

## LP, AHP I SINERGIJA U ALOKACIJI VODOPRIVREDNIH BUDŽETA

Bojan SRĐEVIĆ  
Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu  
E-mail: bojans@polj.ns.ac.yu

### REZIME

U radu je prikazan model sprezanja dve različite tehnike optimizacije u postupku traženja pozitivne sinergije više učesnika u poslovima vodoprivrednog odlučivanja. Prva je standardno Linearno programiranje (LP) iz klase jednokriterijumskih optimizacionih metoda. Druga je Analitički hijerarhijski proces (AHP) za podršku procesa odlučivanja kod hijerarhijski struktuiranih problema. AHP je višekriterijumska tehnika koja se ovde koristi za generisanje težinskih koeficijenata u ciljnim funkcijama LP programa pojedinačnih učesnika u odlučivanju o datom vodoprivrednom sistemu (ili problemu u opštem slučaju). LP programima optimizira se alokacija 'napora' (kao 'kvalitativnog resursa'), odnosno asociranih budžeta (kao 'kvantitativnog resursa') učesnika na dva segmenta gazdovanja vodoprivrednim sistemom: operativni i menadžment. Formiranjem zajedničkog LP ispituje se zatim mogućnost za zajedničko delovanje, odnosno sinergiju napora i korišćenje budžeta. Skalarizacijom pojedinačnih ciljnih funkcija i prekomponovanjem relacija ograničenja u početnim LP programima, generišu se na kraju pojedinačni i zajednički tzv. relativni LP programi. Standardnom optimizacijom se utvrđuju pojedinačni optimumi učesnika u donošenju odluka, kao i stvarna sinergija u alokaciji više kvalitativnih i finansijskih resursa. Na realnom primeru regionalnog hidrosistema Nadela u Vojvodini ilustrovan je mogući scenario postizanja sinergije tri ključna učesnika u poslovima vezanim za sistem. Alokacioni ciljevi su segmentirani na (1) povećanje atraktivnosti sistema za strane i domaće investicije, (2) uspostavljanje stabilnog razvoja i funkcionisanja sistema i (3) dopunsko smanjenje troškova kroz ujedinjavanje ljudskih resursa u domenu menadžmenta i tehničkog rukovanja sistemom.

**Ključne reči:** LP, AHP, sinergija, vodoprivredni budžet

### 1. UVOD

U naučnim i drugim poslovima u oblasti voda, odnosno vodnih i sa njima povezanih resursa, česte su primene dve poznate optimizacione metodologije, Linearnog programiranja (LP) i Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) (*Saaty, 1980*). Prva obuhvata u širokom smislu familiju pristupa i algoritama klasične jednokriterijumske optimizacije za standardne i nestandardne zadatke u višedimenzionim linearnim prostorima. Dobri primeri su dinamičke i statičke alokacije voda u vodoprivrednim višenamenskim sistemima sa brojnim ulazima, izlazima i koordinatama stanja, ili sekvenciranje ulaganja u razvoj sektora voda u višegodišnjim periodima. Pošto se u fazi modeliranja reše problemi linearizacije, identifikuje prostor dopustivih rešenja definisanjem linearnih ograničenja i uslova i definiše linearna ciljna funkcija, potrebno je samo odabrati pogodan algoritam i rešiti rezultujuć LP program. Kako utvrđuje teorija LP, rešavanje je u matematičkom smislu rigorozno i dobijeno rešenje je optimalno. Međutim, u praksi je glavni problem definisati ciljnu funkciju, naročito ako ista treba da sadrži ekonomske elemente kao što su troškovi ili dobiti izraženi u novcu. Jedan od postupaka da se teškoća prevaziđe je da se koriste normalizovani ponderi (težinski koeficijenti) ili prioritetni brojevi sa prethodno definisane skale prioriteta. Drugi problem je kada primenom LP treba rešiti optimizacioni model sa više od jedne ciljne funkcije. Tada je uobičajeni postupak izvršiti skalarizaciju kojom se, sa jednakim ili različitim (normalizovanim) težinama, ciljne funkcije agregiraju u jednu, a zatim optimizacija vrši sa standardnim jednokriterijumskim LP programom (*Vemuri, 1974*). Oba navedena slučaja su zastupljena u ovom radu.

Analitički hijerarhijski proces je jedna od naprednijih metodologija višekriterijumske analize namenjena za podršku odlučivanju. Iako se često piše da je AHP

metod višekriterijumske optimizacije, on to nije jer ne ispunjava ključne odrednice optimizacionog modeliranja i rešavanja. Tačnije je da spada u meke optimizacione tehnike, u smislu da traži višekriterijumsko, 'najbolje', rešenje, bez sposobnosti da pruži rigorozan dokaz o kvalitetu dobijenog rešenja. Pod hijerarhijski strukturiranim problemom odlučivanja u kontekstu AHP najčešće se podrazumeva problem sa globalnim ciljem na vrhu, sa kriterijumima i podkriterijumima na nižim nivoima i alternativnim odlukama na najnižem nivou. AHP se sprovodi poređenjem u parovima elemenata odlučivanja po nivoima, pri čemu se najčešće koristi tzv. fundamentalna skala dominantnosti iz Tabele 1 koja sadrži (1) gradirane semantičke ocene međusobnog značaja dva elementa u odnosu na njima nadređeni element i (2) njima asociirane numeričke vrednosti od 1 do 9. Donosilac odluka se 'kreće kroz hijerarhiju' (obično odozgo na dole), poredi elemente i kreira semantičke matrice koje se putem fundamentalne skale

u hodu konvertuju u numeričke sa osobinom recipročnosti u odnosu na glavnu dijagonalu. Iz numeričkih matrica se ekstrahuju vektori težinskih vrednosti poređenih elemenata, na primer metodom sopstvenih vrednosti (Eigenvector Method – EV), ili aditivnim normalizacionim metodom (Additive Normalization Method – AN) (Saaty, 1980). Poznati optimizacioni metodi za istu svrhu su i: metod otežanih najmanjih kvadrata (The Weighted Least Squares Method – WLS) (Chu et al, 1979), logaritamski metod najmanjih kvadrata (The Logarithmic Least Squares Method – LLS) (Crawford and Williams, 1985), logaritamsko ciljno programiranje (The Logarithmic Goal Programming Method – LGP) (Bryson, 1995) i metod fazi programiranja prioriteta (The Fuzzy Preference Programming Method – FPP) (Mikhailov, 2000). Pregled svih navedenih metoda dat je u (Srđević, 2005), a na srpskom jeziku u (Srđević i Kolarov, 2005).

Tabela 1. Fundamentalna skala dominantnosti (Saaty, 1980)

Numerička vrednost	Semantički iskaz dominantnosti
1	JEDNAKO
3	SLABA DOMINACIJA
5	JAKA DOMINACIJA
7	VRLO JAKA DOMINACIJA
9	APSOLUTNA DOMINACIJA
2, 4, 6, 8	Međuvrednosti
1/2, 1/3, ..., 1/9	Suprotna dominacija

Posmatrajući celu hijerarhiju problema, matrice i rezultujući vektori su po karakteru lokalni i tek se kompletnom sintezom vektora težina u AHP smislu dolazi do konačnih težinskih vrednosti alternativa u odnosu na globalni cilj. Sinteza je aditivna, a težinske vrednosti su lokalno i globalno normalizovane. Drugim rečima, rezultat su globalne težine alternativa u odnosu na cilj koje u zbiru daju 1. Izračunata 'težina' alternativa može se direktno iskoristiti kao kardinalna informacija, npr. za procentnu alokaciju resursa prema težini alternativa, za procentnu 'preraspodelu alokacije' na nekoliko alternativa do tzv. iscrpljenja resursa, ili jednostavnim uzimanjem alternative sa najvećom težinom i potpunim alociranjem resursa na nju (Alphonse, 1997). U drugim vrstama zadataka može biti važan samo redosled alternativa kada se koristi samo tzv. ordinalna informacija.

U oblasti voda AHP se koristi u planiranju i menadžmentu, naročito kada se radi o višestrukim i

konfliktnim ciljevima i kada su pored kvantitativnih prisutni i kvalitativni elementi odlučivanja. Neke od stranih i domaćih primena ovog metoda prikazane su u (Srđević B, 2002a; Srđević, 2002b; Srđević et al, 2002; Kolarov et al, 200; Srđević Z and Srđević B, 2005). U novije vreme metod se koristi i za grupno odlučivanje, samostalno ili u kombinaciji sa drugim tehnikama (Saaty et al, 2003). Primeri grupnih primena u domaćoj vodoprivredi mogu se naći u (Srđević B. et al, 2004; Srđević B. et al, 2005; Srđević Z. et al, 2005)

Ovde je postavljen mogući model za podršku odlučivanju u poslovima planiranja i operativnog gazdovanja u vodoprivredi, zasnovan na kombinovanju klasičnih jednokriterijumskih LP programa i AHP. Korišćeni su elementi odlučivanja koji su merljivi novčanim jedinicama, ali i oni koji to nisu. Trećiran je grupni kontekst, u smislu da je ispitana ideja da li se kombinovanom upotrebom LP i AHP može postići pozitivna sinergija, zajedničkim delovanjem i

alociranjem raspoloživih budžeta tri zainteresovana učesnika (partnera). LP modeliranje vršeno je na dva nivoa, prvo delimično relativnim, a zatim potpuno relativnim modelima. AHP je ograničeno korišćen i to samo u početnoj fazi vrednovanja kriterijuma za tri učesnika, a izostavljene su agregacije koje su tipične kada se AHP koristi za grupno odlučivanje. Na oba nivoa modeliranja dobijene su pozitivne sinergije, a diskusija rezultata ukazuje na neke moguće pravce dalje razrade predožene metodologije. Opšta matematička izvodenja su izostavljena da bi se pažnja usmerila samo na identifikovanje logičnog korišćenja LP i AHP u tandemu za konkretan primer vodoprivrednog odlučivanja. Težište je na klasičnoj optimizaciji pomoću LP, dok su pitanja vezana za tretiranje kvalitativnih i kvantitativnih elemenata odlučivanja i različitih grupnih konteksta (konsenzus, klasterisanja i agregacije), inače karakteristična za primene AHP, ovde izostavljena. Primer na kome je ispitana opravdanost predloženog pristupa je regionalni hidrosistem Nadele u Vojvodini. U radu su tretirana neka pitanja vezana za funkcionisanje, razvoj i finansiranje ovog sistema.

## 2. REGIONALNI HIDROSISTEM NADELA

Regionalni hidrosistem Nadele je deo hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav (HS DTD) u istočnom delu Vojvodine (Slika 1). Slivna površina obuhvata delove opština Zrenjanin, Kovačica, Opovo, Pančevo i Kovin. Osovinu sistema čini prirodno korito Nadele ukupne dužine oko 82 km, od čega je proticajni profil oformljen dopunskim hidrotehničkim radovima na dužini oko 50 km. Magistralni kanal polazi od HS DTD kod Botoša, a završava se ušćem u Dunav kod Ivanova. U gornjem delu sistema dužine oko 30 km (ustava Botoš - crpna stanica Debeljača) intenzivnije se navodnjava, a na svim delovima sistem vrši i druge projektovane namene kao što su odvodnjavanje, snabdevanje naselja i industrije vodom i prihvatanje suvišnih voda iz naselja i upotrebljenih voda iz industrije i drugih privrednih objekata.

Na kanalu Nadele ima više hidrotehničkih objekata od kojih su značajniji:

- Ustava kod Botoša za zahvat vode iz kanala HS DTD
- Crpna stanica Tomaševac za podizanje vode iz nižeg početnog dela kanala Kaljov u kanal Nadele
- Višenamenski objekti: ustava i crpna stanica 'Ivanovo'
- 8 regulacionih ustava
- 46 prelaza preko kanala (mostovi i propusti) i dr.



Slika 1. Regionalni hidrosistem Nadele

Sistem uspešno obezbeđuje odvodnjavanje oko 100.000 ha poljoprivrednog i drugog zemljišta, navodnjavanje 4.200 ha, snabdevanje vodom šćerane u Kovačici i prihvatanje upotrebljenih voda. Mogućnosti proticajnog profila magistralnog kanala i ugrađenih pumpi u crpnim stanicama su znatno veće, što se pre svega odnosi na navodnjavanje. Na primer, crpna stanica Tomaševac, sa do sada ugrađene dve pumpe ukupnog kapaciteta 5 m<sup>3</sup>/sec, može da obezbedi navodnjavanje 10.000 ha i značajne količine vode za druge potrebe [19, 20, 21].

Pri normalnoj eksploataciji sistema, na potezu od ustave Botoš do crpne stanice Debeljača potroši se oko 2,5 m<sup>3</sup>/s, tako da nizvodno prema Dunavu otiče najviše 2,5 m<sup>3</sup>/s. Stanje na terenu je takvo da usled koncentracije zagađivača na sektoru dužine oko 30 km od ustave Skrobara do ustave Ivanovo, dolazi do izrazitog narušavanja kvaliteta vode, uz dodatan problem obezbeđenja biološkog minimuma u kanalu.

Sredstva za finansiranje obezbeđuju se od naknada za odvodnjavanje, navodnjavanje, snabdevanje vodom

šećerane i prihvati upotrebljenih voda. Zbog malog broja korisnika, nisu definisani posebni kriterijumi za finansiranje održavanja, funkcionisanja i pogona sistema, odnosno kriterijumi raspodele troškova na korisnike. Vrste i količine radova za redovno održavanje, poslovi na obezbeđenju funkcionisanja i sredstva za pogon crpnih stanica i drugih objekata određuju se na osnovu jedinstvenih normativa, standarda i kriterijuma za održavanje sistema za odvodnjavanje. Pošto nije moguće obezbediti potrebna sredstva za sve radove, sve aktivnosti na sistemu svedene su na nivo koji je moguće ostvariti od gore navedenih naknada.

### 3. POSTAVKA PROBLEMA ODLUČIVANJA

#### 3.1. Prethodne napomene

U [21] i radovima (*Srđević B. et al, 2005; Srdjevic Z. et al, 2005*) prikazan je model primene AHP za participativnu analizu i vrednovanje kriterijuma i strategija daljeg korišćenja sistema Nadele sa ciljem da se unapredi sadašnje finansiranje razvoja i operativnog funkcionisanja sistema. AHP je praktično korišćen da bi se započelo sa rešavanjem nekih konflikata korisnika sistema i unapredio menadžment voda pod ingerencijama JVP Vode Vojvodine.

U kontekstu koji je ovde postavljen, analizira se mogućnost da se AHP kombinuje sa LP u cilju detaljnijeg 'razvrstavanja' odgovornosti u vođenju politike i, u krajnjoj konsekvenci, finansiranju vitalnih poslova vezanih za operativnu funkcionalnost, održavanje i razvoj sistema. Analizira se kako se na bazi podataka o raspoloživim budžetima zainteresovanih strana (učesnika u odlučivanju) i njihovim preferencama (koje identifikuje AHP), LP metodologijom modeliranja i optimizacije mogu odrediti striktno optimalne alokacije tih preferenci i budžeta na nekoliko odabranih sektora unapređenja rada i korišćenja sistema.

Postavke i model odlučivanja koji su dalje izloženi, predstavljaju metodološki koncept i viđenje mogućeg scenarija odgovornog odlučivanja o vitalnim pitanjima Nadele i drugih sličnih sistema.

#### 3.2. Problem odlučivanja

Dugoročni razvoj, stabilno finansiranje i operativnost sistema Nadele jesu predmet pažnje tri zainteresovane strane – učesnika i partnera u donošenju odluka:

- **Javno vodoprivredno preduzeće Vode Vojvodine (VV)** koje je nadležno za ukupno gazdovanje vodama

Pokrajine, a putem vodoprivrednog preduzeća Tamiš-Dunav za operativno vođenje hidrosistema Nadele; VV ubira zakonske i druge ugovorne naknade od korisnika sistema.

- **Korisnici sistema Nadele (KO)**, gde spadaju državna i privatna poljoprivredna, industrijska i druga preduzeća, individualni korisnici, a u širem smislu stanovnici i njihove asocijacije u regionu (lokalna samouprava, građani, ekološka udruženja i sl.).
- **Pokrajinski sekretarijat za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo (PS)** koji je nadležan za politiku, zakonsku regulativu i budžetsko finansiranje vodnog sektora Pokrajine.

Tri strane odlučuju da ujedine interes i sredstva (finansijska, materijalna i ljudska) i tako ostvare pozitivan ukupni (sinergijski) efekat u dugoročnom razvoju i gazdovanju Nadelom u smislu:

1. Povećanja atraktivnosti sistema za strane i domaće investicije (**Atraktivnost - AT**)
2. Uspostavljanja stabilnog razvoja i funkcionisanja sistema (**Razvoj - RA**)
3. Dopunsko smanjenje troškova kroz ujedinjavanje ljudskih resursa u domenu menadžmenta i tehničkog rukovanja sistemom (**Smanjenje troškova - ST**).

Na svakom segmentu – Atraktivnosti, Razvoju i Smanjenju troškova – treba angažovati resurse i koristiti merljive i direktno nemerljive (kvalitativne) elemente kao što su: budžet za tehničko osoblje, materijal i opremu (BT), budžet za menadžment (BM), stvaranje slike u javnosti i u stručnim krugovima o kvalitetu i važnosti sistema (KS), ili povećanje efikasnosti sistema i korisničkih kapaciteta koji uzimaju vodu iz Nadele (UE).

Pretpostavimo da su tri partnera saglasna da se u prvoj fazi treba koncentrisati samo na merljive finansijske parametre, odnosno da treba definisati obaveze svakog partnera imajući u vidu njegovu zainteresovanost u odnosu na segmentirane prioritetne ciljeve: (1) povećanje atraktivnosti (AT), (2) stabilizovanje razvoja sistema (RA) i (3) smanjenje troškova ljudskih resursa anagažovanih za menadžment i operativno upravljanje sistemom (ST). Pored toga, treba utvrditi efekte sinergije, odnosno modalitete udruživanja finansija da bi se ostvario maksimalni pozitivni efekat u odnosu na tri navedena segmenta.

Sve tri strane (VV, KO i PS) alociraju finansijska sredstva na dva budžeta (BT i BM) kao što je prikazano

u poslednjoj koloni Tabele 2. Segmenti AT, RA i ST angažuju navedene finansijske resurse u procentnim iznosima kako je prikazano u istoj tabeli. Na primer, JVP Vode Vojvodine spremno je da alocira 60%, 10% i 30% sredstava iz budžeta BT (koji iznosi 430 miliona dinara) redom za jedinični rast atraktivnosti (AT), stabilizovanja razvoja (RA) i jediničnog smanjenja troškova (ST). U isto vreme, asocijacija korisnika namerava da doprinese istim segmentima istim redom

sa 30%, 50% i 20% iz svog budžeta BT (450 miliona). U slučaju Pokrajinskog sekretarijata sredstva su 820 miliona dinara, a procenti su 60%, 20% i 20%. U slučaju budžeta za menadžment BM, pretpostavimo da važe jedinične alokacije u procentima datim u donjoj polovini iste tabele. U pozadini navedenih procenata i budžeta su mehanizmi koji se ovde ne razmatraju jer nisu u istom metodološkom nivou.

Tabela 2. Budžeti i korišćenje resursa po jedinici uloženog napora u segmentima dugoročnog razvoja i gazdovanja sistemom

Zainteresovani strane (Učesnici)	Atraktivnost AT	Razvoj RA	Smanj. troškova ST	Budžet za tehničko (operativno) osoblje, materijal i opremu (TB) [milioni din.]
VV	0,6	0,1	0,3	430
KO	0,3	0,5	0,2	450
PS	0,6	0,2	0,2	820
				Budžet za menadžment (BM) [milioni din.]
VV	0,1	0,5	0,4	460
KO	0,5	0,3	0,2	300
PS	0,3	0,5	0,2	120

#### 4. METODOLOGIJA POVEZIVANJA AHP I LP

##### 4.1. Početni (delimično relativni) LP model

Neka je  $w_{ij}$  'napor' ('posvećeno učešće') koje će partner  $i$  ( $i=1$ : Vode Vojvodine,  $i=2$ : Korisnici,  $i=3$ : Pokrajinski sekretarijat) alocirati na segment  $j$  ( $j=1$ : Atraktivnost,  $j=2$ : Razvoj,  $j=3$ : Smanjenje troškova).

Neka je, dalje,  $s_{ij}$  relativni značaj koji partner  $i$  daje segmentu  $j$ . Prvo što se nameće je da se odrede vrednosti  $w_{ij}$ , odnosno da se utvrdi koliko svaki partner treba da uloži napora u svakom od segmenata da bi maksimizirao sopstveni učinak i dao doprinos opštem interesu. Drugim rečima, treba odrediti

$$z_i = \max \sum_{j=1}^3 s_{ij} w_{ij} \quad \text{za } i = 1, 2, 3. \quad (1)$$

Da bi se utvrdile vrednosti  $s_{ij}$ , pogodan je postupak koji se koristi u AHP. Korišćenjem fundamentalne skale iz Tabele 1, svaki učesnik nezavisno vrednuje segmente 'Atraktivnost', 'Razvoj' i 'Smanjenje troškova' poređenjem segmenata u parovima po principu svako-sa-svakim. Tako se dobijaju tri numeričke recipročne matrice iz kojih se po nekom od prioritizacionih metoda

određuju vektori prioriteta i usvajaju kao najbolja estimacija relativnog značaja  $s_{ij}$  koji svaki partner  $i$  daje svakom segmentu  $j$ .

Primer mogućih matrica sa izračunatim vektorima prioriteta po metodu sopstvenih vrednosti (EV) dat je u Tabeli 3.

Da bi se postavili početni, delimično relativni linearni programi za tri partnera, koriste se podaci iz Tabela 2 i 3.

##### Vode Vojvodine:

$$\begin{aligned} \text{Max: } Z_{VV} &= 0,582w_{11} + 0,109w_{12} + 0,309w_{13} \\ \text{Ogr.} & \quad 0,6w_{11} + 0,1w_{12} + 0,3w_{13} \leq 430 \\ & \quad 0,1w_{11} + 0,5w_{12} + 0,4w_{13} \leq 460 \\ & \quad w_{11}, w_{12}, w_{13} \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

##### Korisnici:

$$\begin{aligned} \text{Max: } Z_{KO} &= 0,093w_{21} + 0,627w_{22} + 0,280w_{23} \\ \text{Ogr.} & \quad 0,3w_{21} + 0,5w_{22} + 0,2w_{23} \leq 450 \\ & \quad 0,5w_{21} + 0,3w_{22} + 0,2w_{23} \leq 300 \\ & \quad w_{21}, w_{22}, w_{23} \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

**Pokrajinski sekretarijat:**

$$\begin{aligned} \text{Max: } Z_{PS} &= 0,443w_{31} + 0,388w_{32} + 0,169w_{33} \\ \text{Ogr. } & 0,6w_{31} + 0,2w_{32} + 0,2w_{33} \leq 820 \\ & 0,3w_{31} + 0,5w_{32} + 0,2w_{33} \leq 120 \\ & w_{31}, w_{32}, w_{33} \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Programi (2)-(4) su delimično relativni jer se na desnoj strani svih relacija ograničenja koriste apsolutne vrednosti raspoloživih budžeta. Rešenja programa data su u Tabeli 4.

Tabela 3. Vrednovanje segmenata i vektori prioriteta (po metodologiji AHP)

Vode Vojvodine				Korisnici				Pokr. sekretarijat				
Prioriteti				Prioriteti				Prioriteti				
	AT	RA	ST		AT	RA	ST		AT	RA	ST	
AT	1	5	2	0,582	1	1/5	1/4	0,093	1	1	3	0,443
RA		1	1/3	0,109		1	3	0,627		1	2	0,388
ST			1	0,309			1	0,280			1	0,169

Tabela 4. Rezultati početnih linearnih programa za učesnike

Vode Vojvodine		Korisnici		Pokrajinski sekretarijat	
$w_{11} = 161,9$	$Z_{VV} = 437,1$	$w_{21} = 0,0$	$Z_{KO} = 575,3$	$w_{31} = 400,0$	$Z_{PS} = 177,2$
$w_{12} = 0,0$		$w_{22} = 750,0$		$w_{32} = 0,0$	
$w_{13} = 1.109,5$		$w_{23} = 375,0$		$w_{33} = 0,0$	

$$Z_{VV} + Z_{KO} + Z_{PS} = 1.189,6$$

Kada bi se svi partneri ponašali kao jedan, što se može shvatiti kao sinergija koja nastaje ujedinjavanjem njihovih resursa i zajedničkim prihvatanjem da će alokaciju sopstvenih napora vršiti na način koji pokaže rešenje zajedničkog modela ponašanja, tada je jedna od mogućnosti da se formira i reši sledeći sinergijski linearni program (po karakteru takođe delimično relativni):

**Zajednički (sinergijski), delimično relativni, LP program:**

$$\begin{aligned} \text{Max: } Z_{SIN} &= Z_{VV} + Z_{KO} + Z_{PS} = \\ &= 0,582w_{11} + 0,109w_{12} + 0,309w_{13} + \\ & 0,0943w_{21} + 0,627w_{22} + 0,280w_{23} + \\ & 0,443w_{31} + 0,388w_{32} + 0,169w_{33} \\ \text{Ogr. } & 0,6w_{11} + 0,1w_{12} + 0,3w_{13} + 0,3w_{21} + 0,5w_{22} + \\ & 0,2w_{23} + 0,6w_{31} + 0,2w_{32} + 0,2w_{33} \leq 1.700 \\ & 0,1w_{11} + 0,5w_{12} + 0,4w_{13} + 0,5w_{21} + 0,3w_{22} + \\ & 0,2w_{23} + 0,3w_{31} + 0,5w_{32} + 0,2w_{33} \leq 880 \\ & w_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3). \end{aligned}$$

Rešenje ovog programa je:

$$\begin{aligned} w_{11} &= 538,5 \\ w_{22} &= 2.753,8 \\ w_{12} = w_{13} = w_{21} = w_{23} = w_{31} = w_{32} = w_{33} &= 0 \\ Z_{SIN} &= 2.040,0. \end{aligned}$$

Sinergija daje vrednost za ciljnu funkciju koja je veća nego zbir pojedinačnih vrednosti ciljnih funkcija učesnika, a povećanje iznosi 71,4% (2.040,0 u odnosu na 1.189,6).

**4.2. Analiza rezultata početnih LP programa**

Interpretacija rezultata u Tabeli 4 za pojedinačne početne LP programe (2)-(4) može se dati na primeru prvog učesnika – JVP Vode Vojvodine. Iz optimalnog rešenja ( $w_{11} = 161,9$ ;  $w_{12} = 0,0$ ;  $w_{13} = 1.109,5$ ), proizilazi procentna alokacija budžeta:

( $w_{11}$ )	Atraktivnost $161,9/(161,9+1.109,5) = 0,127$ (12,7%)	koja se primenjuje na oba budžeta – BT i BM iz Tabele 2, kao što je prikazano u prvom horizontalnom segmentu Tabele 5a za ovog učesnika.
( $w_{12}$ )	Razvoj $0,0/(161,9+1.109,5) = 0,0$ (0,0%)	
( $w_{13}$ )	Smanjenje troškova $1.109,5/(161,9+1.109,5) = 0,873$ (87,3%)	

	Atraktivnost AT	Razvoj RA	Smanj. troškova ST	Ukupno
<b>Vode Vojvodine</b>	12,7%	0,0 %	87,3%	100%
BT	54,6	--	375,4	430
BM	58,4	--	401,6	460
Ukupno VV	113,0	--	777,0	890
<b>Korisnici</b>	0,0%	66,7%	33,3%	100%
BT	--	300,0	150,0	450
BM	--	200,0	100,0	300
Ukupno KO	--	500,0	250,0	750
<b>Pokr. sekretarijat</b>	100%	0,0%	0,0%	100%
BT	820	--	--	820
BM	120	--	--	120
Ukupno PS	940	--	--	940
Ukupno VV+KO+PS	1.053,0	586,7	1.070,3	2.580
	40,8 %	17,4 %	41,8 %	100%

BT i MT [milioni din.]

BT i MT [milioni din.]	Atraktivnost AT	Razvoj RA	Smanj. troškova ST	Ukupno
<b>Sinergija</b>	16,3 %	83,7 %	0,0 %	100 %
BT	278	1.422	--	1.700
BM	144	736	--	880
Ukupno	422	2.158		2.580
	16,3 %	83,7%	0,0 %	

BT i MT [milioni din.]

Analogno se izračunavaju optimalne alokacije raspoloživih budžeta za druga dva partnera prema Tabelama 4 i 2, a rezultati su takođe dati u Tabeli 5a.

Polazeći od pojedinačnih optimizacionih programa, od ukupno 2.580 miliona dinara 40,8% (1.053,0 miliona dinara) bilo bi alocirano na povećanje atraktivnosti sistema prema stranim investitorima, 41,8% (1.070,3 miliona dinara) bilo bi usmereno na smanjenje troškova rada sistema, dok bi ostatak od 17,4% (586,7 miliona dinara) bio uloženi u razvoj sistema.

Kada se ovi rezultati uporede sa rezultatima za sinergijski LP program (5), koji daje povećanje ukupnog efekta od 71,4%, sledi da prema zajedničkom programu 83,7% svih budžeta (2.158 miliona dinara) treba alocirati na 'Razvoj sistema', a ostatak od 16,3 % (422 miliona din.) na 'Atraktivnost sistema'; na segment 'Smanjenje troškova' ne treba alocirati nikakva sredstva, već treba zadržati režim kontrole zatečenih troškova. Ovi podaci dati su u Tabeli 5b i bitno se razlikuju od prethodnih.

Treba napomenuti da je nivo sinergije utvrđen pod pretpostavkom jednake težine partnera. Drugim rečima, ciljne funkcije i ograničenja iz programa (2)-(4) jednostavno su sabrani da se dobije program (5).

Program (5) ima ograničenje da se njegovi rezultati ne mogu direktno tumačiti u monetarnim jedinicama kao gore, već se za to mora koristiti tzv. potpuno relativni LP program.

### 4.3. Konačni, potpuno relativni, LP programi

Da bi se formirao potpuno relativni LP program za alokaciju budžeta za tehničko (operativno) osoblje, materijal i opremu (BT) i budžeta za menadžment (BM), apsolutni novčani iznosi na desnoj strani relacija ograničenja u LP programima (2)-(4) moraju se zameniti relativnim vrednostima, npr. kako je dato u Tabeli 6.

Tabela 6. Relativne preference učesnika u odnosu na budžete BT i BM

	Vode Vojvodine	Korisnici	Pokr. sekretarijat	Zajedno
BT	0,5	0,6	0,4	0,500
BM	0,5	0,4	0,6	0,500

Relativne težine u datom slučaju definisane su proizvoljno i direktno jer se radi o samo dva budžeta. Na primer, Pokrajinski sekretarijat na pitanje 'kako ocenjuje značaj alokacije sredstava na budžete BT i BM?' smatra da veći značaj ima finansiranje menadžmenta i zato mu daje nešto veću težinu (60%) u odnosu na finansiranje tehničke operative (40%). U slučaju grupacije Korisnici, stav je suprotan prethodnom, a JVP Vode Vojvodine ne daje prednost ni jednom od dva budžeta. Osrednjavanjem ovih vrednosti dolazi se do sinergije koja definiše jednaku težinu oba budžeta (poslednja kolona Tabele 6).

Konačni pojedinačni i zajednički (sinergijski) relativni LP programi su:

#### Vode Vojvodine:

$$\begin{aligned} \text{Max: } Z_{VV} &= 0,582w_{11} + 0,109w_{12} + 0,309w_{13} \\ \text{Ogr. } & \begin{cases} 0,6w_{11} + 0,1w_{12} + 0,3w_{13} \leq 0,5 \\ 0,1w_{11} + 0,5w_{12} + 0,4w_{13} \leq 0,5 \\ w_{11}, w_{12}, w_{13} \geq 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

#### Korisnici:

$$\begin{aligned} \text{Max: } Z_{KO} &= 0,094w_{21} + 0,627w_{22} + 0,280w_{23} \\ \text{Ogr. } & \begin{cases} 0,3w_{21} + 0,5w_{22} + 0,2w_{23} \leq 0,6 \\ 0,5w_{21} + 0,3w_{22} + 0,2w_{23} \leq 0,4 \\ w_{21}, w_{22}, w_{23} \geq 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

#### Pokrajinski sekretarijat:

$$\begin{aligned} \text{Max: } Z_{PS} &= 0,443w_{31} + 0,388w_{32} + 0,169w_{33} \\ \text{Ogr. } & \begin{cases} 0,6w_{31} + 0,2w_{32} + 0,2w_{33} \leq 0,4 \\ 0,3w_{31} + 0,5w_{32} + 0,2w_{33} \leq 0,6 \\ w_{31}, w_{32}, w_{33} \geq 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

#### Zajednički (sinergijski):

$$\begin{aligned} \text{Max: } Z_{SIN} &= Z_{VV} + Z_{KO} + Z_{PS} = \\ &= 1,0Z_{VV} + 1,0Z_{KO} + 1,0Z_{PS} = \\ &= 0,582w_{11} + 0,109w_{12} + 0,309w_{13} \\ &+ 0,093w_{21} + 0,627w_{22} + 0,280w_{23} + 0,443w_{31} \\ &+ 0,388w_{32} + 0,169w_{33} \\ \text{Ogr. } & \begin{cases} 0,2w_{11} + 0,033w_{12} + 0,1w_{13} + 0,1w_{21} + 0,167w_{22} \\ + 0,067w_{23} + 0,2w_{31} + 0,067w_{32} \\ + 0,067w_{33} \leq 0,500 \\ 0,033w_{11} + 0,167w_{12} + 0,133w_{13} + 0,167w_{21} \\ + 0,1w_{22} + 0,067w_{23} + 0,1w_{31} + 0,167w_{32} \\ + 0,167w_{33} \leq 0,500 \\ w_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3). \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

Rezultati pojedinačnih relativnih programa (6)-(8) dati su u Tabeli 7.

Rešenje sinergijskog relativnog programa (9) glasi:

$$\begin{aligned} w_{22} &= 2,4 \\ w_{32} &= 1,6 \\ w_{11} = w_{12} = w_{13} = w_{21} = w_{23} = w_{31} = w_{33} &= 0 \\ Z_{SIN} &= 2,093. \end{aligned}$$

### 4.2. Analiza rezultata konačnih LP programa

Sinergija daje vrednost za ciljnu funkciju koja je veća nego zbir pojedinačnih vrednosti ciljnih funkcija učesnika, a povećanje iznosi 15,7% (2,093 u odnosu na 1,809). Naponi se sada dele samo na Korisnike i Pokrajinski sekretarijat koji usmeravaju napore i resurse potpuno na Razvoj. U relativnim odnosima Korisnici doprinose sa  $2,4/(2,4+1,6) = 0,6$ , dakle 60%, a ostatak od 40% je učešće Pokrajinskog sekretarijata. Treća



zainteresovana strana, JVP Vode Vojvodine, u sinergijskom smislu se ne angažuje.

I ovde je sinergija simulirana pod pretpostavkom skalarizacije vektorskih ciljnih funkcija sa jednakom međusobnom težinom učesnika. Drugim rečima, ciljne funkcije iz pojedinačnih LP programa su sabrane tako da učesnici imaju apsolutne težine  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$ , odnosno relativne težine  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1/3 = 0,33$ . Ako bi se težine učesnika izmenile tako da JVP Vode Vojvodine i Pokrajinski sekretarijat imaju dvostruko veću težinu u odnosu na Korisnike, odnosno ako je  $\alpha_1 = \alpha_3 = 0,4$  i  $\alpha_2 = 0,2$  (zbir relativnih težina je kao i gore

jednak 1), tada se u programu (9) menja samo ciljna funkcija da glasi:

$$\begin{aligned} \text{Max: } Z_{\text{SIN}} &= 1,2Z_{\text{VV}} + 0,6Z_{\text{KO}} + 1,2Z_{\text{PS}} = \\ &= 0,698w_{11} + 0,131w_{12} + 0,371w_{13} + \\ &\quad 0,056w_{21} + 0,376w_{22} + 0,168w_{23} + \\ &\quad 0,532w_{31} + 0,466w_{32} + 0,203w_{33} \end{aligned}$$

a rešenje izmenjenog sinergijskog programa je:

$$\begin{aligned} w_{11} &= 1,6 \\ w_{32} &= 2,7 \\ w_{12} = w_{13} = w_{21} = w_{22} = w_{23} = w_{31} = w_{33} &= 0 \\ Z_{\text{SIN}} &= 2,367. \end{aligned}$$

Tabela 7. Rezultati relativnih linearnih programa za učesnike

Vode Vojvodine		Korisnici	Pokrajinski sekretarijat		
$w_{11} = 0,2$	$Z_{\text{VV}} = 0,506$	$w_{21} = 0,0$	$Z_{\text{KO}} = 0,767$	$w_{31} = 0,3$	$Z_{\text{PS}} = 0,536$
$w_{12} = 0,0$		$w_{22} = 1,0$		$w_{32} = 1,0$	
$w_{13} = 1,2$		$w_{23} = 0,5$		$w_{33} = 0,0$	

$$Z_{\text{VV}} + Z_{\text{KO}} + Z_{\text{PS}} = 1,809$$

Povećanje efekta sada je još veće u odnosu na zbir pojedinačnih LP programa (bez sinergije) i iznosi  $2,367/1,809 = 1,308$ , odnosno skoro 31%. U ovom slučaju JVP Vode Vojvodine unosi svoj celokupni doprinos u segment Atraktivnost, a Pokrajinski sekretarijat u Razvoj. Korisnici se u sinergijskom smislu ne treba da angažuju.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su razmatrana neka metodološka pitanja vezana za postizanje pozitivne sinergije u odlučivanju o gazdovanju vodama u regionalnom smislu. Paradigma je: (1) regionalni višenamenski hidrosistem Nadela u Vojvodini sa brojnim korisnicima u oblasti navodnjavanja, odvodnjavanja, industrijskog korišćenja voda i, u manjoj meri, drugih namena; (2) sistem sve teže ostvaruje narastajuće zahteve korisnika, otežano je finansiranje redovnog održavanja i nema sredstava za ozbiljniji dugoročni razvoj; (3) rastu i ispoljavaju se u različitim formama konflikti interesa korisnika međusobno i prema nadležnim državnim institucijama i javnom interesu; (4) ključni igrači u vezi sa gazdovanjem sistemom su (a) JVP Vode Vojvodine koje operativno rukovodi sistemom i ubira naknade od korisnika, (b) korisnici koji su međusobno

neorganizovani i neujednačeno ili neredovno plaćaju naknadu za uzetu čistu i vraćenu otpadnu vodu i (c) Pokrajinski sekretarijat AP Vojvodine za poljoprivredu, vodoprivredu i šumarstvo koji obezbeđuje budžet za rad JVP Vode Vojvodine i kontroliše državnim instrumentima druge potrebe sektora voda na teritoriji Pokrajine.

Dva navedena primera skalarizacije ciljne funkcije, sa jednakom i nejednakom težinom tri učesnika, pokazuje u da se mogu menjati uloge učesnika u postizanju pozitivne sinergije. Prostor za još detaljnije mogućnosti sinergije otvara se, na primer, sa povećanjem broja učesnika, raščlanjavanjem budžeta, uvođenjem u analizu i elemenata odlučivanja kvalitativnog karaktera, klasterisanjem elemenata odlučivanja po hijerarhijskim nivoima itd.

## LITERATURA

- [1] Alphonse C.: Application of the analytic hierarchz process in agriculture in developing countries, *Agricultural Systems* 53, 97-112, 1997.
- [2] Bryson N.: A goal programming method for generating priorities vectors. *Journal of Operational Research Society* 46, 641-648, 1995.

- [3] Chu A., Kalaba R., Springam K.: A comparison of two methods for determining the weights of belonging to fuzzy sets. *Journal of Optimization Theory and Applications* 127, 531-541, 1979.
- [4] Crawford G., Williams C.: A note on the analysis of subjective judgement matrices. *Journal of Mathematical Psychology* 29, 387-405, 1985.
- [5] Kolarov V., Srđević Z., Srđević B.: Finding the best pumping stations' disposition in the Galovica drainage area in Serbia - The AHP approach for sustainable development. *International Sustainability Conference ISC 2005*, Bazel, Switzerland, 2005.
- [6] Mikhailov L.: A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process. *Journal of Operational Research Society* 51, 341-349, 2000.
- [7] Saaty T.L.: *Analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, New York, 1980.
- [8] Saaty T.L., Vargas L.G., Dellmann K.: The allocation of intangible resources: the analytic hierarchy process and linear programming. *Socio-Economic Planning Sciences* 37, 169-174, 2003.
- [9] Srđević B.: Donošenje odluka pomoću analitičkog hijerarhijskog procesa. *Melioracije i poljoprivreda*, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 204-221, 2002.
- [10] Srđević B.: Višekriterijumsko vrednovanje namena akumulacije. *Vodoprivreda* 34, 195-200, 2002.
- [11] Srđević B., Medeiros Y., Srđević Z., and Schaefer M.: Evaluating management strategies in Paraguacu river basin by analytic hierarchy process. *iEMSs 2002 – First Biennial Meeting of the International Environmental Modeling and Software Society*, Vol. 1, pp. 42-47, Lugano, Switzerland, 2002.
- [12] Srđević B., Potkonjak S., Srđević Z., Škorić M., Zoranović T.: Simulacija grupnog odlučivanja u izboru tehnologije navodnjavanja. *Poljoprivreda između suša i poplava*, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 126-133, 2004.
- [13] Srđević B.: Combining different prioritization methods in analytic hierarchy process synthesis. *Computers & Operations Research* 32 (7), 1897-1919, Elsevier, 2005.
- [14] Srđević B., Srđević Z., Tomin M.: *Primena analitičkog hijerarhijskog procesa u vrednovanju namena regionalnog hidrosistema 'Nadela'. Melioracije u održivoj poljoprivredi*, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 183-192, 2005.
- [15] Srđević Z., Srđević B.: Valuation of irrigation methods by equal and weighted importance models and the analytic hierarchy process, *First Open International Conference on Modeling & Simulation – OICMS 2005*, pp. 263-270, Clermont-Ferrand, France, 2005.
- [16] Srđević Z., Srđević B., Tomin M.: Participatory decision making model for regional hydro-system Nadela in Serbia: Case study, *Abstract Volume of the 15th Stockholm Water Symposium (World Water Week)*, p. 172, Stockholm, Sweden, 2005.
- [17] Srđević B., Kolarov V.: Varijantna AHP vrednovanja dispozicija crpnih stanica na slivnom području, *Vodoprivreda* 37, 203-214, 2005.
- [18] Vemuri V.: Multiple-objective optimization in water resource systems, *Water Res. Research* 10(1), 44-48, 1974.
- [19] +++: *Pravilnik o korišćenju, funkcionisanju i održavanju vodnog režima na višenamenskom hidrosistemu 'Nadela'. Javno vodoprivredno preduzeće 'Dunav'* Novi Sad, Novi Sad, 1993.
- [20] +++: *Studija uređenja vodotoka Nadela - deonica od ustave Botoš do ukrštanja sa putem Kačarevo Pančevo*, Hidrozavod DTD, Novi Sad, 2003.
- [21] +++: *Vrednovanje kriterijuma i strategija korišćenja regionalnog hidrosistema 'Nadela' pomoću analitičkog hijerarhijskog procesa. Studija*, Departman za uređenje voda, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2004.

## LP, AHP AND SYNERGY IN ALLOCATING WATER RELATED FINANCIAL BUDGETS

by

Bojan SRDJEVIC  
Faculty of Agriculture, University of Novi Sad  
Novi Sad, Serbia

## Summary

The paper presents a model for aggregating two different optimization techniques in the search for positive synergy between multiple participants in water related decision-making. The first is the standard Linear Programming (LP) which belongs to single criteria optimization tools. The other one is Analytic Hierarchy Process (AHP), a widely used supporting tool to the decision-making process for hierarchically structured problems. The AHP is used for generating weights in criteria functions of the LP models created for each individual participant involved in the decision-making process related to a given water resources system (or water problem in general). Then, by using these models, allocation of efforts (qualitative resource) and associated financial budgets (quantitative resource) are optimized for each participant taking into consideration their a priori preferences in allocating financial budgets for technical human resources and managerial human resources.

By scalarization of criteria functions and re-composition of constraints in initial individual LP models, the final relative linear programming model is then created and optimized. This way the positive synergy is searched for, regarding (optimal) allocation of both joint efforts and financial budgets. The regional hydrosystem Nadela in Vojvodina Province is used as a case study to demonstrate a possible scenario and approach in motivating three key players in vital issues related to operation and longevity of this system. Allocation segments considered in this particular example are: (1) increase of system's attractiveness for national and international investments; (2) establishment of stable development and operation of the system, and (3) cost reduction by merging technical and managerial human resources.

Key words: LP, AHP, synergy, water financial budget.

Redigovano 09.08.2006.