

## POKAZATELJI EFIKASNOSTI RADA KOMPLEKSNIH DRENAŽNIH SISTEMA

Mile BOŽIĆ  
Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd

### REZIME

Rizik od prevlađivanja poljoprivrednog zemljišta podzemnim vodama je u manjoj ili većoj meri zastupljen na gotovo svim poljoprivrednim površinama. Poznavanje režima podzemnih voda predstavlja osnov za izbor i primenu tehnički ispravnih i ekonomski opravdanih rešenja u oblasti upravljanja režimom podzemnih voda. Rad drenažnog sistema, kao i efekti projektovanih mera za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, mogu se simulirati primenom odgovarajućih matematičkih modela. Na osnovu navedenih simulacija se prate pokazatelji učinka drenažnog sistema, što je prikazano u ovom radu na primeru kompleksnog drenažnog sistema na poljoprivrednom području Pančevačkog rita (srednja razmera), u periodu od 1987. do 2014. godine. Utvrđeno je da je za postojeće stanje izgrađenosti vodoprivredne infrastrukture i zadate konturne uslove, u zavisnosti od načina upravljanja, moguće značajno smanjiti obim ugroženih površina. Promena načina upravljanja sistemom za odvodnjavanje može da dovede do poboljšanja funkcionisanja sistema za skoro 40%.

**Ključne reči:** kompleksni drenažni sistemi, Pančevački rit, pokazatelji efikasnosti, procena učinka

### 1. UVOD

Postoje različite definicije za procenu učinka sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje, a sublimirano procena učinka je „metodologija za istraživanje, uz korišćenje ograničenog broja pokazatelja, stepena radne eksploatacije instaliranih sistema“, odnosno obuhvata ono što istraživači procene učinka smatraju njegovim najznačajnijim osobinama. Definisanjem performansi drenažnih sistema, stvaraju se uslovi za njihovo međusobno upoređivanje. Svrha procena učinka je da se proceni funkcionisanje sistema u odnosu na postavljene standarde, korišćenjem usvojenih pokazatelja. Uopšte

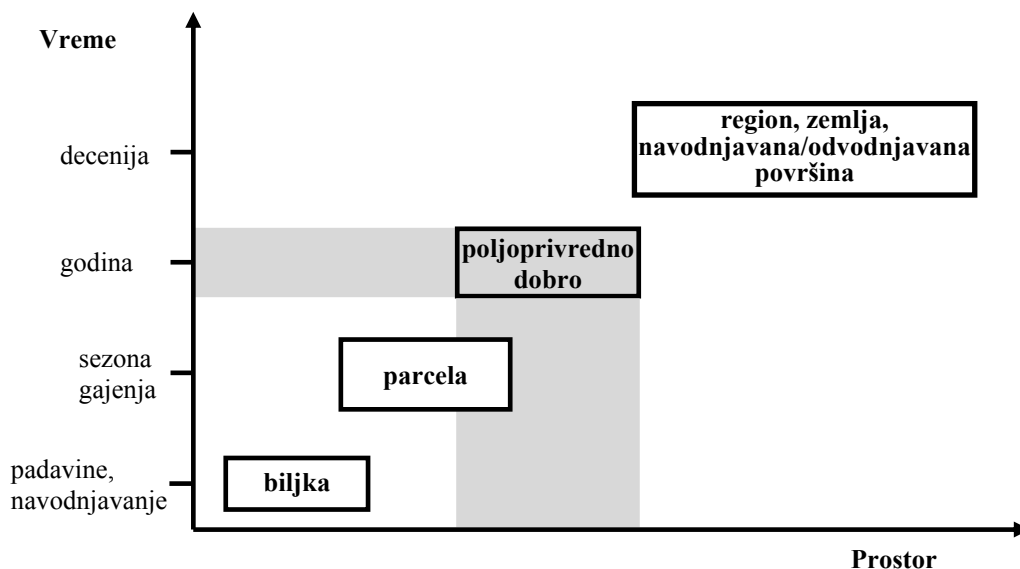
uzev, procene učinka su interne u sistemu, dok se definisanjem performansi (ocene kvaliteta rada) drenažnih sistema stvaraju uslovi za eksterno upoređivanje sa nekim drugim sistemom. Stoga je to korak dalje u nizu procena koje se vrše u toku trajanja vodoprivrednog sistema: od planiranja, projektovanja, izgradnje, funkcionisanja, upravljanja i održavanja. Procene učinka su korak više od monitoringa drenažnih sistema. Odnos kontrole kvaliteta prema ovim aktivnostima je u razlici između tehničkih, operativnih i strateških ciljeva i/ili osnovnih principa. U osnovi, sve aktivnosti procene do benčmarkinga su interno orijentisane. Benčmarking ima za cilj korišćenje istih podataka za procenu učinka koji su na raspolaganju eksterno, tako da je moguće upoređivanje između sistema.

U zemljama sa tradicijom izgradnje i korišćenja drenažnih sistema i gde su poljoprivrednici investitori drenaže, monitoring drenažnih sistema je dovoljan za procenu njihovog rada. U zemljama kod kojih su drenažni sistemi izgrađeni poslednjih decenija, procene učinka drenažnih sistema, generalno, još nisu ni počele. U ovim zemljama, u saradnji sa finansijskim institucijama, odlučuje se o ulaganju u drenažu. U takvim uslovima, jasna je potreba da se proceni značaj investiranja nakon nekoliko godina. Za ovo su potrebni pokazatelji koji se često razlikuju od onih koji su potrebni poljoprivrednicima i stručnjacima u oblasti drenaže.

Dosadašnje aktivnosti na procenama učinka drenažnih sistema, bile su usmerene na učinak podzemne cevne drenaže, bez zalaženja u sisteme sa površinskom drenažom i sisteme za kontrolu poplava. Učinak drenažnih sistema je rezultat nekoliko procesa koji se događaju u različitim prostornim i vremenskim razmerama (Grafikon 1).

U malim razmerama (biljka - parcela) biofizički procesi preovlađuju. U srednjim razmerama (polja, poljoprivredno dobro) tehnički aspekti preovlađuju, dok u većim razmerama preovlađuju društveno-ekonomski i

politički aspekti. U ovom radu učinak drenažnih sistema je razmatran na poljoprivrednom području Pančevačkog rita (srednja razmera), u periodu od 1987. do 2014. godine.



Grafikon 1. Prostorne i vremenske razmere kod procena učinka drenažnih sistema (prema Vincent et al., 2007)

## 2. POKAZATELJI PROCENE UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA

Pokazatelji učinka nastaju spajanjem više parametara, dok kriterijumi predstavljaju vrednosti pokazatelja koji se koriste za klasifikovanje vrednosti pokazatelja u prihvatljive i neprihvatljive raspone. Procena učinka nije definisanje pokazatelja, već preporuka kriterijuma sa odgovarajućim ciljnim nivoima i rasponima, čije su vrednosti u funkciji meteoroloških, hidroloških, pedoloških i drugih relevantnih prirodnih karakteristika analiziranog područja.

Pokazatelj može da bude sačinjen od većeg broja parametara (Bos et al., 1993), pri čemu parametar predstavlja promenljivu vrednost izmerenu u određenom trenutku, dok je pokazatelj izračunata ili izmerena promenljiva vrednost u vremenu. Pokazatelji su zasnovani na empirijski izmerenim, statistički ispitanim veličinama onog dela sistemskog procesa koji se opisuje, pri čemu neslaganja između empirijske i teorijske osnove treba da budu jasna. Da bi se omogućilo upoređivanje studija procene učinka na internacionalnom nivou, pokazatelji treba da budu slično formatirani (Vincent et al., 2007; Bos i Nugteren,

1990; ICID, 1978; Wolters, 1992). Podaci koji su potrebni da bi se pokazatelj mogao kvantifikovati, treba da budu dostupni, da se mogu izmeriti odgovarajućom tehnikom. Takođe, pokazatelj se vezuje za kriterijum, njegove ciljne vrednosti i dopuštena odstupanja, a može da opisuje jednu specifičnu aktivnost ili skup ili promenu u grupi osnovnih aktivnosti. Poželjno je da pokazatelji daju informaciju o stvarnoj aktivnosti u odnosu na određenu ciljnu vrednost. Pokazatelj može da bude direktan i/ili indirektan (Smedema i Vlotman, 1996). Poželjno je da direktni pokazatelj bude funkcija jednog parametra, ali on treba da u potpunosti opisuje kriterijum koji je odabran za taj određeni osnovni princip, nezavisno od drugih pokazatelja (npr. kontrola nivoa podzemne vode se može pripisati drenažnom sistemu, mada na njega utiču padavine i/ili infiltracija od reka, odnosno od navodnjavanja). Direktni pokazatelji su obično operativni pokazatelji, dok su strateški pokazatelji obično indirektni pokazatelji. Kod upravljanja, poželjno je da pokazatelji učinka, budu tehnički izvodljivi, i da je njihova upotreba jednostavna za zaposlene u vodoprivrednim organizacijama (u skladu sa njihovom tehničkom opremljenošću, nivoom znanja i interesom).

## 2.1 Tehnički pokazatelji

Mogući princip sagledavanja pokazatelja efikasnosti drenažnih sistema i njihovo svrstavanje u tehničke i strateške, kao i njihovo grupisanje u direktne, prelazne i indirektne dali su Vincent et al. (2007), a oni najčešće korišćeni su posebno naznačeni u Tabeli 1. Pokazatelji vezani za dubinu zaleganja podzemnih voda (Bos et al., 1994; Bos, 1997) su: relativno trajanje zaleganja nivoa podzemne vode koje je iznad zahtevanog (ovaj

pokazatelj bi se u sistemima za odvodnjavanje mogao smatrati osnovnim), brzina sniženja nivoa podzemne vode (prikazuje reakciju sistema za odvodnjavanje koja se meri vremenom koje je potrebno da se nivo podzemne vode, nakon intenzivnih padavina ili navodnjavanja, vrati na nivo pre povećanja), stepen sniženja nivoa podzemne vode (odnos prosečne dubine zaleganja pre i posle izgradnje sistema za odvodnjavanje).

Tabela 1. Potencijalni pokazatelji za procenu učinka drenaže (prema Vincent et al., 2007.)

	Tehnički/operativni	Strateški
Direktni	*Nivo podzemne vode u funkciji vremena *Brzina snižavanja nivoa podzemne vode *Dubina nivoa podzemne vode u funkciji površine *Q-h dijagrami *Nivo vode u kanalima	*Učestalost žalbi
Prelazni	Relativna dubina nivoa podzemne vode (ICID) Odnos jediničnog proticaja prema projektovanom Q/h odnos Protok drenažnog sistema kao funkcija vremena Intenzitet drenaže	Zbijenost tla (zemljišta)
Indirektni	Izračunati koeficijent filtracije u poređenju sa projektnim Gubitak pritiska tokom vremena Potreban razmak drenažnih cevi u poređenju sa projektnim razmakom Ulazni otpor Relativna promena kvaliteta drenažne vode u kolektoru tokom vremena Zamuljenje cevi, revizionih šaftova Odnos nadpritiska u kolektorima Starost drenažnog sistema Odnos projektnog proticaja prema stvarnom proticaju tokom vremena Promene u odnosima pritisak-proticaj *Promene u Maning-Striklerovom koeficijentu Odnos kretanja vode u korenovoj zoni	Održivost drenažnog područja (prilagođen ICID za područje koje može i da se navodnjava) Učestalost, nivo i troškovi održavanja Kontrola obraslosti (zakorovljenosti) Intenzitet kontrole sedimentacije Starost objekata i učestalost održavanja *Relativna promena zaslanjenosti zemljišta *Zaslanjenost zemljišta tokom vremena Relativna promena alkalnosti zemljišta (SAR ili ESP) Alkalnost zemljišta (SAR ili ESP) tokom vremena *Prinos tokom vremena *Relativna promena prinosa Status zemljišta pod usevima *Promenljivost useva Neto dobit poljoprivrednog dobra Neto sadašnja vrednost Odnos koristi i troška Interna stopa prinosa Korist za poljoprivrednike Nova radna mesta Izvodljivost
<i>Napomena: * najčešće korišćeni pokazatelji</i>		

Za utvrđivanje karakteristika oscilovanja podzemne vode u funkciji vremena, zahtevaju se osmatranja u pijezometrima ili bunarima u dužem vremenskom periodu (poželjna su 2-3 puna hidrološka ciklusa). Ovaj pokazatelj je najkorisniji kod primarnih istraživanja procene učinka i smatra se glavnim i direktnim pokazateljem, budući da je relativno nezavisan od drugih pokazatelja i da sam može da omogućiti ocenu funkcionisanja ili efikasnosti drenažnog sistema. Kriterijum predstavlja prekoračivanje prethodno određenog nivoa, tokom određenog vremena. Kako bi se izbeglo izdizanje podzemne vode, dubina nivoa podzemne vode ne bi trebalo da bude plića od 0,6 m više od 3 do 5 dana nakon navodnjavanja ili padavina. Zona rizosfere obično doseže do 0,6 – 0,8 m ispod površine zemljišta, a nivo podzemne vode koji je 0,6 m ispod površine zemljišta tokom 3 dana ne predstavlja problem za useve.

Redovno održavanje drenažnih kanala, vremenski i po obimu radova, je od velikog značaja za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima. Rast vegetacije i zamuljenje utiču na hidrauličke karakteristike sistema. Najčešća posledica toga je da dolazi do izdizanja nivoa vode u kanalima, što dovodi do potapanja izliva drenažnih cevi, ili još gore do izolacije drenažnih sisavaca, kanala nižeg reda. Osmatranje nivoa podzemnih voda u okviru drenažnih sistema ključni pokazatelj rada istih.

Grupa pokazatelja vezanih za količinu drenirane vode i površinu koja se odvodnjava su: stepen dreniranosti sistema (odnos površine koja je pod sistemom za odvodnjavanje i ukupne poljoprivredne površine), prosečna godišnja zapremina drenirane vode po jedinici površine (količina vode koja se sistemom za odvodnjavanje prikupi i transportuje u recipijent izražene u  $m^3/ha$ ), specifičan instalisani kapacitet sistema (ovaj pokazatelj predstavlja hidromodul sistema, izražen u  $Ls^{-1}ha^{-1}$ , odnos između instalisanog kapaciteta sistema i površine koja se odvodnjava).

Indirektni tehnički pokazatelji u upotrebi su Maning-Striklerov koeficijent, Q-h dijagrami, status useva, i vodno-soni režim zemljišta. Izdvaja se Maning-Striklerov koeficijent kao pouzdani pokazatelj rada drenažnih kanala, s obzirom da se u slučaju obraslosti kanala vegetacijom, povećava hrapavost kosina, pri čemu se Maning-Striklerov koeficijent smanjuje. Dubina vode u kanalu se značajno povećava sa smanjenjem Maning-Striklerovog koeficijenta sa 33 (novi zemljani kanal) na 5 (kanal sa velikom količinom

vegetacije) (Vincent et al., 2007). Uz Maning-Striklerov koeficijent 15, nivo vode se povećava za 50%, uz Maning-Striklerov koeficijent 10, nivo vode se povećava za 80%, uz Maning-Striklerov koeficijent 5, nivo vode se povećava za 150% u odnosu na novi zemljani kanal. Upotreba Q-h dijagrama je uobičajena, iako je u velikom broju slučajeva tumačenje podataka složeno. U uslovima ujednačenih padavina ili navodnjavanja, ovaj pokazatelj će ukazati na to da li sistem funkcioniše prema projektnim očekivanjima, dok u uslovima neujednačenih padavina (navodnjavanja) doneti zaključci nisu dovoljno pouzdani. Status useva, koji se obično izražava kroz prinos, je najbolje merilo kod procene učinka drenažnih sistema. Veličina prinosa je u funkciji različitih parametara, zavisno od razvojne faze useva, tako da prinos nije nužno povezan sa parametrom koji se razmatra. Vodno – soni režim zemljišta u aridnim i semiaridnim navodnjavanjima područjima je u funkciji poljoprivredne proizvodnje, sistema za navodnjavanje, kao i drenažnog sistema, ako postoji. Prostorna i vremenska distribucija električne provodljivosti zemljišnog rastvora može da ukaže na to da li je u pitanju neadekvatno funkcionisanje drenažnog sistema, ili se ne primenjuju dovoljne količine vode za ispiranje soli ako se primenjuje navodnjavanje.

U velikom broju slučajeva ocene učinka drenažnih sistema pokazatelji nisu nezavisni, već su povezani sa drugim pokazateljima, koji su najčešće reprezentativni opaženih trendova ili relativnih promena. Pri odabiru pogodnog pokazatelja, potrebno je definisati cilj ili osnovni princip za procenu učinka.

## 2.2 Ekonomski pokazatelji

U slučaju ekonomskih i finansijskih pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema, treba razlikovati pokazatelje koji se odnose na ocenu rada postojećih sistema i pokazatelje koji se odnose na ocenu opravdanosti ulaganja u sisteme za odvodnjavanje, što bi za posledicu svakako imalo poboljšanje tehničkih pokazatelja, ali bi recimo zahtevalo povećanje naknade za odvodnjavanje.

Za procenu rada sistema za odvodnjavanje jedan od osnovnih ekonomskih pokazatelja je ekonomska naknada za odvodnjavanje. Ekonomsku naknadu treba razlikovati od stvarne naknade za odvodnjavanje koju zaista plaćaju korisnici sistema, koja često ne mora imati realnu ekonomsku vrednost. Ekonomskom naknadom za odvodnjavanje su obuhvaćeni svi operativni troškovi rada sistema, čijim se

diskontovanjem i izjednačavanjem sa prihodom od naknade za odvodnjavanje dobija stvarna ekonomska vrednost.

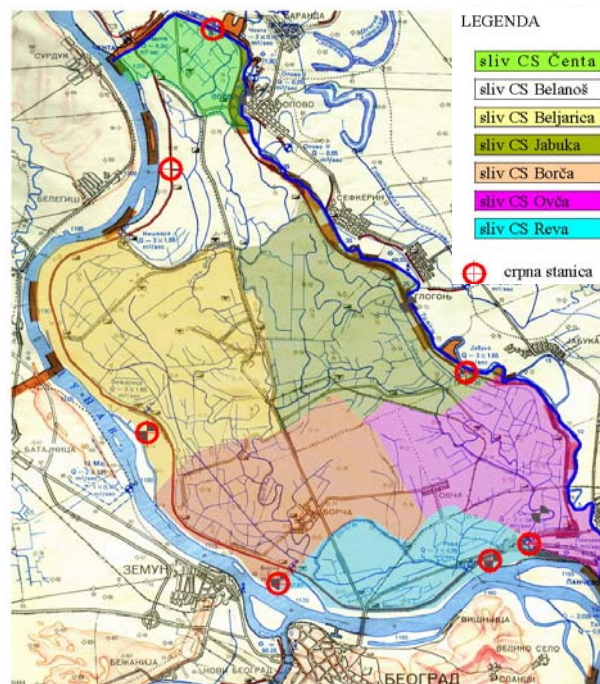
Ekonomski pokazatelji za procenu opravdanosti ulaganja u sistem za odvodnjavanje su presudni pri donošenju odluke o gradnji novih ili rekonstrukciji postojećih drenažnih sistema. Izgradnja drenažnih sistema na poljoprivrednom području zahteva značajna investiciona ulaganja koja zavise od površine sistema, vrste i broja objekata, ostalih pratećih mera i radova. U zavisnosti od veličine sistema i iznosa raspoloživih finansijskih sredstava planirani objekti i radovi izvode se fazno. Zbog toga je značajno utvrditi vreme i redosled izgradnje pojedinih faza. Analiza pokazatelja ekonomske efikasnosti drenažnih sistema obuhvata tri koraka: *i.* projektovanje neto-primanja na drenažnom sistemu, *ii.* proračun ekonomskih pokazatelja neto sadašnja vrednost projekta (NSW), interna stopa prinosa (ISP), odnos korist troškovi (B/C), i relativna neto-sadašnja vrednost (RNSV) za svaku godinu funkcionisanja sistema, i *iii.* projektovanje finansijskog toka novca.

### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1 Ogledno područje - Pančevački rit

Poljoprivredno područje Pančevački rit (Slika 1), za koje su određeni tehnički i ekonomski pokazatelji procene učinka drenažnih sistema, predstavlja aluvijalnu ravan Dunava i Tamiša, okruženu odbrambenim nasipima pored vodotoka Dunava (52,6 km), Tamiša (32 km) i Karašca (5,4 km). Kote terena Pančevačkog rita se kreću između 69,5 mnm na jugu do 74,5 mnm na severu, sa izraženim mikoreljevnim oblicima, nastalim od starih tokova Dunava i Tamiša. Povoljne karakteristike zemljišta i pogodnost za poljoprivrednu proizvodnju uslovili su još 1913. godine pokretanje akcije za zaštitu ovih površina od visokih nivoa voda obodnih reka, kojima su često bile plavljene. U toku 1929. g. započela je izgradnja odbrambenog nasipa, sistema kanalske mreže, crpnih stanica i pratećih objekata. Dalja rekonstrukcija i izgradnja novih drenažnih kanala vršena je pri izgradnji HEPS „Đerdap I“, u okviru kompleksnog rešenja zaštite od uspora. U cilju odvođenja suvišnih voda, čitavo područje Rita je kanalskom mrežom podeljeno na 7 slivova, koji nose nazive crpnih stanica kojima se voda izbacuje sa područja (Slika 1). Ukupna dužina svih nasipa iznosi oko 90 km, a kanalske mreže 816 km, što čini gustinu kanalsanosti od oko 25,0 m/ha. Na slivnom području

crpnih stanica Borča, Beljarica, Belanoš, Jabuka i Čenta – nova izvedena je i horizontalna cevna drenaža na ukupnoj površini od 6.140 ha. Evakuacija suvišnih voda se ostvaruje preko 7 crpnih stanica ukupnog instalisanog kapaciteta 35,8 m<sup>3</sup>/s.



Slika 1. Pančevački rit sa obeleženim slivnim područjima crpnih stanica

Područje Pančevačkog rita je u potpunosti okruženo Dunavom, Tamišem i Karašcem. Njihovi međusobni uticaji su veoma izraženi, te čine da je režim tečenja u zoni Pančevačkog rita veoma složen. Izgradnjom brane HE „Đerdap I“, vodostaji su povećani i praktično celom dužinom oboda Pančevačkog rita nivoi vode u vodotocima su uglavnom viši, a samo izuzetno, i to u kratkim intervalima vremena, niži od najnižih kota priobalnog terena. Ovakav odnos vodostaja i terena u Pančevačkom ritu uslovljava praktično neprekidnu infiltraciju voda iz spoljnih vodotoka u branjeno područje, dok prirodnog dreniranja podzemnih voda iz Rita u vodotoke praktično nema.

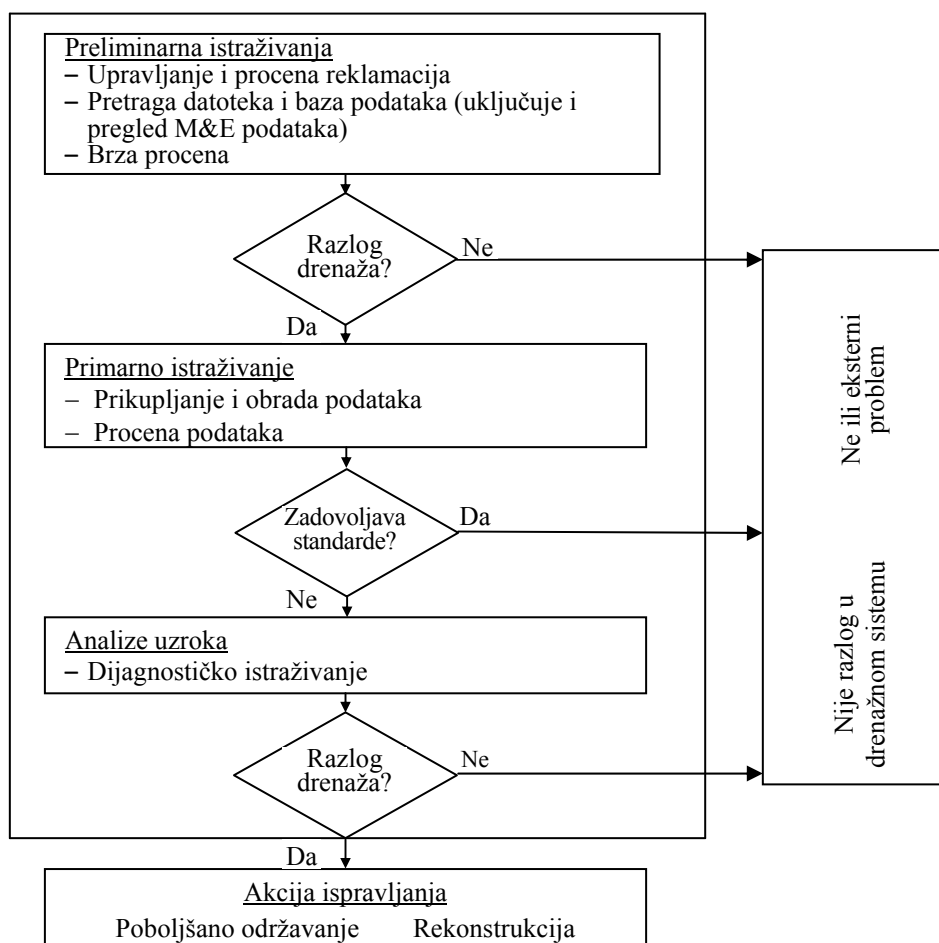
#### 3.2 Program procene učinka

Standardne procedure procene učinka uključuju nekoliko koraka u nizu (Smedema et al., 2004). Svaki naredni korak se preduzima samo kada se kod prethodnog koraka potvrdi njegova neophodnost.

Proces procene učinka može da se završi nakon svakog koraka, odnosno ne mora da se primene svi koraci ili da se obave po naznačenom redu (Grafikon 2). Za svaki naredni korak je potrebna nova grupa pokazatelja, pri čemu pokazatelji postaju sve detaljniji i više specifični.

Preliminarna istraživanja predstavljaju prvi korak i obuhvataju aktivnosti koje se odnose uglavnom na prikupljanje podataka i kritičku analizu (Grafikon 2). Pretrage baze podataka se odnose na analizu tehničke

dokumentacije i razmatrane investicije, sa osvrtom na vreme izrade projekta, primenjenu tehnologiju (materijali i metode izgradnje); primenjenu kontrolu kvaliteta; ugovornu dokumentaciju i druge relevantne pokazatelje koji su značajni pojedinačno ili u kombinaciji sa drugim pokazateljima. Brza procena u okviru ovog koraka se vrši kratkim kontrolnim geodetskim snimanjima na terenu radi procene drenažnih uslova. U toku prvog koraka procenjuje se potreba za sledećim korakom.



Grafikon 2. Standardne procedure procene učinka (prema Smedema et al., 2004)

Primarna istraživanja iziskuju značajan rad na terenu i preduzimaju se samo kada su preliminarna istraživanja potvrdila da postoje problemi prevlaživanja i/ili zaslanjivanja zemljišta na području ili na značajnom delu područja i da su ovi problemi najverovatnije posledica lošeg rada drenažnih sistema. U ovom koraku, ova pretpostavka se potvrđuje ili odbacuje

prikupljanjem i analizom podataka o režimu voda i zemljišta, kao što su dubina nivoa podzemnih voda, kvalitet podzemnih voda, fizičke i hemijske karakteristike zemljišta i drugo, i njihovim upoređivanjem sa prihvaćenim standardima za dobar učinak. Moguće je da primarna istraživanja pokažu da ne postoji stvarno prevlaživanje ni salinizacija na

području ili da uslovi koji preovlađuju na terenu ne potiču od lošeg funkcionisanja drenažnih sistema. U ovom slučaju zapaženi problemi se na odgovarajući način prijavljuju, a procena učinka drenažnog sistema se obustavlja.

Treći korak se preduzima kada primarna istraživanja potvrde da učinak izgrađenog drenažnog sistema ne odgovara očekivanim standardima. Zadatak je da se utvrdi uzrok (uzroci) slabijeg učinka sistema. Jasno je da se procene učinka drenaže baziraju na tehničkim principima. U svetlu benčmarkinga i definisanja procene učinka koji su usmereni na radne karakteristike drenažnog sistema, očigledno je da proces treba da bude višedisciplinarni i da mu se pristupa sistematično u vodoprivrednoj organizaciji.

U ovom radu su prikazani rezultati dugogodišnjih istraživanja, koji su prema koracima navedene metodologije, svrstani u tri potpoglavlja. Procena podataka/stanja i analize uzroka prekomernog vlaženja, bez obzira na postojanje drenažnog sistema, su izvršene ispitivanjem efekata mera za upravljanje režimom podzemnih voda na kalibrisanom i verifikovanom matematičkom modelu. Za analizu strujanja podzemnih voda korišćen je licencirani komercijalni softver za matematičku simulaciju USGS MODFLOW (McDonald i Harbaugh, 1988). Za unos podataka i interpretaciju rezultata proračuna korišćen je interfejs Groundwater Vistas v.3 (Rumbaugh i Rumbaugh, 1996).

#### 4. REZULTATI I DISKUSIJA

Na formiranje režima podzemnih voda na poljoprivrednim područjima utiču mnogobrojni prirodni i antropogeni faktori. Među prirodnim faktorima najznačajniju ulogu imaju prirodni režim voda u okolnim vodotocima, padavine, infiltracija vode, evapotranspiracija, dotok vode iz dubljih arteskkih horizonata i drugi parametri bilansa, čija je uloga od sekundarnog značaja ili se pak oseća na manjim lokalitetima. Najznačajniji antropogeni faktori su odvodnjavanje i sistemi za eksploataciju podzemnih voda za potrebe industrije i naselja. Pored ovoga, određeni uticaj na režim podzemnih voda imaju i sistemi za navodnjavanje. Vodotoci koji okružuju ili su blizu uz poljoprivredno područje, čiji je režim voda izmenjen izgradnjom objekata, mogu imati dominantan

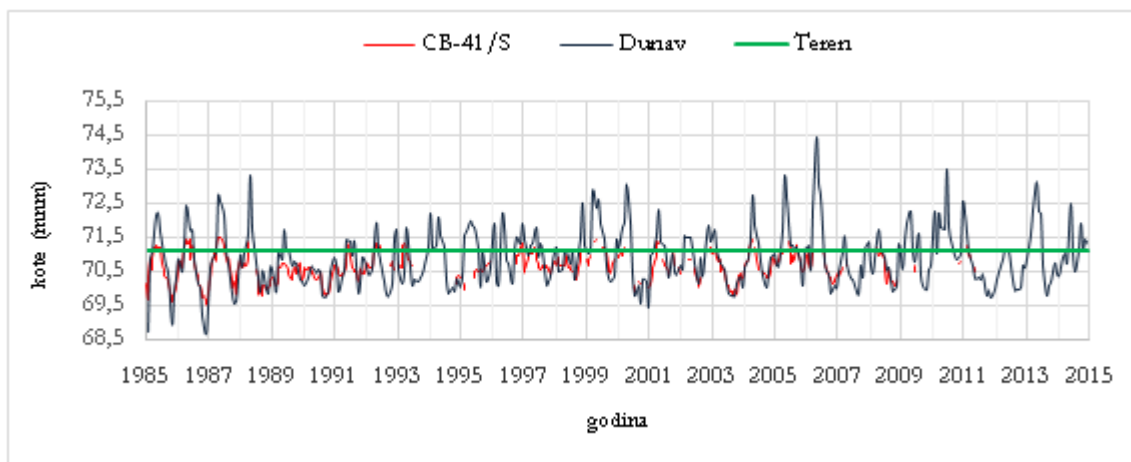
uticaj na režim površinskih i podzemnih voda na poljoprivrednom području. U takvim slučajevima je režim podzemnih voda veoma složen i nalazi se pod uticajem doticaja, odnosno oticaja ka spoljnim vodama.

##### 4.1 Tehnički pokazatelji efikasnosti rada drenažnih sistema

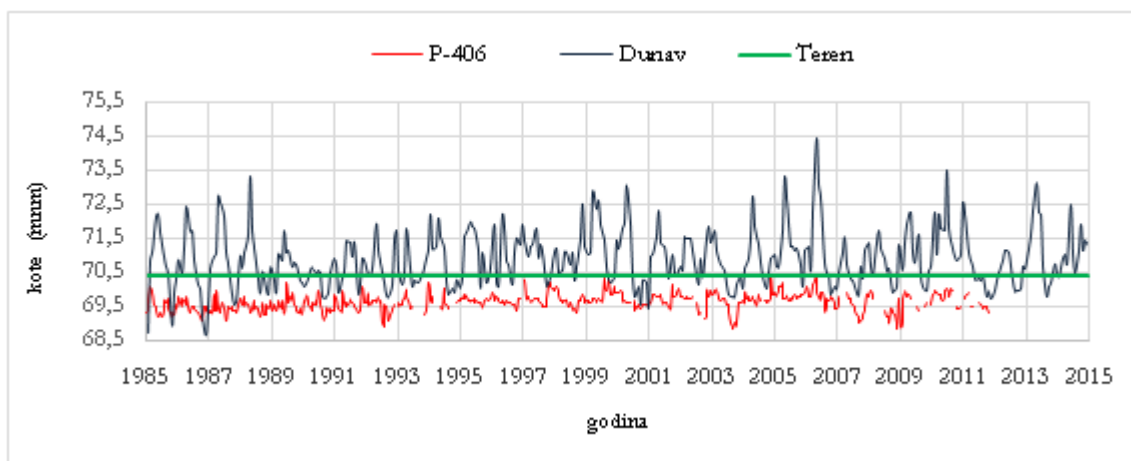
Na tehničkom nivou, direktni pokazatelji kao što su promene nivoa podzemne vode u funkciji vremena i po prostoru, uglavnom su dovoljni za procenu učinka i efikasnosti rada drenažnih sistema. Režim podzemnih voda Pančevačkog rita pokazuje vremenske oscilacije i prostornu neujednačenost. Analize nivoa podzemnih voda pokazuju da, generalno posmatrano, nivoi dostižu maksimalne kote u periodu mart – maj. U tim periodima, podzemna voda se javlja na dubinama manjim od 0,5 m na znatnim površinama Pančevačkog rita. Istovremeno, na nižim površinama podzemne vode izbijaju na površinu terena. U periodu avgust – oktobar, podzemne vode ugrožavaju manje površine u lokalnim depresijama unutar područja i na delovima bliže naseljima pored Dunava i Tamiša.

Karakter oscilacija je promenljiv u prostoru. Na delovima Rita neposredno uz vodotok (teren iza nasipa), oscilacije pokazuju da nivoi podzemnih voda generalno prate oscilaciju reke. Ovo je izraženo praktično po celom obodnom delu. U fazi visokih vodostaja reka, kakve su poplavne godine, podzemna voda se nalazi na površini terena (Grafikon 3).

Unutar područja, dalje od reka, karakter oscilacija podzemnih voda se menja. Jače izražene oscilacije nivoa podzemnih voda prisutne su na delu Rita istočno od puta Beograd – Zrenjanin, gde padavine ostvaruju značajan uticaj na režim podzemnih voda s obzirom da je kanalska mreža proređena, a znatnim delom i zamuljena. U zapadnom delu Pančevačkog rita (piježometar P-406; Grafikon 4), nivoi podzemnih voda imaju amortizovane oscilacije, koje su posledica uticaja funkcionisanja sistema za odvodnjavanje, s obzirom na gustu sekundarnu kanalsku mrežu. Navedena konstatacija važi i za užu zonu područja oko starog rukavca Dunavca, u severnom delu Pančevačkog rita. Na ovim područjima nivoi podzemnih voda ne pokazuju nagle promene, iako generalno prate pojavu padavina i promenu spoljnih vodostaja.



Grafikon 3. Registrovani nivoi podzemnih voda u „obodnim“ pijeziometrima



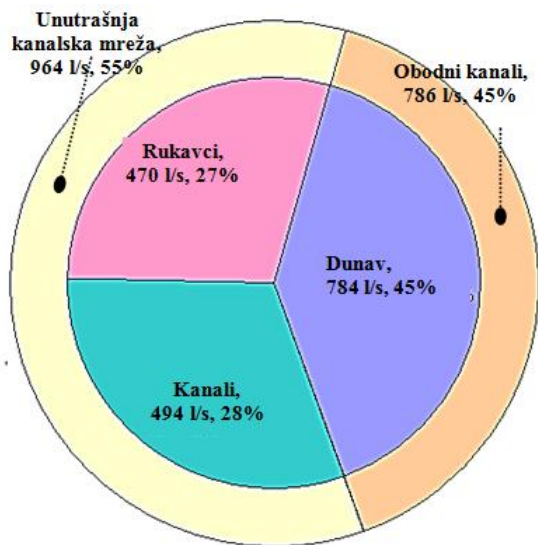
Grafikon 4. Registrovani nivoi podzemnih voda u pijeziometrima unutar područja

#### 4.2 Analiza uticaja pojedinih faktora na efikasnost sistema za odvodnjavanje

Analiza uticaja pojedinih faktora na efikasnost sistema za odvodnjavanje, ne može se ni zamisliti bez numeričkog modeliranja dinamike podzemnih voda. Primena matematičkog modela je u ovom radu predviđena zbog njegove nezamenljive sposobnosti da relativno lako integriše i kvantifikuje pojedinačne uticaje različitih parametara na inače komplikovan sistem podzemnih voda izučavane izdani (Božić, 2010). Za proučavanje analize uticaja odgovarajućih faktora korišćen je verifikovan model podzemnih voda Pančevačkog rita (Božić, 2010; Božić et al., 2010; Božić et al., 2014). Režim podzemnih voda u priobalnoj

zoni u Pančevačkom ritu je pod dominantnim uticajem reka, dok je u središnjem delu značajan uticaj parametara vertikalnog vodnog bilansa. Osim toga, na režim podzemnih voda imaju uticaja i glavni drenažni kanali, sekundarna drenažna mreža, kao i crpne stanice koje diktiraju generalne nivoe podzemnih voda preko održanih vodostaja u kanalskoj mreži. S obzirom da je Rit posmatran kao jedno slivno područje, što on faktički i jeste usled povezanosti slivova, analogijom su u okviru verifikacije matematičkog modela posmatrane i količine prepumpanih voda sumarno, za sve crpne stanice sa područja (Grafikon 5). Ukupno ugrožene poljoprivredne površine, sa nivoima podzemnih voda plićim od 1,00 m, iznose 8.259 ha (Božić et al., 2010).





Grafikon 5. Sumarne količine prepumpane vode

#### 4.3 Analiza efikasnosti rada drenažnog sistema za različite scenarije upravljanja

Analiza efikasnosti rada drenažnog sistema za različite scenarije upravljanja, primenom odgovarajućih tehničkih mera, sprovedena je kroz seriju hidrodinamičkih proračuna korišćenjem kalibrisanog i verifikovanog matematičkog modela. Osnovni kriterijum za analizu efikasnosti drenažnog sistema za zaštitu Pančevačkog rita od podzemnih voda je namena, odnosno način korišćenja prostora, koji sačinjava 25.051 ha poljoprivrednog zemljišta i 2.399 ha urbanih površina. Usvojeni kriterijumi su da nivo podzemnih voda 10% verovatnoće pojave bude na dubini većoj od 1 m za poljoprivredne površine, i 2 m za urbane sredine.

Uvažavajući postavljene zahteve, kriterijume i ograničenja, projektovana su i izvedena odgovarajuća tehnička rešenja. Rešenja su gradirana od onih koja u prvim fazama realizacije daju određene rezultate uz minimalna ulaganja, pa sve do tehničkih rešenja kojima se ostvaruje kompletno i kompleksno uređenje voda na području Rita. Svi proračuni su izvedeni sa vremenskim proračunskim korakom od mesec dana, za vremenski period od 1987. do 2014. godine. Sprovedenim proračunima su određena stanja za slučajevne dubine zaleganja podzemnih voda verovatnoće pojave 10% (generalno se koristi pri dimenzionisanju drenažnih sistema). Efikasnost sistema za odvodnjavanje na

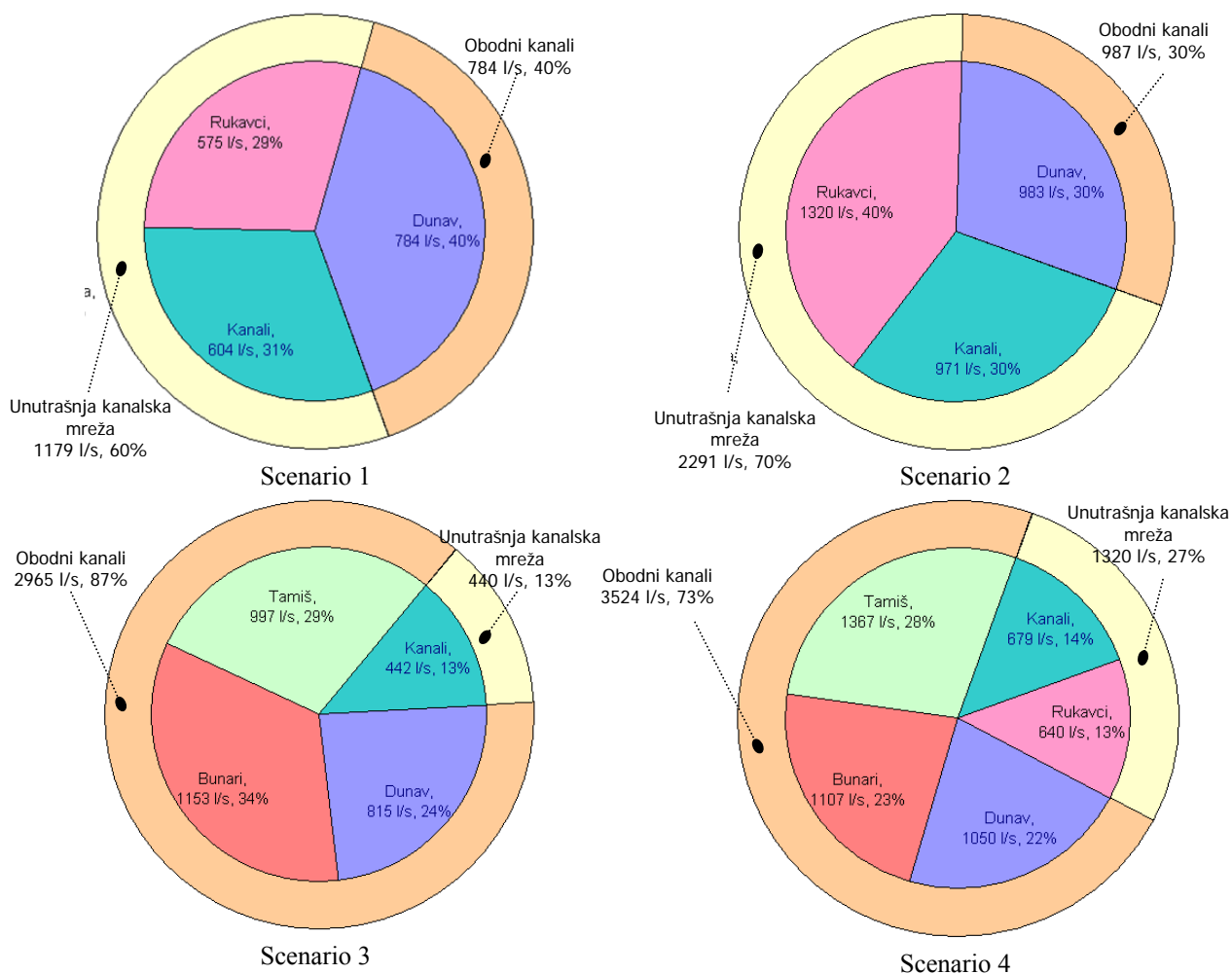
području Pančevačkog rita sagledavana je u funkciji sledećih parametara:

1. vodostaja u vodotokovima koji okružuju Rit,
2. izgrađenosti drenažnih linija i režima voda u njima, neposredno uz nasip, i
3. režima voda u meliorativnim kanalima.

Scenario 1 ispituje funkciju razdvajanja slivnih površina zatvaranjem ustava. U okviru ovog scenarija ubačena je drenažna linija na sektoru uz Dunav, od kanala Karaš do CS Borča, kao i kanali prema postojećim projektima (gabaritno i dispoziciono), a nivoi u kanalima ispred crpnih bazena su zadati kao u sadašnjim uslovima rada crpnih stanica. Prema uslovima iz scenarija 1, podzemne vode verovatnoće pojave 10% i dubine zaleganja do 1 m od površine terena ugrožavaju 5.307 ha, odnosno 19,4% Rita, što je za 36% manje ugroženih površina u odnosu na postojeće stanje (Slika 2).

Scenario 2 ispituje situaciju u kojoj je postojeća drenažna linija na sektoru uz Dunav, od kanala Karaš do CS Borča, kanalska mreža prema postojećim projektima (dispoziciono), a nivoi u kanalima ispred crpnih bazena spuštenu za 0,5 m. Spuštanjem nivoa vode u kanalima kod crpnih stanica za 0,5 m (na sredinu projektovanog radnog režima) od ukupnog povećanja prepumpanih voda (1,53 m<sup>3</sup>/s), u odnosu na postojeće stanje, 87% otpada na vode unutrašnje kanalske mreže (Grafikon 6). Prema uslovima iz scenarija 2, podzemne vode verovatnoće pojave 10% i dubine zaleganja do 1 m od površine terena ugrožavaju 3.322 ha (Slika 2), odnosno 12,1% Rita, što je za 60% manje ugroženih površina u odnosu na postojeće stanje, odnosno 37,5% manje ugroženih površina u odnosu na scenario 1.

Scenario 3 pretpostavlja izgrađenu drenažnu liniju oko Rita, a na delu CS Borča - CS Reva drenažnu zavesu dopunjenu vertikalnim bunarima, kanalsku mrežu prema postojećim projektima (gabaritno i dispoziciono), a nivoi u kanalima ispred crpnih bazena kao u sadašnjim uslovima rada crpnih stanica. Kompletiranjem drenažne linije oko Rita, ukupno povećanje prepumpanih voda (1,65 m<sup>3</sup>/s) otpada na vode iz obodnih kanala (Grafikon 6). Prema uslovima iz scenarija 3, podzemne vode verovatnoće pojave 10% i dubine zaleganja do 1 m od površine terena ugrožavaju 4.025 ha (Slika 2), odnosno 14,7% Rita, što je za 51,3% manje ugroženih površina u odnosu na postojeće stanje.



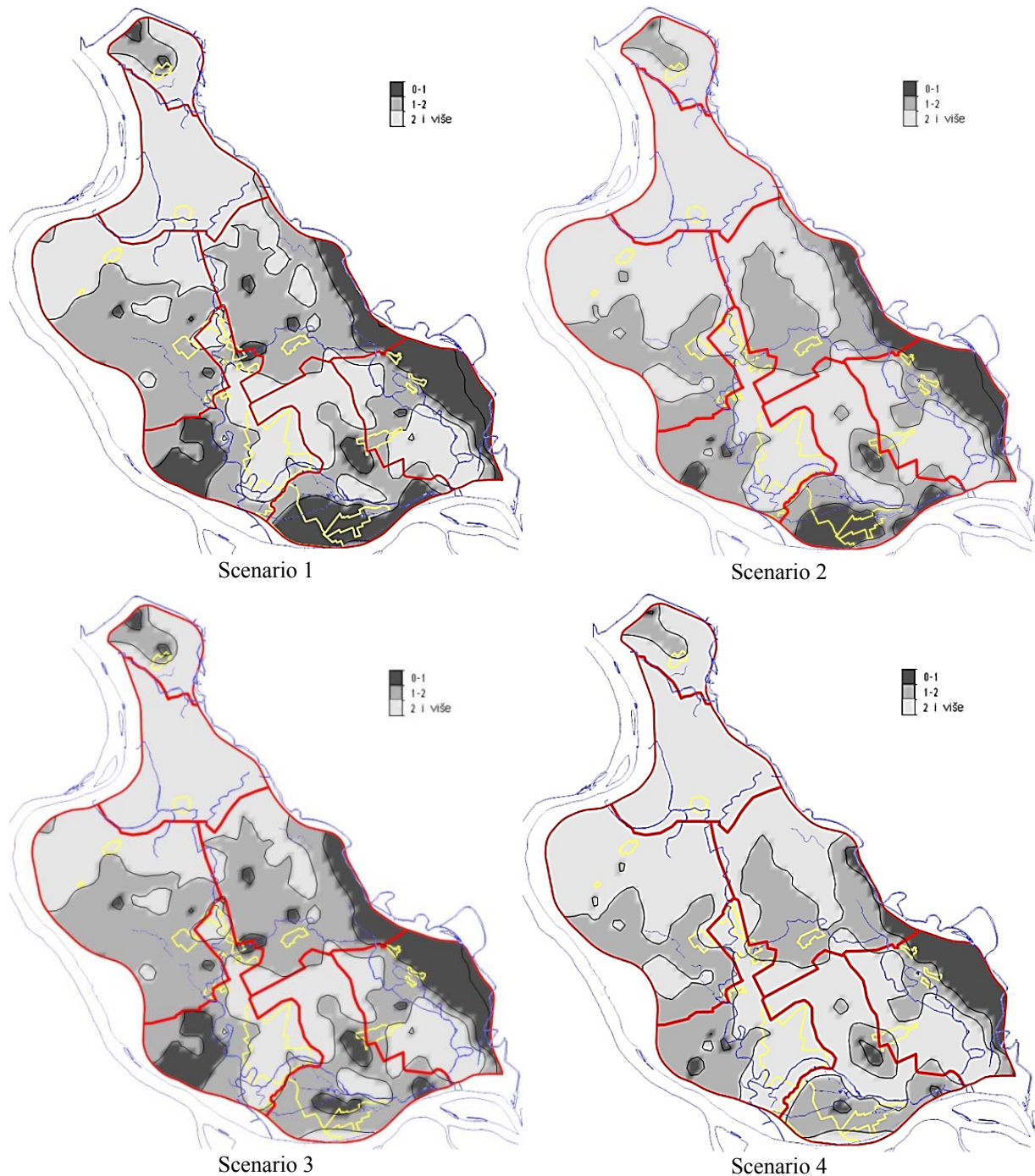
Grafikon 6. Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode za različite scenarije

Scenario 4 podrazumeva izgrađenu kompletnu drenažnu liniju oko Rita, a na delu CS Borča - CS Reva drenažnu zavesu dopunjenu vertikalnim bunarima, kanalsku mrežu prema postojećim projektima (dispozicijom), a niveo u kanalima ispred crpnih bazena spuštene za 0,5 m. Spuštanjem nivoa vode u kanalima kod crpnih stanica za 0,5 m (na sredinu projektovanog radnog režima) i kompletiranjem drenažne linije oko Rita, prepumpane vode su povećane 2,7 puta u odnosu na postojeće stanje (Grafikon 6). Prema uslovima scenarija 4, podzemne vode verovatnoće pojave 10% i dubine zaleganja do 1 m od površine terena ugrožavaju 1.895

ha (Slika 2), odnosno 7% Rita što je za 77,1% manje ugroženih površina u odnosu na postojeće stanje.

U cilju sagledavanja efikasnosti sistema za odvodnjavanje prikazani su i rezultati hidrodinamičkih proračuna podzemnih voda Pančevačkog rita za karakteristične mesece:

- april 2006. godine, velike spoljne vode (Dunav, VS Pančevo 75,10 mnm, Q=14.800 m<sup>3</sup>/s)
- maj 2014. godine, velike unutrašnje vode (suma padavina tri puta veća od višegodišnjeg proseka za maj mesec).



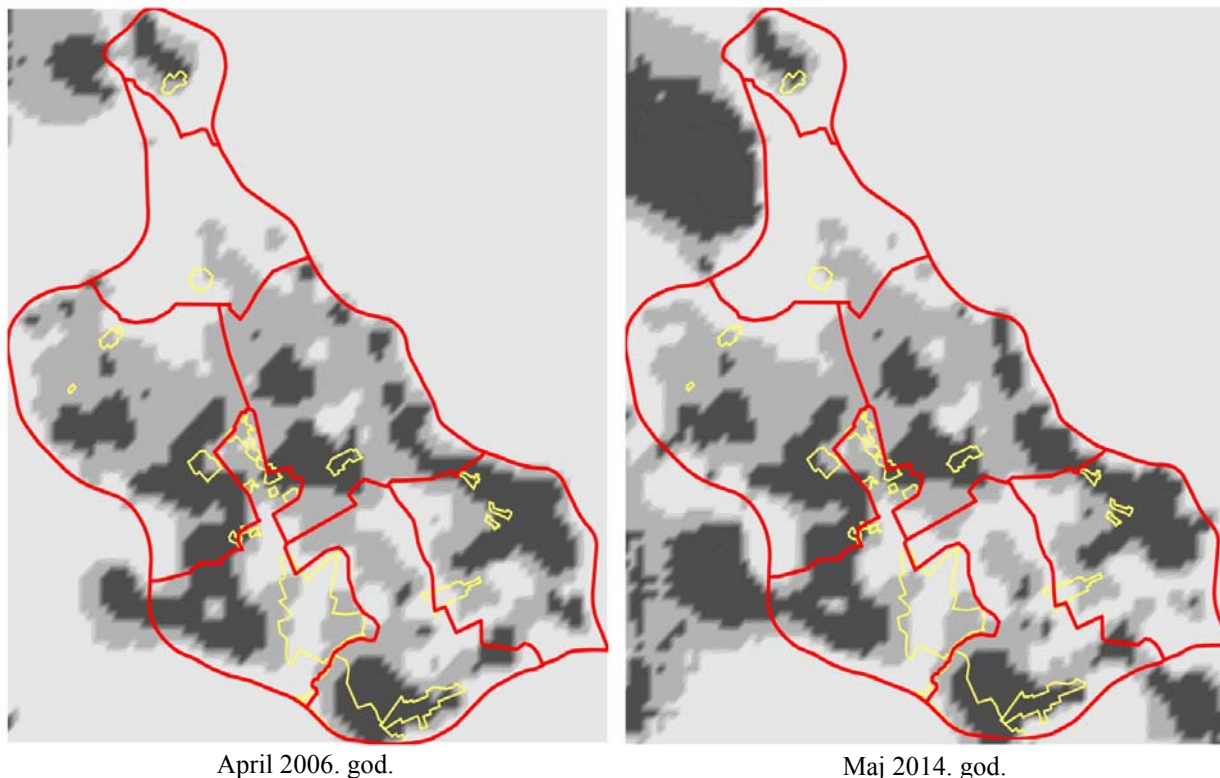
Slika 2. Zaleganje nivoa podzemne vode verovatnoće pojave 10% za različite scenarije

Sagledani su efekti rada drenažnog sistema u aprilu 2006. godine, a Rit je posmatran kao jedno slivno područje, sa postojećom vodoprivrednom infrastruktu-

rom i režimom rada, vodostaj Dunava iz aprila 2006., a padavine izmerene na MS Beograd. Ugrožene poljoprivredne površine, sa nivoima podzemnih voda

plićim od 1 m, iznose 9.240 ha (Slika 3). Ukupno prepumpane vode iz Rita 7,50 m<sup>3</sup>/s. Situacija u maju 2014. godine je sagledavana po istom principu, postojeća infrastruktura i režim rada i odgovarajuća

merjenja vodostaja i padavina. Ugrožene poljoprivredne površine u maju 2014. su iznosile 9.100 ha (Slika 3). Ukupno prepumpane vode iz Rita 5,60 m<sup>3</sup>/s.



Slika 3. Zaleganje nivoa podzemnih voda

Analizom pojedinih karakterističnih faktora (ugrožene poljoprivredne površine, ukupno prepumpane količine vode, vode iz obodnih i iz unutrašnjih kanala), po različitim scenarijima izgradnje i upravljanja drenažnim sistemom (Tabela 2) izvedeno je nekoliko zaključaka.

Tabela 2. Sumarni prikaz funkcionisanja sistema po scenarijima

Scenarij	Ukupno prepumpane vode (m <sup>3</sup> /s)	Vode iz obodnih kanala (m <sup>3</sup> /s)	Vode iz unutrašnjih kanala (m <sup>3</sup> /s)	Ugrožene polj. površine (ha)
Sc0	1,75	0,79	0,96	8259
Sc1	1,96	0,78	1,18	5307
Sc2	3,28	0,99	2,29	3322
Sc3	3,40	2,96	0,44	4025
Sc4	4,84	3,52	1,32	1895

Razdvajanje slivova je neophodan prvi korak u upravljanju drenažnim sistemom (Sc1), pa se za slične količine evakuisane vode, ugrožene poljoprivredne površine smanjuju za više od jedne trećine (36%), a hidromodul odvodnjavanja je povećan za 11%. Preduzimanjem upravljačkog koraka (Sc2), odnosno spuštanjem radnih nivoa kod crpnih stanica u sredinu projektovanog režima rada, smanjenje ugroženih površina je za 37% u odnosu na Sc1, pri čemu je u ukupno prepumpanim količinama vode dominantno povećanje unutrašnjih voda (od ukupnog povećanja 1,320 m<sup>3</sup>/s na unutrašnje vode otpada 1,112 m<sup>3</sup>/s), dok je povećanje hidromodula za 68%. Uvođenjem u funkciju komplet obodne drenažne linije, odnosno kompletne zaštite poljoprivrednog područja od spoljnih voda (Sc3), ukupno prepumpana količina vode se povećava 1,73 puta u odnosu na Sc1, ugrožene površine se smanjuju za 24%, a hidromodul je veći za 74%. Kada

se uz uvođenje u funkciju komplet obodne linije radni nivo kod crpnih stanica spusti za 0,5 m (Sc4) ugrožene površine se svode na 36% u odnosu na Sc1, prepumpana količina vode se uvećava 2,5 puta (dominantna komponenta u evakuisanim vodama su vode iz obodnih kanala, čije je povećanje 4,5 puta). Za kompleksno uređenje poljoprivrednih površina potrebna je horizontalna cevna drenaža.

Sagledavajući efikasnost drenažnog sistema u Pančevačkom ritu, u uslovima velikih spoljnih voda (april 2006., Dunav, VS Pančevo 75,10 mnm,  $Q = 14.800 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i u uslovima velikih unutrašnjih voda (maj 2014., suma mesečnih padavina tri puta veća od višegodišnjeg proseka za mesec maj) uočava se sličan obim ugroženih poljoprivrednih površina podzemnim vodama do 1 m dubine (9.240 ha, odnosno 9.100 ha), pri čemu je u aprilu 2006. iz Rita evakuisano 34% više vode nego u maju 2014. godine.

## 5. ZAKLJUČAK

Za različite vodostaje reke Dunav, kao graničnog uslova, postoji indirektna zavisnost količina prepumpanih voda i ugroženih površina, što utiče na troškove pumpanja. Polazeći od rezultata merenja i osmatranja na terenu, izvršeni su hidrodinamički proračuni kretanja podzemnih voda, čiji rezultati su omogućili sagledavanje efikasnosti rada drenažnih sistema u Pančevačkom ritu. Utvrđeno je da je za postojeće stanje izgrađenosti vodoprivredne infrastrukture i zadate konturne uslove, u zavisnosti od načina upravljanja, moguće značajno smanjiti obim ugroženih površina. Promena načina upravljanja sistemom za odvodnjavanje može da dovede do poboljšanja funkcionisanja sistema za skoro 40%. Za potpunu zaštitu potrebno je kompleksno uređenje poljoprivrednih površina koje podrazumeva izgradnju horizontalne cevne drenaže.

Rezultate istraživanja iz ovog rada moguće je primeniti za procenu učinka i na drugim sistemima, pri čemu treba uzeti u obzir sve specifičnosti i obeležja Rita. Pristup koji je primenjen u istraživanju vodi ka boljem i sistematičnijem načinu upravljanja režimom podzemnih voda na područjima koja imaju neuređen vodni režim. Takođe, ovaj pristup može da se koristi da bi se dobili tačniji projektni parametri za uređenje režima podzemnih voda na poljoprivrednim područjima. Prikazana metodologija za procenu učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima doprinosi unapređenju

upravljanja vodnim resursima na različitim nivoima odlučivanja.

## ZAHVALNICA

Rad je delimično finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, projekat TR 37005.

## LITERATURA

- [1] Bos MG, Abdel-Dayem S, Abdel-Rahman Attia F. 1994. Assessing Performance of Irrigation and Drainage Performance: Examples from Egypt. In Proceedings of 8th IWARA World Congress on Water Resources, November 1994, Cairo, Egypt, Vol.1, T4-S1, p. 6.1-6.18.
- [2] Bos MG, Murray-Rust DH, Merrey DJ, Johnson HG, Snellen WB. 1993. Methodologies for Assessing Performance of Irrigation and Drainage Management. Irrigation and Drainage Systems 7(4): 231-261.
- [3] Bos MG, Nugteren J. 1990. On irrigation efficiencies. 4th edition. Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI Publication 19.
- [4] Bos MG. 1997. Performance Indicators for Irrigation and Drainage. Irrigation and Drainage Systems 11(2): 119-137.
- [5] Božić M, Nikolić G, Milošev D, Rudić Ž, Tomović S. 2014. Assessment of Groundwater Management Using Modflow and Benefit-Cost Analysis. Irrigation and Drainage 63(4): 550-557.
- [6] Božić M, Nikolić G, Milošev D. 2010. Water management as a basis of sustainable development of Pančevački Rit. U zborniku: Regional IWAYWP Conference: Balkans Regional Young Water Professionals Conference, 29-30 April 2010, Beograd, Srbija, p. 18-24.
- [7] Božić M. 2010. Upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, Magistarski rad. Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- [8] ICID. 1978. Standards for the calculation of irrigation efficiencies. International Commission

- on Irrigation and Drainage (ICID) Bulletin 27(1): 91-101.
- [9] McDonald MG, Harbaugh AW. 1988. A modular three dimensional finite-difference ground-water flow model. US Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations Report 06-A1.
- [10] Rumbaugh J, Rumbaugh D. 1996. Guide to Using Groundwater Vistas. Herndon, Virginia, Environmental Simulation Inc.
- [11] Smedema LK, Vlotman WF, Eds. 1996. Workshop on Performance Assessment of Drainage Systems. Cairo, Egypt, Drainage Research Institute (DRI) and Egyptian Public Authority for Drainage Projects (EPADP).
- [12] Smedema LK, Vlotman WF, Rycroft DW. 2004. Modern Land Drainage. Planning, Design and Management of Agricultural Drainage Systems. A.A. Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands, p. 446.
- [13] Vincent B, Vlotman WF, Zimmer D, Hornbuckle JW. 2007. Performance Assessment and Potential Indicators for Drainage Systems. CSIRO Land and Water Science, Report 62/07.
- [14] Wolters W. 1992. Influences on the efficiency of irrigation water use. PhD thesis, Delft University of Technology, p. 150.

## PERFORMANCE INDICATORS OF COMPLEX DRAINAGE SYSTEMS

by

Mile BOŽIĆ

Institute for the Development of Water Resources „Jaroslav Černi“, Belgrade

### Summary

The risk of waterlogging in agricultural land, due to high groundwater levels, exists to a degree in all agricultural areas. Understanding the groundwater regime in different natural conditions forms the basis for selecting and implementing technically correct and economically viable solutions in a field of groundwater management. The operation of a drainage system, as well as the effects of the designed measures for groundwater management in agricultural areas, can be simulated using the appropriate mathematical models. These simulations are used to follow performance metrics of the drainage system, which is presented in

this paper in the case of the complex drainage system on the agricultural area Pančevački rit (medium scale), for the period 1987 - 2014. With changing management pattern, it is possible to significantly reduce the size of the waterlogged area, when considering the current state of development of water infrastructure and given boundary conditions. Changes in drainage system operation can lead to improving the system performance up to 40%.

Key words: complex drainage systems, Pančevački rit, efficiency indicators, performance evaluation

Redigovano 13.10.2017.