



Modeli i tehnike sistemske analize u vodoprivredi i poljoprivredi

Bojan Srđević^{a*}

^aUniverzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad, Srbija

*Autor za kontakt: bojans@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

U radu su dati sistematizacija i pregled modela i tehnika koje koristi sistemska analiza kao multidisciplinarna oblast planiranja i upravljanja resursima vodoprivrede i poljoprivrede. Grupisanja su vršena prema osnovnoj nameni modela i tehnika, a kratki opisi su dati samo za one koji pripadaju savremeni trendovima razvoja sistemske analize i koriste mogućnosti visoko razvijene računarske i komunikacione tehnologije.

KLJUČNE REČI

Sistemska analiza, modeli, tehnike, vodoprivreda, poljoprivreda, pregled

Uvod

Savremeno planiranje, izgradnja infrastrukture i upravljanje vodnim resursima u funkciji poljoprivrede u različitim fazama realizacije zahteva primenu matematičkih modela, kompjuterizovanih tehnika i tehnologija, a pre svega sistematičan i sistemski pristup. U sektorima voda i poljoprivrede sistemske tehnike se koriste i za podršku odlučivanju na različitim nivoima odgovornosti, individualno i grupno, sa i bez dovoljno informacija itd. Praktično nijedan od poslova više se ne može obaviti bez računarske i informaciono-komunikacione tehnologije i metoda koje ove tehnologije čine dostupnim ili ih direktno nameću kao neophodne (Blagojević et al., 2012; Srđević 1988; Yeh, 1985). Zahvaljujući prelasku sa analogne na digitalnu tehnologiju, odnosno digitalizaciju svih važnijih klasičnih tehnologija, došlo je do visokog stepena razvoja i upotrebe superbrzih (*supercomputers*), velikih (*mainframes*) i personalnih računara (*personal computers – PCs*) u svim oblastima ljudske delatnosti. Opšti civilizacijski razvoj harmonizovao je poslove planiranja, projektovanja i upravljanja vodnim resursima generalno (a time i za potrebe poljoprivrede) sa opštim trendovima razvoja društva, naročito u razvijenijim državama.

Snažan prodor modela i tehnika sistemske analize u svetsku i domaću nauku i praksu počeo je krajem šezdesetih godina prošlog veka. Paralelno sa razvojem računarske tehnologije, digitalne elektronike i telekomunikacija, i naročito zahvaljujući Internetu i u određenoj meri mobilnoj telefoniji kao novoj civilizacijskoj paradigmi, osveženi su postojeći, a zatim promovisani novi pristupi u rešavanju složenih zadataka u svim oblastima ljudske delatnosti. Metodi, numeričke tehnike i modeli u novom naučnom i tehnološkom okruženju sada uveliko imaju funkciju mosta za interdisciplinarnost i međusektorsku koordinaciju i razmenu znanja. Transferi znanja putem softvera na svim tipovima računarskih platformi, distribuirane baze podataka i Internet komunikacija omogućili su globalnost u tretiranju kompletnih sektora voda i poljoprivrede, nezavisno i zajedno, sa očiglednim pozitivnim trendovima daljeg razvoja.

Integrirana znanja sistemske analize doveli su u novije vreme do sve veće primene: (1) veštačke inteligencije i pratećih tehnika; (2) distribuiranih baza podataka u kompleksnim informacionim sistemima (uključujući i globalne kao što su Internet i *cloud computing*) i (3) neuralnih mreža i ekspertskih sistema kao instrumenata inteligentnog odlučivanja. Na primer, u oblasti navodnjavanja ili regionalnog vodosnabdevanja, sistemska analiza i kombinovanje njenih tehnika su neophodni jer se radi o složenim višenamenskim sistemima u kojima se spregnuto koriste meteorološke, površinske i podzemne vode. Potrebni su različiti modeli, softversko povezivanje i efikasno rukovanje masivnim hidrološkim, hidrogeološkim i meteorološkim ulaznim podacima. Izlazi modela su brojni i takođe masovni i nužno je obezbediti njihovu čitljivost, evidentiranje, ukrštanje i razne vidove interpretacije. Objedinjavanje i samo najvažnijih komponenti ovog sistema je složen posao koji počinje od usvajanja pristupa u modeliranju, a nastavlja se izborom modela, skaliranjem (diskretizacijom i digitalizacijom) vremena i prostora, programiranjem i povezivanjem programa i baza podataka (izrada interfejsa), do višestrukih simulacija i/ili optimizacija i konačnog prikaza i interpretacije rezultata. Složenost nameće potrebu za sistematizacijom akcija i korišćenjem sistemske analize. Pošto su interesi i prioriteti korisnika voda najčešće suprotstavljeni, prostorna i vremenska distribucija njihovih zahteva komplikuje raspodelu voda, tako da utvrđivanje najboljih planskih alternativa ili evaluacija i preporučivanje strategija upravljanja mora da poštuje osobenosti modela i matematičkih metoda koji se koriste za proračune i analize. Na primer, tretiranje površinskih i podzemnih voda uglavnom se bitno razlikuje jer

su fizički fenomeni vezani za delove vodnog ciklusa nad i pod zemljom različiti po dinamici toka voda i osobenostima nosećih medijuma. O tome se opširno piše u naučnoj i stručnoj literaturi (videti npr., Dou et al., 1995).

Sistemska analiza u savremenom navodnjavanju i vodosnabdevanju

Pojam, mesto i uloga sistemske analize u oblasti vodnih resursa preciznije su određeni u sedmoj deceniji prošlog veka. Sistemska analiza je kao kuriozitet prvi put pomenuta u kontekstu planiranja i upravljanja vodama, a danas je to multidisciplinarna specijalnost koja se obično definiše kao skup matematičkih tehnika za planiranje, projektovanje i upravljanje koji bar u minimalnoj meri sadrži formalne optimizacione postupke. U 'sistemski orijentisanim' naučnim i stručnim publikacijama u prošlosti (npr. Simonović, 1985; Rogers and Fiering, 1986; Simonović, 2008) uočeno je da optimizacije nema u meri u kojoj bi to bilo normalno očekivati. Najveći broj organizacija, agencija, konsultanata i drugih stručnjaka sedamdesetih i osamdesetih godina prošlog veka nedovoljno je koristio ove tehnike. Objašnjenje je u institucionalnoj odbojnosti a priori, ali i u problemima koji su postojali kod modeliranja, naročito zbog fundamentalne neosetljivosti mnogih sistema (ne modela samih po sebi) na opsege promena u konfiguraciji, kapacitetu, varijabilnosti ulaznih podataka, ili nepouzdanosti ekonomskih indikatora (npr., cene objekata i vode, dobiti od eksporta vode, štete od poplava, diskontne stope i sl.). Pored toga, računari su u velikoj meri bili ekskluzivne mašine, a PC tehnologija je tek bila u nagoveštaju ili uzimala maha. Valja podsetiti da je PC tehnologija postala komercijalno raspoloživa 1981. godine.

Činjenica je, međutim, da ni danas optimizacija nije bitno zastupljena tehnika sistemske analize. Za razliku od optimizacije, u praksi dominiraju pre svega simulacija a zatim i druge matematički nerigorozne tehnike, kao što su razne heuristike i metaheuristike (npr. evolutivni algoritmi). Objašnjenje je relativno jednostavno. Kod simulacije najčešće nije potrebno definisati optimizacioni kriterijum (ciljnu funkciju koja se ekstremizira) i shodno tome, tražiti rešenje kojim se kriterijum zadovoljava na optimalan način. Postupkom proba-provera, simulacionim modelom se za razne ulaze snima izlaz, izlazi se upoređuju u odnosu na kriterijum i bira najpovoljniji izlaz. Postupak ne garantuje da je nađen najbolji izlaz, a kompenzacija je da su simulacioni modeli matematički jednostavniji od optimizacionih i stoga razumljiviji i atraktivniji za praktičare. Simulacione modele obično prati solidna dokumentacija, što kod optimizacionih nije čest slučaj.

Matematička jednostavnost i brzina na računaru, komercijalna raspoloživost i neke druge prednosti simulacionih modela, sve više se kombinuju sa svojstvima optimizacionih metoda naročito u okvirima integrisanih sistema i softvera za podršku odlučivanju (tzv. *Decision Support Systems – DSS*). Integrisani sistemi koriste i statističke rutine, interfejs (često višejezički) je prilagođen korisnicima, a komponenta ovih sistema su i mešovite tehnike i simulaciono-optimizacioni modeli. Ovi poslednji modeli kao kompromis zadržavaju simulaciju kao jednostavnu, brzu i razumljivu tehniku, ali joj 'dodaju deo optimizacije' da bi se objektivizirali ulazni podaci i rezultati, a kada je opravdano, da bi se bolje uredila interna struktura modela. Tipični su mrežni modeli za planiranje sistema sa površinskim akumulacijama zasnovani na specijalnim algoritmima linearnog programiranja.

Prema nekim istraživanjima, svi veliki sistemi u prošlosti su razvijani bez centralizovanog planiranja i mogućnosti strožeg hijerarhijskog upravljanja i odlučivanja. Pošto se radi o razvijenim zemljama Zapada, karakteristično je odsustvo korišćenja bilo kakvih optimizacionih šema ili metoda; isto manje ili više važi i za manje sisteme koji su smatrani nepogodnim za optimizacione analize. To je posledica prvo - generalno dobre raspoloživosti voda i neizraženosti potreba za uštedama (tj. optimizacijom) i drugo - uticaja tradicionalno obrazovanih stručnjaka koji su u državnim institucijama zaduženim za razvoj vodnih resursa nametnuli klasičnije metode rada i matematičko modeliranje sveli na niži nivo od realno potrebnog i mogućeg.

Slično je i sa Srbijom, iako se kao zemlja dosta razlikuje od razvijenih zemalja Zapada. Uz prisutne teškoće i objektivne razloge za sporost, sistemska analiza direktno i indirektno nalazi svoje mesto u oblasti vodoprivrede i poljoprivrede. Od početka sedamdesetih godina prošlog veka naučnici i stručnjaci u vodećim naučnim institutima i na univerzitetima uspešno saraduju sa stručnjacima na terenu i rešavaju zadatke ne samo u oblasti tekuće eksploatacije vodnih resursa, nego i u domenu planiranja i upravljanja kompleksnim sistemima. Neki od planiranih sistema za navodnjavanje i regionalno vodosnabdevanje u slivovima Morave, Drine i Dunava analizirani su, projektovani ili upravljani uz pomoć matematičkih modela, automatizovanih šema komandovanja i digitalnih računara.

U skladu sa stvarnim potrebama korišćenja sistemske analize i raspoloživošću velikog broja modela i tehnika rada, kao i softvera koji se nudi na tržištu, ovde su date ocene nekih od ključnih grupa kompjuterizovanih matematičkih modela i tehnika sistemske analize i ukazano je na perspektive njihovog daljeg korišćenja u vodoprivrednoj i poljoprivrednoj teoriji i praksi.

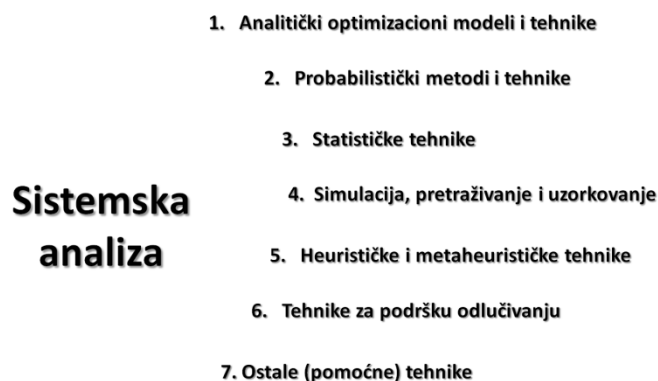
Tehnike sistemske analize

Savremeno modeliranje u okvirima sistemske analize zahteva solidne osnove iz matematike, poznavanje numeričkih tehnika i u određenoj meri znanje iz računarskog programiranja na nekom od proceduralnih ili objektno orijentisanih jezika (Srđević i Srđević, 2016). Pošto je zahvaljujući snažnim računarskim platformama početkom osamdesetih godina prošlog veka došlo do velikog napretka u obradi podataka razvojem koncepta baza podataka, u upotrebu su ušli softveri za projektovanje i upravljanje bazama (*Data Base Management Systems – DBMSs*), a u novije vreme se zahvaljujući Internetu formiraju brojna softverska okruženja, distribuirane klijent-server aplikacije, radi se na internet-platformama (npr. *cloud computing*) itd.

Novi standardi u modeliranju dinamičkih procesa i pojava u različitim sektorima i vrstama delatnosti praćeni su novim tehnikama i tehnologijama u računarskom okruženju na različitim hardverskim i softverskim platformama. Među računarski implementiranim modelima mogu se navesti neke od važnijih kategorija, npr.: sistemi za simulacije u realnom vremenu, virtuelne multi-agent aplikacije, heurističke procedure za rešavanje NP-teških problema, stohastički evolutivni pretraživači, ili algoritmi za rudarenje podataka (*Data mining*) kojima se inteligentno sortiraju, organizuju ili grupišu ogromne količine podataka i izvlače relevantne informacije za određene potrebe. Numerički postupci su usavršeni po načinu realizacije i tačnosti zahvaljujući preciznosti računara. Poznato je da se mašinska reč računara svakih 5-6 godina produžuje, da se brzine najbržih mašina mere penta-flopsovima (10^{15} operacija u pokretnom zarezu u sekundi), a paralelno procesiranje vrši se sa desetinama hiljada povezanih procesora.

Prema (Srđević i Srđević, 2016), "zahvaljujući navedenim činjenicama, sistemska analiza je moćna disciplina jer objedinjuje metode, metodologije i tehnologije iz različitih domena, podrazumeva interdisciplinarnost i ne ograničava se samo na analizu, već nudi i rešenja kroz postupke donošenja odluka u višekriterijumskim okruženjima, u individualnim i grupnim situacijama i pri pouzdanim i nepouzdanim informacijama. Numerika, iterativni postupci i približno računanje, suboptimizacija, kompromisna rešenja i brojni algoritmi sastavni su elementi sistemske analize".

Moguća klasifikacija modela i tehnika koji zajedno grade tzv. sistem-analički pristup problemima vodnih i poljoprivrednih resursa prikazana je na slici 1.



Slika 1. Tehnike sistemske analize
Figure 1. Techniques of System Analysis

Grupa 1 obuhvata optimizacione metode i tehnike. U osnovi se radi o primenjenim matematičkim tehnikama kao što su diferencijalni račun, integracija, matrični račun, razni algoritmi (deterministički i stohastički) itd. Ovdje spadaju i sve klase matematičkog programiranja (linearno, kvadratno, celobrojno), zatim posebno dinamičko, ciljno i geometrijsko programiranje, teorija upravljanja, teorija igara i donošenje odluka. Teorija mreža (CPM i PERT) i optimizacije zasnovane na mrežnim transformacijama tehničkih problema takođe su u ovoj grupi. Tipični primeri su problemi transporta u otvorenim i zatvorenim mrežama, sa gubicima i bez gubitaka, dinamički (adaptabilni) i stacionarni, deterministički i stohastički. Najveću popularnost u praksi imaju linearno (LP) i dinamičko (DP) programiranje. LP se najčešće primenjuje jer je relativno jednostavan koncept tretiranja uslova, ograničenja i ciljne funkcije – bez obzira da li se radi o 2D, 3D ili višedimenzionim (nD) linearnim prostorima. Drugi razlog je što postoje standardizovani softverski paketi koji prate sve velike računare, a postoje i Internet realizacije (npr. LINDO) i razni solveri koje nude brojni proizvođači softvera. Na primer, GAMS je sistem koji ima više komercijalnih/licencnih solvera (CPLEX, GUROBI, MOSEK i XPRESS), kao i više *open-source* solvera (npr. CBC). Jedna od dobrih LP platformi je

FrontlineSolvers koja sadrži bazni Excel solver, a proširenje je Premium Solver Platform koja rešava i znatno veće LP probleme (do 8.000 promenljivih što je 40 puta više od bazne Excel platforme). Proširenje ove platforme su solveri LSLP i pomenuti GUROBI, MOSEK i XPRESS, koji mogu da reše probleme sa praktično neograničenim brojem promenljivih i ograničenja. Takođe, navedeni solveri, uz standardne LP pakete, uspešno rešavaju i zadatke mešovitog celobrojnog programiranja (MIP) na hardverskim platformama personalnih računara sa 32- i 64-bitnim procesorima, naravno uz manje ili veće brzine računanja.

Dinamičko programiranje (DP) ima primene najviše u sekvencijalnom odlučivanju jer daje kompletan optimalni zakon upravljanja za zadate opsege ulaznih veličina, dakle, ne samo jedno (optimalno) rešenje za jednu sekvencu podataka procesa čije se upravljanje optimizira. DP je tehnika prilagođena dinamičkim pojavama, a postoje brojne verzije kao što su diskretno, diferencijalno, stohastičko, sukcesivne aproksimacije i druge.

Realne su procene da će teorija mreža, mrežno programiranje i pripadajuće tehnike imati dominantnu ulogu u delu primenjene systemske analize koja je posvećena valorizaciji favorit-alternativa (nakon što ove budu identifikovane nekim od drugih metoda), ispitivanju upravljačkih strategija i rešavanju alokacionih zadataka.

Probabilistički modeli i tehnike (**Grupa 2**) najčešće opisuju stohastičke elemente pojava, procesa i svojstava sistema preko odabranih statističkih parametara. Pored deskriptivnih modela stohastičkih procesa, u ovu grupu spada i teorija čekanja koja je po prirodi deskriptivna; ona ne proizvodi odluke, ali kao rezultat daje veličine kao što su, npr. srednje vrednosti ili varijanse vremena čekanja na preduzimanje upravljačkih akcija u sistemu. Kombinovanje modela čekanja može se vršiti sa optimizacionim modelima iz Grupe 1 i Grupe 4 o kojima će biti reči kasnije. Za analize tzv. kapacitivnih problema (npr., dimenzije kanala, zapremine retencionih bazena, zoniranje prostora veštačkih akumulacija) pogodne su neke tehnike iz domena teorije listi kao što su razna klasifikovanja, sortiranja i sl. S obzirom da su relativno jednostavni, probabilistički metodi su popularni i zahvaljujući implementacijama na PC platformama u širokoj su upotrebi samostalno ili u kombinaciji sa modelima iz drugih grupa.

Statističke tehnike (**Grupa 3**) omogućavaju sve vrste statističkih proračuna i omogućavaju složene multivarijabilne analize istorijskih sekvenci podataka, predviđanje i prognozu, a u brojnim primenama i statističko zaključivanje (*statistical infrencing*). Ovo su uglavnom deskriptivne tehnike kada se posmatra ceo proces planiranja u vodoprivredi. One to nisu u fazi izbora elemenata za analizu, skupova podataka, odlučivanja o nezavisnim i zavisnim veličinama (npr. kod multivarijabilnih regresija), ili estimacije stanja sistema na osnovu tehničkih rešenja sistema kao skupa prethodno odabranih nezavisnih promenljivih. Dosadašnje primene ovih tehnika beleže se u oblasti planiranja sistema, pre svega za opise i proučavanje hidroloških fenomena u rečnim slivovima (otociji, dotoci u akumulacije, protoci u rekama i kanalima i dr.). Aplikativni softver za statističke tehnike je u velikoj meri standardizovan (npr. STATISTICA).

Tehnike simulacije, pretraživanja i uzorkovanja (**Grupa 4**) su po karakteru deskriptivne. Simulacioni model sadrži kvantitativne relacije između promenljivih (za sistem ili pojavu) kojima se 'proizvodi' ishod, odnosno odziv (sistema ili pojave) na zadati skup ulaza, pobuda ili radnih uslova. Najveći broj ovakvih modela (sem pomenutih mešovitih simulaciono-optimizacionih modela) ne sadrži algoritam po kome se traži optimalno rešenje. Njihova pogodnost je u tome što, za razliku od optimizacionih, ne zahtevaju velika pojednostavljenja kod modeliranja realnih sistema i procesa u njima. Pošto je svrha modela da reprodukuje performansu sistema bez reprodukovanja samog sistema, simulacija se u suštini svodi na: (1) modeliranje sistema, tj. formulisanje matematičkih relacija (algebarske, diferencijalne ili integralne jednačine) i (2) eksperimentisanje, odnosno ispitivanje odziva sistema (odnosno modela) na različite ulaze. U kontekstu systemskog prilaza, simulacioni modeli su efikasni kada je moguće unapred ograničiti skup ulaza tako da se broj simulacija svede na prihvatljivu meru; u suprotnom, ekstenzivno korišćenje i snimanje krivih ili površina odziva može dovesti do značajnog produženja i povećanja troškova analiza.

Generalni nedostatak simulacionih modela je to što se najčešće moraju prilagođavati konkretnim uslovima primene, kakav je slučaj npr. kod modela za analizu geometrije i filtracionih svojstava hidrogeološke sredine (akvifera) i zatim simulaciju dinamike režima podzemnih voda. U poslednje dve decenije pojavili su se standardizovani simulacioni modeli za određivanje potreba biljnih kultura za vodom (na primer, CROPWAT, AQUACROP), analize stanja vlažnosti zemljišta, određivanje ekonomskih efekata navodnjavanja, procenu šteta od poplava, dimenzionisanje regionalnih sistema za vodosnabdevanje sa akumulacijama i alokiranje prostora akumulacija na različite namene; dobar pregled ovih modela može se naći u knjizi (Srđević i Srđević, 2016). Samostalno, ili u kombinaciji sa optimizacionim modelima, naročito u okvirima tzv. simulaciono-optimizacionih tehnika (+++ 2010; +++ 2012), simulacija je vodeća i nezaobilazna tehnika systemske analize u svim poslovima planiranja i

upravljanja vodnim resursima u vodoprivrednom i povezanim sektorima, pre svega poljoprivredi (Tanji and Kielen, 2002).

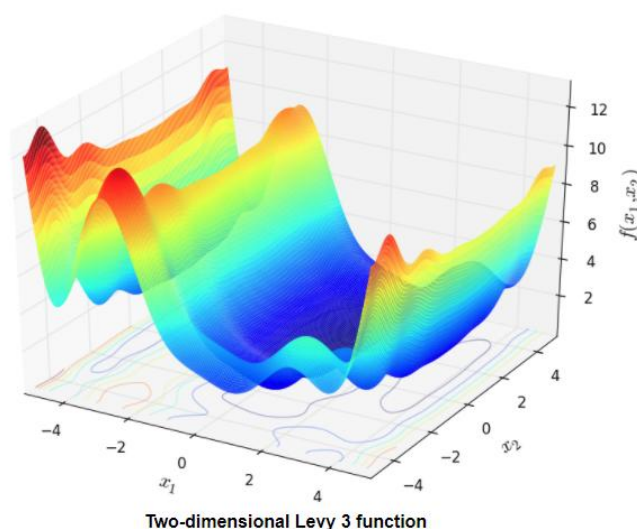
Grupa 5 obuhvata dve klase tehnika i algoritama: heurističke i metaheurističke. Heuristika se najčešće definiše kao 'pravilo od oka' (*rule of thumb*), a heurističke tehnike se realizuju kao problemski (dakle ne opšti) orijentisani algoritmi koji u iteracijama poboljšavaju uslove za nalaženje najboljeg rešenja. Rešenje nije nužno optimalno, nego je najčešće suboptimalno. Osnovni deo heuristike je da se problem pogodno modelira (enkriptuje) i prevede u diskretni domen i zatim rešava kao problem kombinatorne optimizacije. Na primer, traženje ekstrema multimodalne matematičke funkcije tipa kao na Slici 2 može se realizovati tako što se moguće vrednosti nezavisnih promenljivih kodiraju binarno i zatim se nad binarnim ekvivalentima sprovode operacije zamene pojedinačnih ili nizova bitova. Tako se iterativno generišu nova moguća rešenja i traži najbolje. Slika 2 je preuzeta sa Interneta i ovde prikazana kao ilustracija čitavog niza test-funkcija (videti, na primer, Adorio, 2005) koje su definisali poznati svetski matematičari. Na takvim funkcijama isprobava se kvalitet sistemskih heuristika i o tome izveštavaju zainteresovani istraživači i praktičari.

$$f_{\text{Levy03}}(\mathbf{x}) = \sin^2(\pi y_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] + (y_n - 1)^2$$

Where, in this exercise:

$$y_i = 1 + \frac{x_i - 1}{4}$$

Here, n represents the number of dimensions and $x_i \in [-10, 10]$ for $i = 1, \dots, n$.



Global optimum: $f(x_i) = 0$ for $x_i = 1$ for $i = 1, \dots, n$

Slika 2. Ilustracija dvodimenzionalne funkcije (Levy_3)

Izvor: http://infinity77.net/global_optimization/test_functions_nd_L.html

Figure 2. Illustration of Two-dimensional Levy 3 function

Ako se heuristika dobro odabere, ona najčešće relativno brzo otkriva dobra rešenja za teške probleme (Srđević i Srđević, 2016). Sa druge strane, metaheuristike kombinuju heuristike ili definišu obrazac (*pattern*) po kome će se upravljati grupom odabranih heuristika. Kada se više heuristika dobro kombinuje, traženje rešenja za dati problem se ubrzava, a rešenje je optimalno; ako je blisko optimalnom, obično je bliže optimalnom nego rešenje nađeno bilo kojom od upotrebljenih heuristika ako bi se takva heuristika koristila samostalno.

Među heuristikama posebno mesto zauzimaju tehnike pretraživanja ogromnih prostora mogućih rešenja za dati problem. Dobar primer je nalaženje upravljačke strategije za sistem površinskih akumulacija sa mogućim opsezima aktivnih prostora, mogućim kombinacijama prioriteta korisnika zalivnih sistema i opsezima zahteva za vodom na pojedinačnim parcelama navodnjavanja. Problem je sa praktično beskonačnim skupom mogućih rešenja čak i pri gruboj diskretizaciji svih veličina i ma kakav da je oblik ciljne funkcije koju treba optimizirati. U modelu problema su kao važne komponente

sadržane bilansne jednačine, dinamika rada kompletnog sistema, prognostika hidroloških i drugih ulaza, ekonomski parametri i sve to čini problem NP-teškim, odnosno nerešivim u realnom vremenu bilo kakvim softverom na bilo kom računaru. Heuristike tada stupaju na scenu i bez obzira koliko je problem konceptualan i sa kontinualnim veličinama, aproksimativni postupci i odabrana jedna ili više heuristika ga u konačnom enkriptovanju svode na diskretan problem i zatim 'napadaju' nekim od 'pametnih' stohastičkih algoritama. Procedura rešavanja se suštinski svodi na suboptimizaciju. Stohastičkim pretraživačem (npr. slučajno lutanje, dubinsko traženje, razučeno traženje, traženje na 'prvi dah' i dr.) ispituju se regioni mogućih rešenja, sužavaju se dimenzije regiona, 'skače' se u druge regione itd. Radi se po pravilu o inteligentnim postupcima, o kojima će biti reči nešto kasnije. Oni se isključivo realizuju kao softver sa mnogo programiranih rutina za generisanje uniformno raspodeljenih slučajnih brojeva, sečenje i mešanje nizova bitova ili drugačije kodiranih promenljivih, ad hoc generisanje novih mogućih rešenja u slučaju da procedura prebrzo konvergira ka nekom od *dead-lock* rešenja koja nisu ni bliska optimalnom (tzv. efekat 'zakucavanja' algoritma u neželjenom ishodu) itd.

U novije vreme su, zahvaljujući pre svega moćnoj računarskoj tehnologiji, veliku popularnost stekli brojni algoritmi inspirisani evolutivnim procesima u prirodi, pre svega procesima koje karakteriše preživljavanje i propagacija najboljih jedinki u populaciji, diversifikacija populacija, seksualno ukrštanje gena jedinki (hromozoma), mutacija i dr. Klasi inteligentnih metoda sistemske analize pripadaju genetički algoritmi (*Genetic Algorithms*), mravlje kolonije i sistemi (*Ant Colonies*), kolonije i sistemi pčela (*Bee Colonies*), kolonije čestica (*Particle Swarm*), kolonije kukavica (*Cockroaches Colonies*) i mnogi drugi (videti npr.: Dorigo et al, 1996; Goldberg, 1982; Drias and Yahi, 2005; Yang and Deb, 2010). O inteligentnim metodima se opširno izveštava u naučnoj literaturi i kontinuirano se radi na njihovom usavršavanju i primeni u svim oblastima, uključujući vodoprivredu i poljoprivredu.

Heuristike i metaheuristike u sistenskoj analizi za potrebe vodoprivrede i poljoprivrede treba koristiti kada su podaci nedovoljno egzaktni ili ih nema dovoljno, kada je realnost složena ali je moguće vršiti uprošćavanja (npr. prevoditi nelinearnosti u linearnosti u delovima i povezivanje istih), kada na raspolaganju nema pouzdanih i preciznih standardnih algoritama, kada je vreme računanja na računaru ekstremno dugo, kada treba povećati efikasnost procesa optimizacije, kada treba donositi brze odluke itd. Prednosti ovih sistemskih tehnika je intuitivnost i analogija sa znanjima iz drugih oblasti (npr. biologije), a naročito spektar mogućnosti da se modeliranje izvede na različite načine prema heuristici ili grupi heuristika o kojima analitičar već ima iskustvo iz ranijih primena. Veština programiranja omogućuje štednju računarskog vremena i memorije, a neretko rezultati programa nude višestruka prihvatljiva rešenja za vrlo komplikovane zadatke. Nedostaci Grupe 5 metoda i tehnika su da ne garantuju optimalno rešenje, u dinamičkim zadacima sekvencijalne odluke ne mogu uvek predvideti buduće posledice, a rešenja za izolovane probleme nije uvek jednostavno objediniti (kuplovati) u rešenje za celoviti problem.

Grupa 6 ubuhvata metode i tehnike kojim se podržavaju procesi odlučivanja. I ovde se mogu identifikovati dve klase: (1) višekriterijumska analiza i optimizacija (*multicriteria analysis and optimization – MCA i MCO*) i (2) društvena teorija izbora (*social choice theory – SCT*). U prvoj klasi su metodi i algoritmi koji tretiraju probleme sa više kriterijuma i alternativa, a procesi odlučivanja realizuju se kao individualni, u podgrupama i kao grupni. U zavisnosti od postavke zadatka odlučivanja i naročito definicije globalnog cilja, razlikuju se jednostavniji metodi rešavanja poznatiji kao nekompenzacioni (npr. dominacija, maks-min, maks-maks, konjuktivni i disjunktivni), odnosno složeniji, poznati kao kompenzacioni (npr. korisnost, konsenzus, kompromis). Ako se odlučuje u grupi, individualne odluke se mogu matematički objedinjavati na različite načine o čemu je opširno pisano u brojnim radovima (Dong et al, 2010; Srđević et al, 2013; Blagojević i Srđević, 2013; Cai et al, 2004; Srđević i Srđević, 2013) i ovde se neće posebno obrazlagati.

U klasi SCT modela odlučivanja su glasačke tehnike karakteristične za izborne procese sa mnogo učesnika, npr. u asocijacijama korisnika sistema za navodnjavanje, vodnim komitetima rečnih slivova, asocijacijama farmera itd. Postoje preferencijalni i ne-preferencijalni modeli izbora koje zajedno karakteriše to da se u kontekstu sistemske analize mnogostruki kriterijumi a priori sintetizuju tako da jedinka odlučivanja (glasač) u suštini ne iskazuje eksplicitno težine pojedinačnih kriterijuma (koje ima u vidu dok glasa) kao kod MCA i MCO modela. Primene SCT modela se sve više koriste u vodoprivrednom i poljoprivrednom odlučivanju, pojedinačno i u kombinaciji.

Pomoćne tehnike (**Grupa 7**) su dopuna prethodno navedenih grupa. Generalno posmatrano, tehnike iz grupa 1-6 su dovoljne za tretiranje problema planiranja i upravljanja u vodoprivredi i poljoprivredi, ali često nisu dovoljne za međusektorske probleme, naročito za kompleksne situacije sa višestrukim interesima i konfliktima zahteva korisnika vode ili poljoprivrednih proizvoda i usluga. Tehnike iz Grupe 7 često služe za povezivanje rezultata i interpretaciju rezultata sistemske analize u kontekstu socijalnih, ekonomskih ili političkih pitanja i odnosa koji su kao preference društva (regiona, korisnika voda i sl.) najčešće ugrađeni u delovanje i odlučivanje nosilaca odlučivanja. Formalni

mehanizmi kojima se kod razmatranja planskih ili upravljačkih alternativa može uspostaviti ravnoteža između antagonističkih viđenja, interesa i prioriteta nosilaca odlučivanja realizuju se na razne načine. Na primer, analize listi sa merodavnim podacima participanata u odlučivanju sprovode se direktnim ukrštanjem podataka, primenom agregacionih metoda i statističkom inferencom (zaključivanjem). Pomoćne tehnike su pogodne u situacijama kada su ciljevi i interesi višestruki i konfliktni i kada sistem ima mnogostruke ulaze, izlaze i koordinate stanja. Njihov razvoj, naročito teorije igara, cost-benefit teorije, proistekao je uglavnom u vezi sa realnim zadacima izrazito planerskog i upravljačkog karaktera u ekonomiji (tržište, tokovi resursa, strateške i taktičke koalicije, konkurencija i borba za prevlast), vojnoj tehnologiji i sistemu komandovanja, elektroenergetici i nekim drugim oblastima.

Tehnike iz svih sedam opisanih grupa se iz mnogo razloga u novije vreme navode kao komponente moderne teorije upravljanja (Srđević i Srđević, 2016).

Zaključci

Sve tehnike u grupama 1-7 u manjoj ili većoj meri su od interesa za vodoprivredu i poljoprivredu Srbije, odnosno organizacione i tehničko-tehnološke celine, sisteme i podsisteme u zemlji. U delu poslova koji se odnose na planiranje i upravljanje vodama uopšte i posebno za potrebe poljoprivrede, raspoloživost navedenih tehnika je zadovoljavajuća jer: (1) ima dovoljno obučeni naučnih i stručnih kadrova, naročito u vodoprivrednim i naučno-istraživačkim institucijama i na univerzitetima; (2) ima dovoljno računara za obuku, testiranje i implementaciju tehnika planiranja i upravljanja; i (3) već instalirani softver zadovoljava svetske standarde, bez obzira da li se radi o softveru razvijenom u Srbiji ili nabavljenom u inostranstvu; praktično sve što je u ovoj oblasti komercijalno raspoloživo i kvalitetno na svetskom tržištu softvera, već je instalirano na računarima u zemlji.

U radu je dat pregled samo osnovnih grupa tehnika koje koristi savremena sistemska analiza u svim oblastima, ovde sa fokusom na vodoprivredu i poljoprivredu. Ukazano je na osnovna svojstva sistemskih tehnika i posebno na njihovu funkcionalnost u poslovima planiranja i upravljanja resursima, naročito sa stanovišta implementacije i korišćenja na savremenim računarima. U svim aspektima sistemskog pristupa, analize i interpretacije rezultata primenjenih tehnika, nezaobilazno je da u pozadini direktno ili indirektno stoje: Internet, hardversko-sofverska okruženja u vidu sistema za podršku odlučivanju, GIS tehnologija (Tahmasebi et al., 2014, Blagojevic et al., 2016) i rad sa bazama podataka na svim nivoima distribucije i strukturno-funkcionalne organizacije.

Zahvalnica

Ovaj pregledni rad u manjem delu sadrži i rezultate istraživanja na naučnom projektu OI 174003: Teorija i primena Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) za višekriterijumsko odlučivanje u uslovima rizika i neizvesnosti (individualni i grupni kontekst), koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- Adorio, E.P., 2005. MVF - Multivariate Test Functions Library in C for Unconstrained Global Optimization. Technical Report, 56 pages, Department of Mathematics, University of Phillipines, Diliman.
- Blagojevic B., Srđević B., 2013. Grupno odlučivanje u vodoprivredi po različitim preferentnim metodima, *Vodoprivreda* 45: 139-146.
- Blagojević, B., Srđević, B., Srđević, Z., Lakićević, M., 2012. Allocation of budget funds on agricultural loan programs: consensus decision making in the provincial fund for agricultural development of Vojvodina province. *Industrija* 40(3): 57-70.
- Blagojević, B., Srđević, Z., Bezdan, A., Srđević, B., 2016. Group decision making in land evaluation for irrigation: A Case study from Serbia, *Journal of Hydroinformatics* 18 (3): 579-598.
- Cai X., Lasdon L., Michelsen A.M., 2004. Group decision making in water resources planning using multiple objective analysis. *Water Resources Planning and Management* 130(1): 4-14.
- Dong, Y., Zhang, G., Hong, W.C., Xu, Y. 2010. Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. *Decision Support Systems* 49: 281-289.
- Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A., 1996. The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* B 6: 29-41.
- Dou C., Woldt W., Bogardi I., Dahab M., 1995. Steady state groundwater flow simulation with imprecise parameters. *Water Resources Research* 31(11): 2709-2720.
- Drias H. S. S., Yahi S., 2005. Cooperative bees swarm for solving the maximum weighted satisfiability problem, In *Computational Intelligence and Bioinspired Systems (3512/2005) of LNCS*: 318-325n.
- Goldberg D. E., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley.

- Rogers P.P., Fiering M.B., 1986. Use of Systems Analysis in Water Management, *Water Resources Research* 22(9S):1465-1585.
- Simonović S., 1985. Mogućnosti primene sistemske analize u navodnjavanju i odvodnjavanju, *Vode Vojvodine* 1985. Novi Sad.
- Simonović S., 2008. Managing water resources: methods and tools for a systems approach, *Vodoprivreda* 40: 157-165.
- Srđević B., Srđević Z., 2016. *Vodoprivredna sistemska analiza sa primenama u menadžmentu vodnih resursa*, Knjiga, 321 str., Poljoprivredni Fakultet, Univerzitet u Novom Sad, Novi Sad.
- Srdjevic, B., Srdjevic, Z., Blagojevic, B., Suvocarev, K. 2013. A two-phase algorithm for consensus building in AHP-group decision making. *Applied Mathematical Modelling* 37: 6670–6682.
- Srdjevic B., Srdjevic Z., 2013. Synthesis of individual best local priority vectors in AHP-group decision making, *Applied Soft Computing* 13: 2045-2056,
- Srđević B., 1988. Potrebe i mogućnosti savremenog planiranja i upravljanja vodama u agrokomplesku primenom računara. Zbornik radova 2. naučno-stručnog skupa, industrijski sistemi u agrokomplesku – ISA'88, Dubrovnik.
- Tahmasebi, E., Jalali, M., Gharehghashlo, M., Nicknamfar, M., & Bahmanpour, H., 2014. Urban park site selection at local scale by using geographic information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP). *Eur J Ex Biol* 4(3): 357-365.
- Talbi E., 2009. *Metaheuristics: From Design to Implementation*, John Willey and Sons.
- Tanji K.K., Kielen N. C., 2002. *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas*, FAO irrigation and drainage paper 61, Rome.
- Yang X.-S., Deb S., 2010. Engineering Optimisation by Cuckoo Search, *Mathematical and Numerical Optimisation* 1(4): 330–343.
- Yeh W.W.-G., 1985. Reservoir Management and Operations Models: A-State-of-the-Art Review, *Water Resources Research* 21(12): 1797-1818.
- +++ , 2010. Unapređenje regionalnog hidrosistema Nadela prema evropskim standardima sa participativnim modelom odlučivanja o višenamenskoj eksploataciji sistema (II faza), Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2010.
- +++ , 2012. Izrada participativnog modela odlučivanja o višekorisničkoj eksploataciji vodnih resursa slivnog područja reke Krivaja (III faza), Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.

Systems analysis models and techniques for water resources and agricultural management

Bojan Srđević^{a*}

^aUniversity of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management, Novi Sad, Serbia

*Corresponding author: bojans@polj.uns.ac.rs

ABSTRACT

A review of models and techniques used by modern systems analysis is presented respecting their applicability in water resources and agricultural planning and management. Classification is offered respecting basic characteristics and usability in real-life situations. Brief description of specific groups of models/techniques, which explore capabilities of powerful computer and communication technology, is given.

KEY WORDS

Systems analysis, models, techniques, water resources, agriculture, review

Primljen: 09.10.2017.

Prihvaćen: 14.12.2017.