, koji se koriste za dimenzionisanje sigurnosno najosetljivijih delova sistema (evakuacionih organa na branama, retenzionih prostora, odbrambenih nasipa, itd).

- Modeliraju se svi oni slučajni procesi koji su od značaja za planiranje sistema (tendencije u razvoju konzuma u uslovima sistemskih neodređenosti, mogućnost pojave slučajnih događaja u VS koji su od značaja za njegovo funkcionisanje, itd).

Znači, estimacione veličine $x'(t)$ i $v'(t)$ kao realizacije slučajnih procesa $x(t)$ i $v(t)$ mogu biti: (a) prognozirane serije u više narednih upravljačkih koraka - u zadacima optimalne analize sistema; (b) generisane slučajne serije koje imaju iste stohastičke osobine kao polazne serije, ali i sa nepovoljnijim realizacijama - u slučaju rešavanja zadatka optimalne sinteze vodoprivrednih sistema.

Za estimaciju vektora ulaza x koriste se metode Parametarske i Stohastičke hidrologije, dok se estimacija slučajnog vektora v zasniva na metodama Teorije slučajnih procesa. Generalna osobenost estimacionih modela je da uzimaju u obzir predistoriju modeliranog procesa, za τ vremenskih koraka unazad, kao i neke slučajne vektore R u sistemskoj okolini, koji imaju uticaja na razvoj procesa. Zbog toga se na najvišem nivou generalizacije estimacioni modeli mogu prikazati u obliku

$$x'(t) = F(x_{t-\tau}, s, R, t) \quad (9)$$

$$v'(t) = \Phi(v_{t-\tau}, R, t) \quad (10)$$

Sa F i Φ su označeni operatori estimacionih modela ulaza i slučajnog vektora v ; R i R_1 su neki slučajni operatori kojim se u modele uvode svi slučajni uticaji koji se obuhvataju modelima, dok je $s_a(t-\tau)$ označena predistorija procesa, preko njegovih realizacija u τ vremenskih koraka unazad. Zbog prirode hidroloških fenomena (što nije predmet ovog razmatranja), radi se o procesima sa koeficijentima autokorelacije koji su pozitivni u bliskim vremenskim koracima. Procesi x i v koji su bitni za upravljanje praktično nikada nisu nezavisni stohastički nekorelisani procesi, koji se uslovno nazivaju i "belim šumom" ("white noise"). Procesi koje generiše spoljni estimator su ergodični, autokorelisani i međusobno korelisani stohastički procesi (neki u kategoriji tzv. "crvenog šuma"). Čvrstina autokorelacije procesa koji definiše vektor ulaza x je, naravno, najveća pri modeliranju realizacija tog vektora u kraćim vremenskim intervalima (upravo zato prognoza dnevnih protoka može da bude dosta tačna). Međutim, autokorelacione funkcije imaju, po pravilu, pozitivne koeficijente r_1 i r_2 čak i u slučaju analize godišnjih protoka, što rečito pokazuje da postoji fenomen uzastopnog nagomilavanja sušnih i vodnih godina. To je od izuzetne važnosti za dimenzionisanje akumulacionih basena sa velikim relativnim zapreminama β , jer se moraju sagledati i nepovoljnije realizacije malovodnih perioda, i na globalnijem, višegodišnjem nivou.

Zbog pomenutih osobina, koje ukazuju na autokorelaciju "inercijalnost" hidroloških serija, koja je posebno izražena na dnevnom, dekadnom i mesečnom nivou, ali je još uvek dosta visoka i na godišnjem nivou, estimacioni modeli se generalno zasnivaju na primeni markovskih procesa, odnosno markovskih lanaca. Zbog toga se u estimacionim modelima najčešće nalaze dve strukture: prva, deterministička, koja modelira razvoj procesa po principima složenog markovskog lanca, i druga, koja generiše slučajnu komponentu procesa.

U toj klasi su estimacioni modeli iz klase ARMA i ARIMA, kod kojih je relevantna autoregresija (otuda AR u njihovom nazivu). Oni se javljaju u raznim kombinacijama, zavisno od toga da li se radi o stacionarnim ili nestacionarnim vremenskim serijama.

Klasa zadatka upravljanja prevashodno zavisi od stepena neodređenosti ulaza i kvaliteta estimacije. Priroda generiše ulaz (x) i ima prednost "vučenja prvog poteza", dok VS bira takvo upravljanje (u) kojim se trudi da svoje ciljeve realizuje u svim nepovoljnim okolnostima u koje ga dovodi Priroda svojim uticajima. Da bi povećao svoju efikasnost, VS se trudi da

estimacijom (prognozom, generisanjem ulaza i slučajnih poremećaja) što bolje predvidi ili sagleda moguće poteze Prirode. Nivo neizvesnosti ulaznog vektora x uslovljava tip upravljačkog zadatka [6].

(1) DETERMINISTIČKI PRISTUP upravljanju zasniva se na korišćenju ulaznih serija koje su se desile u prošlosti. U optimizacioni model ulazni vektor se uvodi tako kao da se svaka buduća realizacija ulaza zna apriori, što je ključna slabost tog pristupa, jer se temelji na nelogičnom optimizmu da će se svaki potez Prirode unapred znati. Posledice takvog pristupa su nedovoljno dimenzionisani objekti, što je posebno opasno kod akumulacija koje služe za razne vidove snabdevanja vodom.

Za slučaj analize VS, ako se kriterijum definiše kao minimizacija troškova (T), kriterijumska funkcija (F) za upravljanje od m - tog do krajnjeg M - tog koraka pretvara se u relaciju

$$F_1 = \min_{[u^{m,M}]} T(u, s, x, m) \quad (11)$$

gde je $u^{m,M}$ - upravljanje od m -tog do M -tog (krajnjeg) koraka, T - ukupni troškovi, zajedno sa štetama zbog neisporučene vode, plavljenja, itd. Tim pristupom se rešavaju zadaci optimalne sinteze VS za neki zadati ulaz, što je primenljivo u brojnim klasama problema dimenzionisanja sistema. Međutim, pošto se u stvarnosti slučajni vektor ulaza ne poznaje, već samo prognozira, često su realnije druge klase zadataka.

(2) MINIMAX PRILAZ se koristi kada je apriorna informacija o slučajnom vektoru sasvim oskudna. Tačnije, kada je poznata samo oblast mogućih realizacija hidrološkog ulaza x . U tom slučaju UDS je hendikepiran činjenicom da ne poznaje "igru" Prirode, niti može da predvidi njen prvi potez. U takvim okolnostima upravljački zadatak se svodi na minimizaciju zadatog kriterijuma, za najnepovoljniji hidrološki ulaz. To je minmax zadatak, koji se primenjuje onda kada se upravljačke odluke moraju doneti uz pesimističku ocenu da Priroda može da generiše najnepovoljnije, maksimalne poremećaje - ulaze u VS. Tada se kriterijumska funkcija u opštem slučaju svodi na oblik

$$F_2 = \min_{[u^{m,M}]} \max_{[x^{m,M}]} T(u, s, x, m) \quad (12)$$

Takav tip zadatka se može javiti samo kod informaciono i estimaciono zaista loše organizovanih sistema.

(3) MAXIMIN PRILAZ se javlja u slučaju kada je poznat skup dopustivih realizacija X_m ($m=1, \dots, M$), pri čemu se još zna da će u trenutku izbora upravljanja biti poznata i realizacija x_m . To je igra u kojoj Priroda generiše ulaz / poremećaj, ali VS je prognozom obezbedio prednost vučenja prvog upravljačkog poteza, čime poboljšava svoju upravljačku efikasnost. To se pretvara u maximin zadatak, sa kriterijumom koji se svodi na problem

$$F_3 = \max_{[x^{m,M}]} \min_{[u^{m,M}]} T(u, s, x, m) \quad (13)$$

(4) STOHAŠTIČKI ZADATAK se javlja onda kada se pored skupa X_m dopustivih ulaza poznaje i funkcija raspodele $f(x_m, m)$ ulaznog vektora. U tom slučaju se zadatak pretvara klasičan zadatak optimizacije stohastičkog sistema. U razmatranom zadatku to se svodi na problem minimizacije matematičkog očekivanja (operator E) vrednosti kriterijumske funkcije, za upravljanje od m-tog koraka do kraja (do intervala M):

$$F_4 = \min_{[u^{m,M}]} E_{[x^{m,M}]} T(u, s, x, m) \quad (14)$$

Ta klasa zadataka je česta i rešava se primenom metoda stohastičke optimizacije.

(5) ZADATAK SA ESTIMACIJOM ULAZA je posebno bitan u zadacima optimalne analize sistema. Suština tog upravljačkog prilaza je u tome da se tokom čitavog procesa upravljanja u spoljnom estimatoru obavlja estimacija svih merodavnih ulaznih veličina. UDS ne generiše sam podatke o hidrološkom ulazu, ali zna da će dobiti blagovremeno od spoljnog estimatora veličine x'_m za određen broj budućih intervala vremena.

Sagledajmo informaciono-upravljačke učinke estimacije. Na početku upravljanja ($i=0$) DUO raspolaže samo sa raspodelom verovatnoće slučajnog vektora ulaza u m-tom intervalu $f(x_m, m)$, ali se isto tako zna da će se na kraju (m-1)-og intervala dobiti pouzdaniju prognozu o ulazu x'_m koji se očekuje u m-tom intervalu. Količina informacije o slučajnom vektoru ulaza od trenutka $i=0$ do $i=m$ povećava se za veličinu

$$I_{0 \rightarrow M} = H(x_m) - H(x_m | x'_m) \geq 0 \quad (15)$$

gde su: H - entropija ulaznih veličina datih u zagradi, x' - ulazna veličina dobijena estimacijom / prognozom. Znači, DUO na početku raspolaže sa raspodelama verovatnoće $f(x_m, m)$, ali zna i to da će se do kraja (m-1)-og intervala vremena te informacije uvećati za $I_{0 \rightarrow m}$.

Imajući to u vidu, vrednost kriterijumske funkcije od m-tog koraka upravljanja može se definisati u obliku

$$F_5(s_m, m) = E_{[x^{m,M}]} \min_{[u^{m,M}]} E_{[x^{m,M} | x'_m]} T(u, s, x, m) \quad (16)$$

iz koje se lako može izvesti rekurentne relacije za rešavanje zadatka optimizacije.

Može se dokazati (Đorđević, 1990) primenom relacija iz Teorije igara, da je u slučaju dobre estimacije veličine $x_m | x'_m$ važi

$$F_1 < F_5 < F_4 < F_3 < F_2 \quad (17)$$

Pošto su veličine F_i troškovi, za i-ti upravljački zadatak (indeksi iz gornjeg teksta), proizilazi da se najbolji upravljački rezultat ostvaruje za determinističku optimizaciju, a da se odmah iza toga po kvalitetu upravljanja nalazi upravljanje sa spoljnim estimatorom. Najlošiji rezultat je u uslovima najmanje informisanosti (minimax zadatak), što je i logično, jer DUO pri donošenju odluka nema bilo kakvu informaciju o tome kakve "poteze" može da povuče Priroda. Ukoliko se deterministički i minimax zadatak isključe, jer su nerealni (deterministički - jer je neopravdano "optimistički" da se svi ulazi apriorno poznaju, a minimax jer je nerealno "pesimistički", jer DUO uvek nešto više zna od ukupnog prostora mogućih ulaza X), proizilazi da se ubedljivo najbolji upravljački rezultat ostvaruje u uslovima postojanja i valjanog funkcionisanja spoljnog estimatora.

U slučaju rešavanja zadataka optimalne sinteze, spoljni estimator ne daje prognozne veličine ulaza, već generiše sintetičke ulazne serije, koje imaju iste stohastičke osobenosti kao istorijski - zabeležen niz. To omogućava da se planiranje sistema obavi pouzdanije, uzimajući u obzir i nepovoljnije realizacije ulaza (npr. nepovoljnije kombinacije nagomilavanja sušnih godina).

Istraživanjima u okviru projekta dobijeno je polazište koje omogućava da se u slivu Drine na svim nivoima upravljanja, od podsistema nižeg reda do celog sliva, u svim fazama upravljanja - od planiranja konfiguracije i

parametara sistema, do operativnog upravljanja - primenjuje estimaciju svih relevantnih ulaznih veličina.

ZAKLJUČAK

Sistem u slivu Drine mora se razvijati kao integralni sistem. U okviru ciljne strukture tipa granatog stabla cilj najvišeg reda se definiše kao "*integralno uređenje, korišćenje i zaštita sliva reke Drine*". Vodoprivredne i hidroenergetske ciljevi u okviru ciljne složene strukture treba tretirati ravnopravno sa ciljevima svih ostalih korisnika prostora: privrednim, urbanim, saobraćajnim, ekološkim, kulturološkim i drugim. Organizacija sistema se mora zasnivati na primeni najsavremenijih kibernetičkih metoda, koje omogućavaju stalnu, iterativnu i interaktivnu optimizaciju i estimaciju, na svim nivoima upravljanja. Sistem treba tako merno i informaciono osposobiti, da omogućava kvalitetnu primenu spoljnih estimatora, kojima se ostvaruju najbolje upravljačke performanse sistema, i u fazu planiranja konfiguracije i parametara sistema, i u fazi optimalnog operativnog upravljanja.

LITERATURA

- [1] Box, G.E.D. & G.M. Jenkins (1976): Time Series Analysis, Forecastings and Control, San Francisco.
- [2] Dašić, T. (2003): Razvoj modela za planiranje pouzdanosti složenih vodoprivrednih sistema, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd
- [3] Dašić, T. i B. Đorđević (2003): Metod za određivanje pouzdanosti složenih vodoprivrednih sistema, Vodoprivred, 203-204, Beograd
- [4] Đorđević, B. (1986): Upravljanje vodama i uređenje voda, SITJ, IV, Beograd,
- [5] Đorđević, B. (1990): Vodoprivredni sistemi, Naučna knjiga, Beograd
- [6] Djordjević, B. (1993): Cybernetics in Water Resources Management, WRP, USA
- [7] Đorđević, B. (2001): Hidroenergetsko korišćenje voda, Građevinski fakultet u Beogradu
- [8] Đorđević, B. (2001): Hidroenergetski potencijali Jugoslavije, Vodoprivreda, Beograd, 189-194, s. 93-100
- [9] Jevđević, V: (1991): Tendencije u hidrološkim istraživanjima i njihova primena u 21. veku, Vodoprivreda, 1991.
- [10] Jevđević, V. (1974): Stohastički procesi u hidrologiji, Sarajevo
- [11] Opricović, S. (1992): Optimizacija sistema, Nauka i Građevinski fakultet, Beograd
- [12] Opricović, S. (1998): Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu, Građevinski fakultet, Beograd
- [13] Prohaska, S. (1995): Hidrologija kroz teoriju i praksu, RGF, Beograd
- [14] Stanić, M. (1999): Optimizacija distributivnih mreža u sistemima za navodnjavanje, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Beograd
- [15] Stanić, M. i dr. (1997): Razvoj evolucionog algoritma za određivanje optimalne dispozicije mreža, Vodoprivreda, 169-170, Beograd
- [16] William Wu & Shuony Wei (1995): Time Series Analysis, Univesity of Wisconsin, Madison

OPTIMIZATION AND ESTIMATION IN THE PLANNING AND MANAGEMENT
OF THE DRINA SYSTEM

Branislav ĐORĐEVIĆ*, Nenad GRUJOVIĆ**, Dejan DIVAC***

* University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering

** University of Kragujevac, Faculty of Mechanical Engineering

*** The Jaroslav Černi Institute for the Development of Water Resources

Summary

The water management system for the Drina River basin will be one of the most complex systems in Europe with regard to its areal coverage and performance. Successful planning of the system and management of the finished product need to be based on the state-of-the-art cybernetic approach. The methods of implementing the target architecture are considered, aimed at the highest level defined as *integrated regulation, use and protection of the Drina River basin*, which is then broken down in the form of a tree into increasingly detailed objectives of the various users in the basin. A particularly important conclusion is drawn that water management and hydroelectric power objectives and those of other users in the basin have to be treated equitably. Following distribution of the system, the basic types of replication in certain parts of the system are presented. The decision-making process in all stages of management is considered, including the determination of tasks at the decision-making level and the technical

level where modeling, estimation and evaluation/optimization of management take place, in preparation for the decision-making process. The decision maker needs to be iteratively involved in the decision-making process, in order to be able to require changes of criteria and preferences based on new knowledge acquired from optimization results, in the course of multi-criteria evaluation and management decision-making. The optimization tasks are considered, and a special assessment is made of the criteria most applicable to the Drina System planning and operation process. The role of external estimators is also addressed, and a management improvement is shown to be the result of obtaining forecasts of the outcome of input vectors in the system.

Key words: mathematical modeling, optimization, estimation, water management system, the Drina, decision making.

Redigovano 15.05.2004.