



SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

HRVATSKO DRUŠTVO
ZA ODVODNJU I NAVODNJAVANJE
HRVATSKO HIDROLOŠKO DRUŠTVO

PRIRUČNIK ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

III KOLO

KNJIGA 1

SUVREMENI PRISTUPI I METODE
PLANIRANJA I UPRAVLJANJA
HIDROMELIORACIJSKIM SUSTAVIMA

Rijeka, 2003.

*Sadržaj ove knjige predstavlja rezultat istraživanja u 2001. i 2002. godini,
a
u okviru znanstvenog projekta »Znanstvene osnove za razvoj natapanja u
Republici Hrvatskoj« broj 114003, financiranog od Ministarstva znanosti
i tehnologije Republike Hrvatske. Izdavanje rezultata istraživanja u vidu
priručnika novčano je potpomoglo:*

*— Poduzeće »Hrvatske vode«
Zagreb, Ulica grada Vukovara 220*

**Ministarstvo znanosti i tehnologije
Republike Hrvatske**

Projekt:
Znanstvene osnove za razvoj natapanja
u Republici Hrvatskoj

Šifra: **114003**

Voditelj projekta:

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

Istraživači:

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić
prof.dr.sc. Zorko Kos
prof.dr.sc. Dragutin Gereš
prof.dr.sc. Čedomir Benac
mr.sc. Barbara Karleuša
mr.sc. Josip Rubinić
mr.sc. Ivica Plišić

CIP – Katalogizacija u publikaciji
SVEUČILIŠNA KNJIŽNICA RIJEKA

UDK 626.81/.84(075.8)

PRIRUČNIK za hidrotehničke melioracije.

Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 1992-2003-; 24 cm

Na vrhu nasl. str.: Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci.

Kolo: 3. – 2003-

Knjiga:

1: Suvremeni pristupi i metode planiranja i upravljanja hidromelioracijskim sustavima
/ Nevenka Ožanić ... <et al.>. – 2003

Bibliografija iza svakog poglavlja

ISBN 953-6953-10-2

1. Ožanić, Nevenka Ožanić

I. Hidrotehnika II. Navodnjavanje

100912005

Rezultati istraživanja na temi tijekom 2001. i 2002.

GRAĐEVINSKI FAKULTET
Sveučilišta u Rijeci

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJU I NAVODNJAVANJE
HRVATSKO HIDROLOŠKO DRUŠTVO

PRIRUČNIK ZA
HIDROTEHNIČKE
MELIORACIJE

III KOLO
KNJIGA 1

SUVREMENI PRISTUPI I METODE
PLANIRANJA I UPRAVLJANJA
HIDROMELIORACIJSKIM SUSTAVIMA

Autori

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić
prof.dr.sc. Zorko Kos
prof.dr.sc. Josip Marušić
prof.dr.sc. Ognjen Bonacci
prof.dr.sc. Bragutin Gereš
prof.dr.sc. Frane Tomić
prof.dr.sc. Dragutin Petošić
mr.sc. Josip Rubinić
mr.sc. Barbara Karleuša

Rijeka, 2003.

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sveučilišta u Rijeci

Za izdavača:
prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

Uredništvo:
prof.dr.sc. Nevenka Ožanić
prof.dr.sc. Ivica Kožar
prof.dr.sc. Čedomir Benac
prof.dr.sc. Gojko Balabanić

Glavni i odgovorni urednik:
prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

Recenzenti:
prof.dr.sc. Zorko Kos
prof.dr.sc. Ognjen Bonacci

Kategorizacija:
Znanstvena monografija

Adresa uredništva:
Rijeka, Viktora Cara Emina 5

Tisak: Fintrade & Tours d.o.o.
Naklada: 300 primjeraka

Grafička obrada i prijelom:
Natko Jakić

PREDGOVOR

Na početku najnovije knjige iz serije »Priručnika za hidrotehničke melioracije na području Hrvatske« možemo istaći zadovoljstvo što je održan dugogodišnji kontinuitet istraživanja i publiciranja aktualne znanstveno-stručne problematike iz domene hidrotehničkih melioracija, odnosno problematike odvodnje i navodnjavanja. Do sada je publicirano 13 publikacija, podijeljenih u dva kola. U razdoblju 1983.—1991. publicirano je 6 knjiga I kola spomenutog priručnika u kojima je obrađena problematika odvodnjavanja sa sljedećim tematskim cjelinama:

Knjiga 1 – Opći dio (1983), Knjiga 2 – Podloge (1984), Knjiga 3 – Osnovna mreža (1985), Knjiga 4 – Detaljna mreža (1987), Knjiga 5 – Građenje (1989), Knjiga 6 – Održavanje (1991). Nakon toga, u razdoblju 1992.—1999. objavljeno je novih 7 knjiga II kola u kojima je obrađena problematika navodnjavanja sa sljedećim tematskim cjelinama: Knjiga 1 – Opći dio (1992), Knjiga 2 – potrebe vode za navodnjavanje (1993), Knjiga 3 – Načini natapanja (1994), Knjiga 4 – Sustavi, građevine i oprema za natapanje (1994), Knjiga 5 – Planiranje, projektiranje i organizacija natapnih sustava (1996), Knjiga 6 – Kvaliteta i raspoloživost vode za natapanje (1997), Knjiga 7 – Mehanizacija i oprema za natapanje (1999).

Spomenutih 13 priručnika, s preko 3000 stranica, pokrili su najveći dio problematike vezane uz teorijske i praktične aspekte hidrotehničkih melioracija, te ostvarili nužne inicijalne preduvjete za implementaciju potrebnih saznanja na području Hrvatske. Kao što je u Predgovoru I knjige 1 u I kolu još 1983.g. i napisano, to je bio i cilj Društva za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske koje je i pokrenulo izdavanje predmetnih priručnika. Ideja je bila, a tako je i realizirana da će »priručnik biti tako koncipiran, da će odgovarati potrebama radnih organizacija i pojedinaca koji se bave planiranjem, projektiranjem, građenjem i održavanjem hidromelioracijskih sustava... Ideja o poduzimanju tako značajnog poduhvata vremenski se podudara s pojavom određenih društveno-gospodarskih poteškoća u našoj zemlji, koje su posljedica intenzivnog rasta i razvoja u proteklim desetljećima. Namjera je Predsjedništva i svih članova Društva da ovim putem dadu djelotvoran doprinos što bržem prevladavanju naraslih proturijčnosti i problema, naročito na području osiguravanja nužnih preduvjeta za intenzivniju i rentabilniju poljoprivrednu proizvodnju ...«

Publicirani priručnici kompletiranih dvaju kola dali su velik doprinos razvoju znanstvenih i stručnih kadrova vezanih uz različite aspekte problematike hidrotehničkih melioracija. U njima je istražena, te sistematizirana i na pristupačan način obrazložena glavnina segmenata te, za Hrvatsku izuzetno važne djelatnosti, kako u pogledu njezinog privrednog značenja, tako i njome uvjetovanih socio-ekonomskih prilika u širem okruženju. U tom smislu rijetki su primjeri postojanja dokumentiranosti tako zaokruženog ciklusa teorijsko-stručnih saznanja iz neke domene. Nažalost tijekom posljednjih desetak godina Hrvatsko gospodarstvo, pa tako i poljoprivreda, uz spomenute poteškoće iz predgovora prve knjige 1983.g. koji su naknadno i generirani, te probleme razvoja izazvane poznatim ratnim prilikama na našim prostorima, prolazi i kroz fazu prevladavanja tranzicijskih problema. Svi su ti problemi u okruženju poljoprivrede sasvim sigurno utjecali i na ograničene mogućnosti implementacije do sada publiciranih saznanja iz prethodno objavljenih Priručnika u domaćoj praksi. Taj raskorak između obrađene teorije i njezine praktične primjene u Hrvatskoj, kao i okolnost da nova vremena postavljaju i nove izazove u kontekstu čega treba istaći i aktualnu potrebu prilagodbe razvoja poljoprivrede u Hrvatskoj u okruženju Europske

unije, bili su dodatni motiv da se predvidi daljni razvoj još pred dvadeset godina započetog predmetnog projekta, te njegovo usmjeravanje na implementaciju potrebenih saznanja iz domene hidrotehničkih melioracija na razvoj hidrotehničkim melioracija, a time i poljoprivrede u Hrvatskoj.

Razumijevanjem Ministarstva znanosti i Hrvatskih voda, koji su i ovom prilikom sufinancirali nastavak predmetnog znanstveno-istraživačkog projekta, pred čitateljstvom je početna knjiga iz nove serije Priručnika, tj. Knjiga I III kola. Planirano je da bi i to III kolo imalo šest pojedinačnih knjiga – rezultata rada brojnih istraživača i suradnika na predmetnom znanstveno-istraživačkom projektu. I dok je I kolo bilo usmjereno na problematiku odvodnje, II na navodnjavanja, zamisao nositelja projekta je da bi III kolo projekta »Znanstvene osnove za razvoj natapanja u Republici Hrvatskoj«, upravo zbog problema implemetacije znanstvenih i stručnih spoznaja na našim prostorima, bilo uz neizostavni znanstveno-istraživački pristup pojedinim do sada manje obrađivanim temama, ponajviše orijentirano na samu Hrvatsku, tj. prirodno, strukturalno te i društveno-ekonomsko okruženje u okviru kojeg bi se trebao ostvariti razvoj hidrotehničkih sustava za navodnjavanje.

Na kraju, kao novi voditelj projekta, ugodna mi je dužnost zahvaliti se dosadašnjem dugogodišnjem voditelju prof. emeritusu dr. Z. Kosu, na njegovom uspješnom vođenju projekta, kao i želji da, uz nekoliko drugih cijenjenih kolega koji su bili u grupi pokretača projekta i njegovih najaktivnijih nositelja i nadalje aktivno sudjeluje u njegovoj realizaciji. Naime, i sadržajno i po obimu objavljenih materijala, posebno su velik doprinos razvoju projekta dali kolege prof.dr. J. Marušić, prof.dr. F. Tomić, prof.dr. O. Bonacci i izv. prof. dr. D. Gereš. Uz planirano učešće spomenutih posebno zaslužnih autora, ušešće većeg broja drugih autora koji su i do sada davali svoj doprinos, kao i angažmanom više autora – specijalista u pojedinim segmentima analiziranih tema nove serije priručnika, na najbolji će način biti potvrđen kontinuitet realizacije projekta u okvirima suradnje djelatnika Građevinskog fakulteta Rijeka, kao i ostalih kolega iz Hrvatskog društva za odvodnjavanje i navodnjavanje, angažiranih u brojnim institucijama – ponajviše u okvirima Građevinskih fakulteta u Zagrebu, Splitu i Osijeku, Agronomskih fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Osijeku, te Hrvatskih voda.

Kao i prethodna dva ranija kola, knjiga I sadrži Opći dio, u kome su obrađene za daljnji razvoj navodnjavanja neke od vrlo bitnih tema iz šire domene problematike hidrotehničkih melioracija koje nisu bile u punoj mjeri zastupljene prilikom ranijih kola Priručnika, a ocijenjeno je primjerenim da se približe stručnoj i znanstvenoj javnosti u Hrvatskoj. Koristim priliku da se zahvalim i svim autorima koji su dokumentirali svoje radove, recenzentima, kao i drugim suradnicima na projektu koji su omogućili izdavanje Knjige I – III kola, kao i Ministarstvu znanosti i tehnologije te Hrvatskim vodama na ukazanom povjerenju.

Rijeka, siječanj 2003.

prof.dr.sc.
Nevenka Ožanić

SADRŽAJ

1. Uvod	9
<i>prof.dr.sc. Nevenka Ožanić, dipl.ing.građ.</i>	
2. Suvremeni pristupi problematici hidromelioracijskih sustava u svijetu	11
<i>prof.dr.sc. Zorko Kos, dipl.ing.građ.</i>	
3. Stanje i značenje hidromelioracijskih objekata i sustava za poljoprivrednu proizvodnju u Hrvatskoj	49
<i>prof.dr.sc. Josip Marušić, dipl.ing.građ.</i>	
4. Suše, okoliš i poljoprivredna proizvodnja	97
<i>prof.dr.sc. Ognjen Bonacci, dipl.ing.građ.</i>	
5. Upravljanje vodnim resursima na slivnom području	133
<i>prof.dr.sc. Dragutin Gereš, dipl.ing.građ.</i>	
6. Rješavanje problema suvišnih unutarnjih voda u hidromelioracijskim sustavima	177
<i>prof.dr.sc. Frane Tomić, dipl.ing.agr.;</i> <i>prof.dr.sc. Dragutin Petošić dipl.ing.agr.</i>	
7. Hidrogrami velikih vodnih valova	197
<i>prof.dr.sc. Nevenka Ožanić, dipl.ing.građ.</i>	
8. Bilanciranje akumulacija za navodnjavanje	239
<i>mr.sc. Josip Rubinić, dipl.ing.građ.</i>	
9. Primjena postupaka višekriterijske optimalizacije pri izboru sustava akumulacija za navodnjavanje u Istri	269
<i>mr.sc. Barbara Karleuša, dipl.ing.građ.</i>	
10. Korištenje nekonvencionalnih vodnih resursa u sušnim područjima	337
<i>prof.dr.sc. Ognjen Bonacci, dipl.ing.građ.</i>	

1

UVOD

Prezentirani svezak (Knjiga 1 – III kola) Priručnika za hidrotehničke melioracije sadrži jedan širi raspon tema vezanih uz problematiku hidrotehničkih melioracija za koje je ocijenjeno da mogu dati poseban doprinos istraživačkom projektu u smislu usmjeravanja i unapređenja dosadašnjih pristupa pri razmatranju predmetne problematike, kao i boljoj implementaciji stečenih saznanja u domaćoj praksi. Naime, kao što je i iz dijela radova u knjizi vidljivo, trenutni stupanj izgrađenosti i način upravljanja postojećim hidromelioracijskim sustavima u Hrvatskoj izuzetno je nizak u usporedbi sa stanjem u državama razvijenog zapada, kao i u odnosu na stanje u drugim tranzicijskim državama.

Pri planiranju sadržaja Knjige 1 ocijenjeno je da je na početku novoga ciklusa Priručnika za hidrotehničke melioracije nužno napraviti jedan presjek stanja teorije i prakse upravljanja hidromelioracijskim sustavima u svijetu i kod nas s naznakama o mogućnostima njihova unapređenja, kao i dati naglasak na razradu hidrotehničkih aspekata pojedinih ranije manje zastupljenih tema. Neke od tema bile su dijelom i ranije obrađivane, ali s bitno različitim pristupima i razinom detaljnosti. Pojedini radovi manjim dijelom sadrže i neke već dokumentirane priloge, no radi cjelovitosti iznošenja problematike, takav je pristup ocijenjen primjerenim.

U radu »Suvremeni pristupi problematici hidromelioracijskih sustava u svijetu« dan je, u kontekstu razvoja suvremenih pristupa analiziranoj problematici, povijesni pregled razvoja hidromelioracijskih sustava za odvodnju i navodnjavanje u svijetu i kod nas, prikaz više najznačajnijih izgrađenih sustava, kao i aktualne planove za njihovu izgradnju za nekoliko odabranih lokaliteta. Uz to, u radu je dana i analiza hidromelioracijskih sustava i njihova razvoja u kontekstu razvoja poljoprivrede i ekološkoga okruženja, odnosno integralnoga razvoja društva, te predviđanja uloge hidromelioracijskih i hidrotehničkih sustava u budućnosti.

Rad »Stanje i značenje hidromelioracijskih objekata i sustava za poljoprivrednu proizvodnju u Hrvatskoj« obrađuje predmetnu problematiku u Hrvatskoj, i to kako s aspekta pravne legislative, analize utjecajnih činitelja na postojeće stanje, tako i vrlo iscrpnog pregleda stupnja izgrađenosti i funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje u Hrvatskoj s aktualnim stanjem (2001. g.) po pojedinim slivnim područjima. Provedena je i detaljna analiza troškova održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava, analiza ratnih šteta na tim sustavima, kao i analiza osnovnih pokazatelja o sjetvenim površinama te prirodnima pšenice i kukuruza u Hrvatskoj za razdoblje 1976.—2000.g. s ocjenom uzroka pogoršanja stanja – smanjenja stupnja funkcioniranja a time i priroda biljnih kultura na melioracijskim površinama.

Osnovna funkcija hidromelioracijskih sustava za navodnjavanje je prevladavanje problema suše, čija je pojava, ali i negativni učinci po poljoprivrednu proizvodnju sve naglašeniji. U radu »Suše, okoliš i poljoprivredna proizvodnja« analizirani su različiti pristupi definiranja suša, te međuodnosi suše i tla, kao i vegetacijskog pokrova. Analizirana su hidrološka svojstva suhih područja, indeksi suše, sustavne analize regionalnih suša, te međuodnos suša i poljoprivredna proizvodnja.

S druge strane hidromelioracijski sustavi za odvodnjavanje služe za odvodnju suvišnih voda. U radu »Rješavanje problema suvišnih unutarnjih voda u hidromelioracijskim sustavima« prikazana je rasčlanba pojava suvišnih voda, načina prevlaživanja tla i formiranja melioracijskih tipova tla i njihove značajke, kao i načina rješavanja suvišnih voda na hidromorfim tlima.

Slivno ili vodno područje temeljna je teritorijalna cjelina za analizu i upravljanje vodnim resursima, pa tako i planiranje hidromelioracijskih sustava. Na tu temu je i rad »Upravljanje vodnim resursima na slivnom području« u kojem su, s tog aspekta, dane osnovne postavke upravljanja vodama riječnog sliva, integralnog pristupa pri planiranju i upravljanju vodnim resursima, te analizu ekonomskog pristupa raspodjele vode za korisnike. Rad sadrži i analizu, te preporuke modeliranja na razini slivnog područja, s posebnim naglaskom na ekonomsko-hidrološkim modelima.

Velike vode s jedne strane predstavljaju problem iz razloga što ugrožavaju branjene površine hidromelioracijskih sustava, a s druge strane moguće ih je tretirati i kao potencijalne rezerve vode za akumuliranje i navodnjavanje hidromelioracijskih sustava. U radu »Hidrogrami velikih voda« dan je prikaz načina konstrukcije hidrograma velikih voda za različite razine saznanja (podloga) o analiziranom hidrološkom profilu, kao i s različitim metodološkim postupcima. Dan je pregled metodoloških postupaka od nekih najčešće korištenih empirijskim metoda na našim prostorima, pa do suvremenih modelskih pristupa.

U radu »Bilanciranje akumulacija za navodnjavanje« provedena je analiza hidrološke komponente planiranja i upravljanja akumulacijama, s posebnim naglaskom na kod nas vrlo malo primjenjivanu metodu dimenzioniranja akumulacija generiranim vremenskim serijama o dotocima u akumulaciju. Provedene analize na primjeru akumulacije Boljunčica u Istri obuhvatile su simulacijsko modeliranje rada akumulacije korištenjem povijesne i sintetičkih serija o dotocima, kao i analizu međuodnosa različitih veličina volumena akumulacije i veličine gubitaka na poniranje i rezultirajućeg stupnja zadovoljavanja potreba za vodom.

U kontekstu suvremenih pristupa planiranju i upravljanju hidromelioracijskim sustavima, u radu »Primjena postupaka višekriterijske optimalizacije pri izboru sustava akumulacija za navodnjavanje u Istri« prikazan je način odabira optimalnih rješenja akumulacija kao ključnih objekata takvih sustava. Na primjeru izbora najpovoljnije varijante navodnjavanja poljoprivrednih površina u Istri, proveden je postupak vrednovanja dvanaest generiranih varijanti po deset raznodimenzionalnih kriterija po metodama Promethee, Electre i AHP.

Suvremeni pristupi pri planiranju i upravljanju ogledaju se i u izboru i načinu korištenja vodnih resursa za navodnjavanje u uvjetima i prilikama u kojima nisu dostupni konvencionalni vodni resursi. U okviru takvih sagledavanja pripremljen je i rad »Korištenje nekonvencionalnih vodnih resursa u sušnim područjima«, u kojem se razmatraju mogućnosti, postupci i ograničenja vezana uz zadovoljenje potreba za vodom korištenjem zaslanjenih voda, kao i dijelom pročišćenih voda.

Iz sadržaja pripremljenih radova Knjige 1 – III kola Priručnika za hidrotehničke melioracije vidljivo je da je problematika razvoja pristupa i metoda planiranja i upravljanja hidromelioracijskim sustavima, te njihove implementacije na području Hrvatske, i nadalje vrlo izazovan znanstveni, stručni kao i praktični zadatak, o uspješnosti čijega rješavanja u velikome ovisi budući razvoj naše države. U tom svjetlu treba sagledati i doprinos provedenog istraživanja.

2

SUVREMENI PRISTUPI PROBLEMATICI HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA U SVIJETU

Prof.dr.sc. Zorko Kos
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

1. Općenito	
2. Pregled razvoja hidromelioracijskih sustava kroz povijest	14
2.1. Sustavi za odvodnjavanje	14
2.2. Sustavi za navodnjavanje	20
2.2.1. Sustavi staroga svijeta	20
2.2.2. Sustavi modernog doba	25
3. Hidromelioracijski sustavi i fizičko okruženje	27
3.1. Hidromelioracijski sustavi i poljoprivreda	28
3.2. Hidromelioracijski sustavi i zaštita okoliša	33
4. Hidromelioracijski sustavi i razvoj	36
5. Predvidiva uloga hidromelioracijskih i hidrotehničkih sustava u budućnosti	42
5.1. Opći prikaz	42
5.2. Stanje u Republici Hrvatskoj	45
6. Zaključak	47
Bibliografija	48

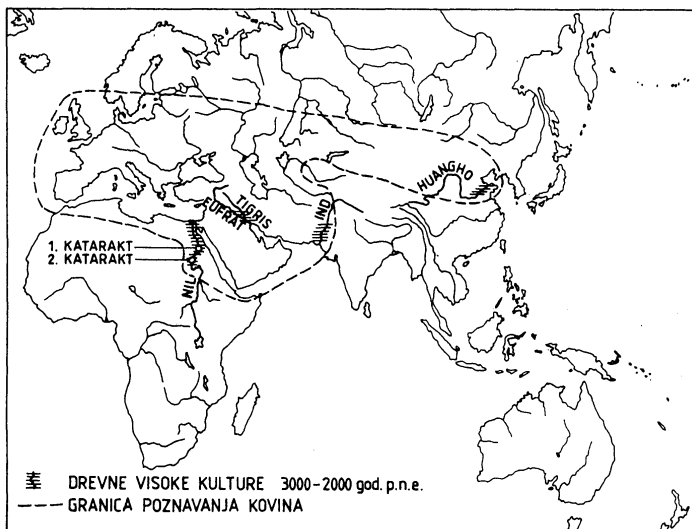
1. Općenito

Uloga, značaj i mjesto hidrotehničkih melioracija tla kroz povijest neprekidno se mijenjala i mijenja se. Brojni su čimbenici koji su to uvjetovali, a najznačajniji su: stupanj znanstvenih spoznaja i dostignuća odnosnih društava; organizacijski ustroj društvene zajednice, fizičke značajke područja posebno meteorološke i hidrološke specifičnosti regije i drugo. Svaki od tih elemenata imao je određeni utjecaj na razvoj ne samo hidrotehničkog graditeljstva, već i ostalih gospodarskih i društvenih disciplina, ali od bitnog je značenja i njihova međusobna povezanost i međudjelovanje. Dakako, nije moguće odvojeno ocjenjivati svaku disciplinu, već sve treba staviti i promatrati u realnom vremenu i prostoru.

Povijest ljudskoga društva u zadnjih 50-tak godina nedvosmisleno je dokazala da preduvjet i glavni pokretač brzog gospodarskog razvoja zemlje nisu prirodna bogatstva države (šume, tla, rude i sl.) već prvenstveno dobar ustroj (politika, organizacija) zajednice. Da je tome tako svjedoči čitav niz zemalja – posebno na dalekom istoku – koje su u kratkom razdoblju od siromašnih i nerazvijenih država vinule se u sam vrh svjetske ‘gospodarske elite’. Pri tome treba naglasiti da je primjena najnovijih znanstvenih dostignuća od prvorazrednoga značenja. Da li je to tako bilo i u dalekoj prošlosti pa sve do naših dana pokušat ćemo dokazati u narednih nekoliko točaka.

Danas nema nikakve dvojbe da su najveće ljudske civilizacije staroga svijeta nikle i razvile se u sjevernoj Africi (Egipat), bliskom i srednjem (Izrael, Mezopotamija), te dalekom istoku (Kina). Te su civilizacije razvile društvene i 'tehničke' znanosti do takve razine da su tim 'fondom' stvorile materijalne uvjete za izgradnju građevina i sustava – pretežno vodoprivrednih – koji su bili primjer i uzor graditeljima sve do prije nekoliko stoljeća.

Nama najbliža a istovremeno vjerojatno i najbolje poznata civilizacija je ona u dolini Nila u Egiptu. Poznati počeci razvoja zemlje sežu približno do oko 7000 godina unazad ali dobro uređena i organizirana država nastaje približno prije 5000 godina kojom je do propasti u IV. stoljeću pr. Kr. (332.g. prije nove ere) vladalo 30 dinastija. Velika graditeljska aktivnost države pojavljuje se približno oko 2500 god. prije nove ere, kada se u rasponu od nepunih 100 godina sagrađe sve poznate piramide (oko 80) od kojih u onoj najvećoj – Keopsovoj – je ugrađeno građevnog materijala dvadeset puta više nego u neboder Empire state building u New Yorku. (Ovo je bila prva građevina na svijetu s više od 100 katova, a kada je dovršena – 1930. – smatrana je kao osmo svjetsko čudo). Treba napomenuti da je u to doba od metala od kojeg se proizvode alati bio poznat samo bakar.

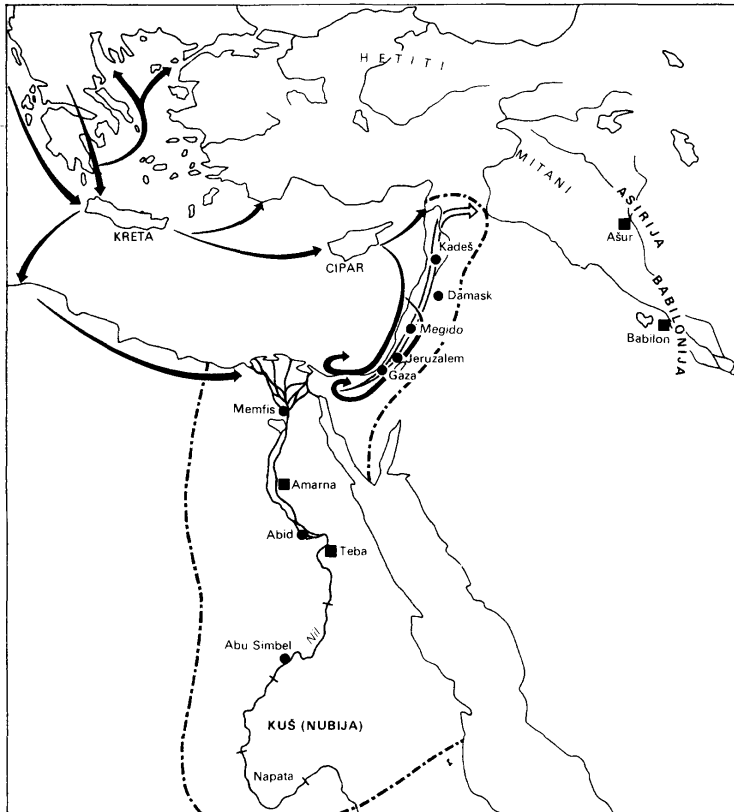


Slika 1: Područja drevnih visokih civilizacija (21)

Postavlja se pitanje koji su to bili osnovni preduvjeti da je tada u izrazito nerazvijenoj i 'negostoljubivoj' sredini bilo moguće realizirati tako veliki opseg građenja. Dakako, nisu građene samo piramide, već čitav niz drugih javnih građevina posebno u domeni vodnog graditeljstva (uređenje voda i navodnjavanje). Odgovor bi mogao biti slijedeći: Prvo, osnovna pretpostavka bilo kakvog zamaha investicijskog ciklusa bila je izuzetno dobra organizacija društvenog sustava s jako učinkovitim upravnim institucijama (sada su to uglavnom ministarstva i javna poduzeća). Pri tome je centralizacija vlasti, moći i sredstava bila od prvorazrednog značenja.

Drugo, da bi deseci tisuća radnika mogli biti zaposleni na javnim radovima morali su im se, u najmanju ruku osigurati osnovni uvjeti egzistencije (hrana, odjeća, smještaj). Da bi se to postiglo u toj 'negostoljubivoj' sredini bilo je neophodno neprekidno trošiti velike količine rada i energije na proizvodnju hrane, pri čemu je, vjerojatno, najveći dio toga trošen na radove za korištenje voda (natapanje). Pri tome treba naglasiti da je u

Egiptu prirodna opskrba vodom poljoprivrednih kultura (kišom) praktički ravna nuli. Naime, ukupne su oborine u Egiptu na sredozemnoj obali oko 200 mm, u Kairu već padaju na oko 30 mm (dakako godišnje!), a južnije još manje. Prema tome ne treba dokazivati da su efektivne oborine ravne nuli što znači da poljoprivredi treba umjetnim putem – natapanjem – osigurati cjelokupni fond potrebe vodom za evapotranspiraciju. S tim u vezi spominjem, da je u našim krajevima, još do prije stotinjak godina većina seoskog življa bila sretna i presretna da od svoje zemlje privredi koliko je potrebno za puko preživljavanje i to bez ikakve akumulacije. Pri tome treba napomenuti da su na ovim prostorima meteorološki uvjeti daleko povoljniji nego u krajevima koji se spominju.



Sika. 2: Egipat oko 1500 godine prije nove ere (22)

Kada smo već na području staroga Egipta, spomenut ćemo i njegova najveća dostignuća u domeni vodnog graditeljstva. Bilo je to negdje u XVIII.—XVII. stoljeću prije nove ere za vladavine faraona Sezostrisa III i Amenemheta III kada je izgrađena najveća do sada poznata akumulacija Moeris kod Faiyuma, te započeli radovi na prokopu Sueskog kanala. Vjerojatno nema te zemlje na svijetu koja bi se prije par stotina godina upustila na takav poduhvat.

Ranije smo spomenuli tri karakteristična područja na kojima su se razvile bogate kulture staroga svijeta, t.j. uz Egipat još Bliski istok i Kina. S obzirom da su uvjeti i značajke procvata tih kultura u to davno doba vjerojatno bili slični opisanih na primjeru Egipta, neće se sada opisivati.

2. Pregled razvoja hidromelioracijskih sustava kroz povijest

U prethodnom je poglavlju naznačeno kako su se prve velike civilizacije pojavile i razvile u područjima koja nisu bila u prirodnom stanju podobna za proizvodnju hrane za veću gustoću življa, iako je na svijetu bilo u izobilju površina gdje su klimatski uvjeti bili povoljniji za razvoj poljoprivrede i to bez intervencije s velikim radovima na uređenju režima voda. Očigledno je kod toga prevladavajući čimbenik bio blaga (uglavnom topla) klima koja je omogućavala cjelogodišnju vegetaciju i niske troškove za zaštitu od hladnoće.

Kao što je poznato hidromelioracijski sustavi se uglavnom dijele na dvije osnovne grane i to odvodnjavanje i navodnjavanje. Dakako, sustavi za odvodnjavanje se planiraju i grade u onom slučaju kada trajno ili povremeno poljoprivredne površine trpe od prevelike vlažnosti, što ili umanjuje ili potpuno onemogućava uzgoj određenih poljoprivrednih kultura. U suprotnom, potrebno je graditi sustave za navodnjavanje. Neovisno o tome da li je potrebno graditi jedan ili drugi sustav, ili oba dva, postavljeni se cilj mora postići, a to je uspostava optimalnog vodno-zračnog režima u tlu za određeni raspored poljoprivrednih kultura. S obzirom da u svijetu prevladavaju klimatske zone s izrazito neravnomjernim prostornim i vremenskim rasporedom oborina, najčešće je neophodno sagraditi oba sustava. Suvremene poljoprivredne kulture s izrazito visokim prinosima u odnosu na stanje od samo prije 50-ak godina, veoma su osjetljive na pomanjkanje bilo kojeg elementa u prehrambenom lancu što čini problem osiguranja odgovarajućeg vodnog režima osobito osjetljivim.

2.1. Sustavi za odvodnjavanje

Podataka o pojavi prvih sustava za odvodnjavanje ima veoma malo, ali su se oni, vjerojatnom gradili paralelno s natapnim sustavima. Gotovo je sigurno da su prve mreže bile otvorenog — površinskog tipa. Kako se takve mreže sastoje isključivo od zemljanih jaraka i kanala sa ili bez građevina od postojećih gradiva (kamenog ili opečnog ziđa) nije ni moguće da se nešto sačuvalo do današnjih dana.

Čini se da su se prvi sustavi podzemne odvodnje (drenaže) pojavili oko 1900. godine prije nove ere i to za odvodnju grobnica velikodostojnika u Egiptu i Babilonu. Te su drenaže bile veoma slične današnjima te su za odvodnike korištene kratke glinene cijevi.

Ako ne ranije a ono svakako u IV. stoljeću prije nove ere pojavili su se podzemni odvodni sustavi za saniranje močvarnih tala s ciljem da se koriste za poljoprivrednu proizvodnju. Rimski filozof i agronom Columella je u svom djelu »De re rustica« (sastoji se od 12 knjiga) između ostalog opisao i način izrade drenaža koje su se u to doba (u prvom stoljeću n.e.) koristile za melioraciju (isušenje) Pontinijskih močvara južno od Rima. Po njemu, drenaže su se gradile tako da bi se rovovi duboki oko 80 cm do pola ispunjavali šljunkom, kamenjem ili fašinama, a potom zatrpali.

Za čitavo razdoblje srednjega vijeka sve do XVII. stoljeća nema podataka o primjeni i eventualnom usavršavanju gradnje drenažnih sustava. To, uostalom, nije nimalo čudno jer i u ostalim znanstvenim disciplinama, posebno tehničkim, situacija je više-manje ista.

Prve vijesti o obnovi zanimanja za gradnju drenskih sustava u novije vrijeme javljaju se od francuskog agronoma Olivier de Serres (1600.), a potom i britanskog

inženjera Waltera Bligha (1652.). Obojica preporučuju gradnju drenaža za saniranje močvarskih terena, više-manje po uzoru Columelle, ali i povezivanje drenova u sustave.

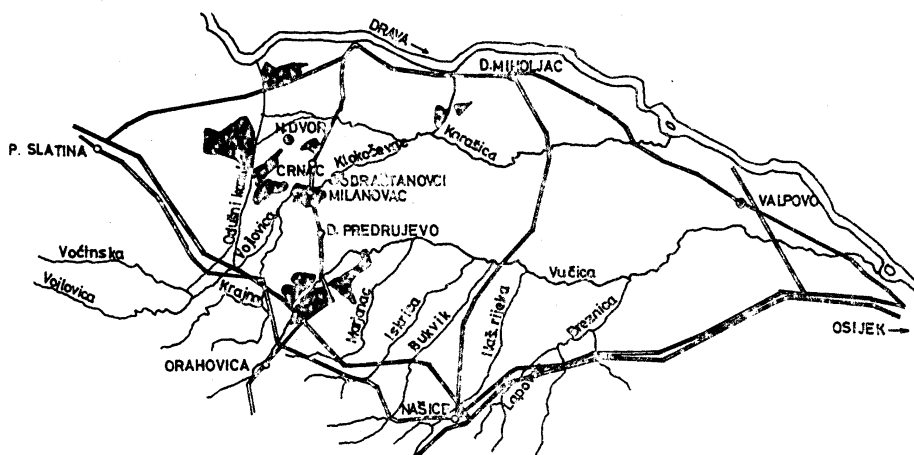
Podstrek razvoju drenskih sustava pojavio se krajem XVIII. i početkom XIX. stoljeća. Pioniri toga razvoja bili su Englezi i to poglavito Glyde, Elkingston i Jonstone. Izrađivali su procjednice od raznog materijala kao što se uostalom, i danas čini (fašine, kamen, opeka i dr.).

Pojava drenova od glinenih cijevi, također u Velikoj Britaniji, locirana je negdje u 1810 godinu. Izrada prvih okruglih glinenih drenskih cijevi pripisuje se Johnu Readu. Dakako, te su prve cijevi bile ručne izrade.

S obzirom na sve veće zanimanje za ovu vrstu odvodnje, tehnika proizvodnje se stalno usavršavala. Prvi stroj (drenska preša) za proizvodnju cijevi izradio je Whitehead 1844. g. Prve 'moderne' upute i neke vrste propisa za izradu drenaža potječu od Jamesa Smitha iz 1832. godine. On predlaže da se drenovi postavljaju na razmaku od 3,0 do 7,5 metara, a na dubinu od 0,6 do 0,8 m. Što se tiče uzdužnog pada Smith predlaže da drenovi s manjim presjekom cijevi trebaju imati veći pad i obratno.

Veliki pobornik i agitator za izgradnju drenskih sustava bio je Robert Read koji 1850. godine lansira uzrečicu da je 'drenaža za poljoprivredu isto što i parni stroj za industriju'. Nedugo iza toga (1866.) Josiah Parkers u svojim djelima donekle mijenja preporuke koje svojevremeno objavio Smith. Po njemu drenski se cjevovodi postavljaju međusobno paralelno, ali predlaže da se ugrade na dubinu od 1,20 m i na međusobnim razmacima od 6 do 15 m.

Iz navedenog je očigledno da su se negdje do sredine XIX. stoljeća u Europi drenažni sustavi gradili i koristili samo u Velikoj Britaniji (poglavito u Engleskoj). Prelaz ove metode odvodnje na kontinent – preko kanala La manche – dogodio se 1850. g. kada je francuski inženjer Herve-Mangon nakon određenih studija u Velikoj Britaniji taj način odvodnje počeo širiti u Francuskoj. Nedugo iza toga metoda se proširila po Belgiji, Nizozemskoj i Njemačkoj, a potom i po čitavoj Europi.



LEGENDA :

Slika 3:

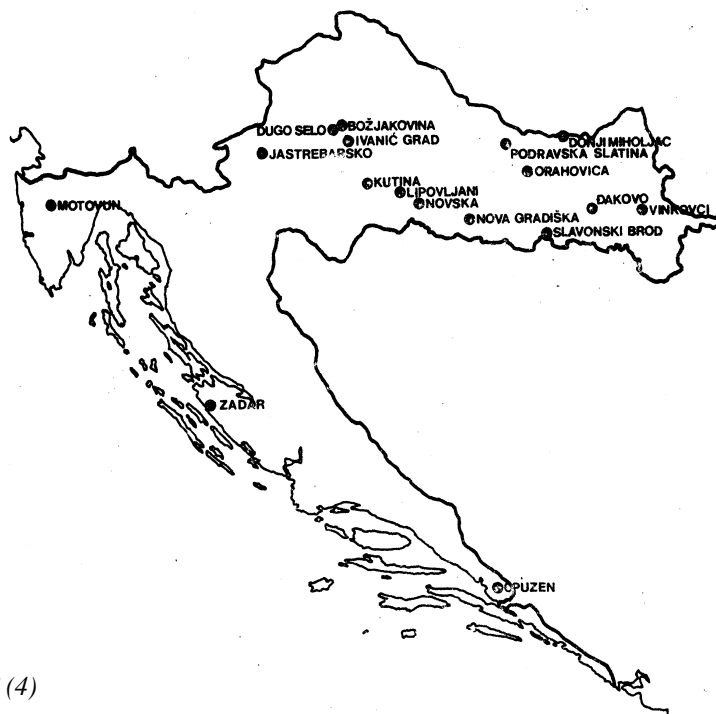
*Stare cijevne drenaže
na području sliva
Karasica—Vučica (4)*

- STARA CIJEVNA DRENAŽA (1891-1922g)
 EKSPERIMENTALNO POLJE ZA ODVOD-
NjAVANJE — NELIN DVOR

U Hrvatskoj su se prve drenaže počele graditi krajem XIX. i početkom XX. stoljeća i to poglavito na području vodne zajednice »Karasica—Vučica« i bivšeg Državnog poljoprivrednog dobra u Božjakovini. Promotor, organizator i projektant tih prvih drenskih sustava bio je tadašnji profesor tog predmeta na građevinskom fakultetu u Zagrebu i istovremeno direktor vodne zajednice Stjepan Bella. Teoretske podloge za te sustave kao i razrade pojedinih praktičkih rješenja obavljali su V. Setinski i A. Franković, također profesori iz hidrotehničkih disciplina na Zagrebačkom sveučilištu.

Te su se prve drenaže gradile isključivo na veleposjedima Slavonije (Podravska Slatina, Orahovica i Donji Miholjac) i uže Hrvatske (Božjakovina). Na području Orahovice drenaže su izvedene na rudinama Krivaja., Predrijevo, Crnac, Milanovac i Brestanovci. Ukupno je na tom području, do 1920. g. drenirano oko 5.000 ha poljoprivrednih površina. Najstariji sustavi izvedeni su još između 1891. i 1903. i to u predjelu Podravske Slatine. Glavni elementi za te drenaže preuzeti su iz iskustava u Češkoj, budući da je ta zemlja u bivšoj Austrougarskoj prednjačila u izvedbi takvih radova. Cijevi iz pečene gline su posebno naručivane i izrađivane jer na tržištu još ih nije bilo. Imale su duljinu od 33 cm, a promjer od 5 do 16 cm, dok im je debljina, ovisno o promjeru varirala između 1,5 i 2,0 cm. Sisala su ugrađivana na konstantni razmak od 10 do 12 m, a na dubini od 0,8 do 1,2 m ovisno od duljini cjevovoda. Hvatala su ugrađivana na dubinu od 0,8 do 1,8 m s time što im je početni promjer bio 7 cm, a završni 16. Pad se cjevovoda svugdje uzimao 2 ‰.

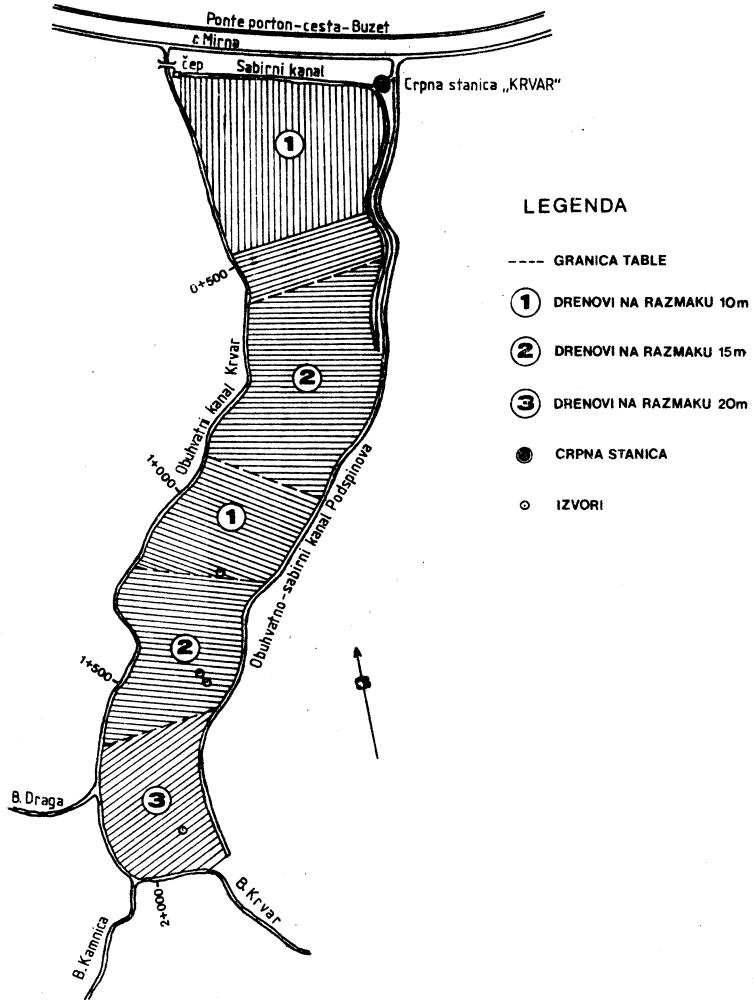
Nakon Drugoga svjetskog rata prve drenaže u Hrvatskoj izvedene su na poljoprivrednom dobru »Zadar« i to na rudinama Baštica, Smilčići i Nova Baštica (1961.). Iza toga Poljoprivredno industrijski kombinat »Neretva« iz Opuzena izgradio je na području donje Neretve, na površini od 40 ha, drenažu primjenom Butzovih daščanih drenova.



Slika 4:
Prvi drenažni sustavi
u Republici Hrvatskoj (4)

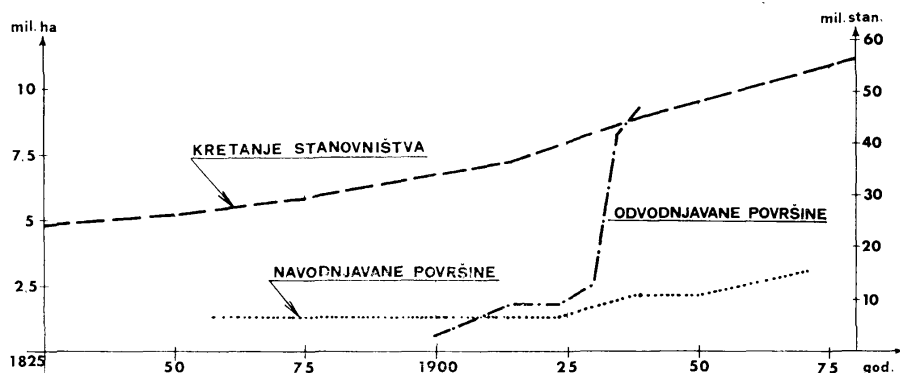
Na vodnom području Primorsko-istarskih slivova sustavno se prišlo rješavanju problema odvodnje aluvijalnih tala tek iza Prvoga svjetskog rata i to u većoj mjeri jedino u Istri. Sve do kraja 60-ih godina XX. stoljeća izvodili su se uglavnom sustavi otvorenih odvodnih mreža. Izumom drenskih cijevi iz plastičnih materijala paralelno s pojavom modernih strojeva za ugradbu cjevovoda prešlo se i u ovim krajevima na izvedbu drenaža. U daljnjem periodu od 15-ak godina, svi novi odvodni sustavi realizirani su kao drenaže a i većina postojećih – otvorenih – rekonstruirano u zatvorene – podzemne – drenaže.

U Priručniku za hidrotehničke melioracije, 1. kolo, knjiga 1. 1983. potpisani je objavio dva poglavlja o povijesti razvoja hidromelioracija i to: Razvoj i stanje hidromelioracija u Jugoslaviji i u nekim europskim zemljama, str. 19—50, i Povijesni pregled razvoja vodoprivrede u SR Hrvatskoj, str. 51—115. Stoga se čitalac, za detaljniji uvid u tu materiju, upućuje na tu literaturu. U nastavku će se ipak, u najkraćim crtama, dati kratak presjek karakterističnih građevina i sustava za specifična područja i razdoblja.



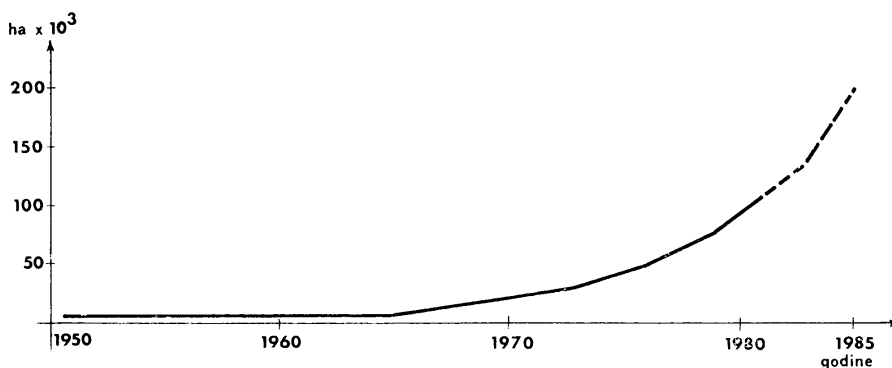
Slika 5: Drenaža na rudini Krvar (dolina Mirne) izvedena 1969. (4)

Na području današnje Italije u doba Rimskog carstva bilo je 10—12 milijuna stanovnika (od ukuno oko 100 milijuna u tada poznatom svijetu). U to doba hidrotehničko je graditeljstvo, posebno odvodnjavanje i vodoopskrba bilo na vrlo visokom stupnju razvoja. Nedugo nakon propasti Zapadnog rimskog carstva (476.g.) broj se stanovništva smanjuje na 5—6 milijuna u najvećoj mjeri i to poglavito zbog zapuštanja hidrotehničkih sustava i zamočvarenja tla. Od tada pa sve do negdje XV stoljeća gospodarstvo propada ili stagnira. Tada je započeo ponovni uspon te se uskoro područje ponovno naseli do približno iste razine kao prije 1.000 godina. Prve vodne zajednice zabilježene su u pokrajini Lombardija već u XI. st. (od tada datiraju i prve marcite), da bi njihov broj samo u Republici Veneciji narastao na 240 (krajem XVII. stoljeća). Od tada pa do danas bilježi stalni uspon razvoja ove grane, ali najintenzivniji je bio u razdoblju između dvaju svjetskih ratova pretežno uvjetovano politikom antarkije, tadašnje vladajuće garniture što se najbolje vidi iz priloženog grafikona.



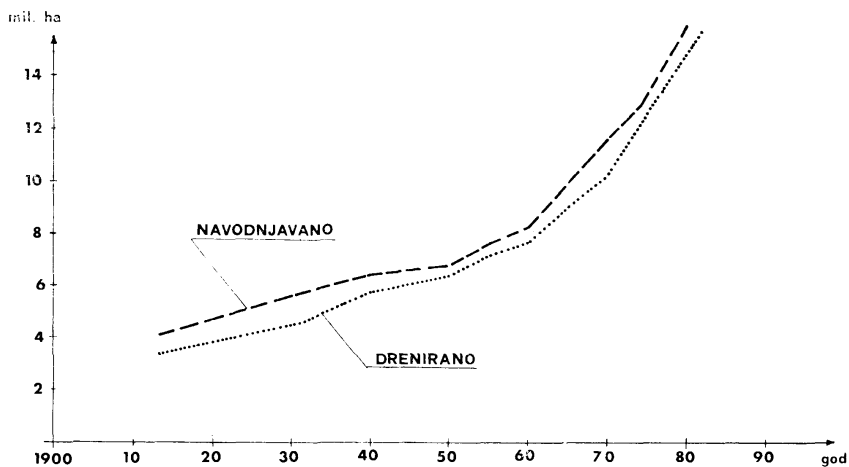
Slika 6: Razvoj hidrotehničkih melioracija u Italiji (8)

Francuska, slično kao i Italija, praktički kroz čitavu povijest bilježi neprekidnu aktivnost na gradnji hidromelioracijskih sustava. U srednjem su vijeku prevladavali radovi na odvodnjavanju, posebno isušivanju močvara na sjeveru zemlje (Flandrija, Saint-Omer i dr.). Nosioći radova u ranijem razdoblju (negdje do XVII. stoljeća) bili su pretežno veleposjednici, a kasnije, sve do današnjih dana, država. Prednost Francuske pred Italijom bila je u tome što je na tom području mnogo ranije stvorena jaka, bogata i centralizirana država koja je u najvećoj mjeri bila i ostala 'investitor' tih zahvata. Svjetski domet u hidrotehničkom graditeljstvu ova zemlja dostigla je sredinom XX. stoljeća kada je izgrađen višenamjenski sustav Canal de Provence. O tome će malo više biti riječi u dijelu koji obrađuje navodnjavanje. Da su hidrotehničke melioracije najuže povezane sa znanstvenim i gospodarskim razvojem zemlje najbolje se može pratiti na primjeru Francuske, Naime, između 1950. i 1985. bilježi se veoma intenzivan razvoj cijevne drenaže što koincidira s razvojem velikih i visoko učinkovitih strojeva za višemlje sve agrotehničke operacije u poljoprivredi. Takav način obrade, koji je i dalje u usponu, zahtjeva velike 'table' poljoprivrednih površina bez ikakvih fizičkih zapreka. Dakako otvorena kanalska odvodna mreža, obično na razmacima od 20—50 m najveća je zapreka modernom organiziranju agrotehničkih radova.



Slika 7: Opremanje tla cijevnom drenažom u Francuskoj u razdoblju od 1950—85 (8)

Na kraju ove točke osvrnut ćemo se samo s nekoliko rečenica na stanje hidrotehničkih melioracija u najvećoj državnoj tvorevini svijeta, bivšem SSSR-u. Zemlja od 22,3 milijuna km² (što je više nego dvostruko od čitave Europe) nekada (prije Oktobarske revolucije) poznata kao veliki izvoznik žitarica, vodila je u doba izgradnje socijalističkog društva, neprekidnu borbu za proizvodnju dovoljne količine hrane za podmirenje vlastitih potreba. Vjerojatno je da je i to jedan od važnih uzroka njezine propasti. Iako je raspolagao s ogromnim fondom poljoprivrednog tla (608 milijuna ha poljoprivrednih površina, od čega 225,5 mil. ha oranica) i unatoč neprekidnim radovima na gradnji hidromelioracijskih sustava, rezultati su izostali i to poglavito uslijed nesposobnosti društva da adekvatno organizira proizvodnju. Dakako, to vrijedi i za ostale grane gospodarstva, a ne samo za poljoprivredu. Ilustracije radi prilažemo grafikon kretanja razvoja hidromelioracijskih sustava u pretežnom dijelu prošlog stoljeća.



Slika 8: Razvoj hidromelioracijskih sustava u bivšem SSSR-u (8)

2.2. Sustavi za navodnjavanje

U uvodnom dijelu spomenuto je da su prve velike civilizacije na svijetu počele se razvijati otprilike prije 7000 godina. Međutim, neosporno je da su te civilizacije – posebno u Egiptu i Mezopotamiji – bile već dobro uređene i razvijene prije približno 5000 godina. Sasvim je sigurno da je u to doba već bio u pogonu veći broj natapnih sustava. Naime, klimatske prilike u tim područjima onemogućuju bilo kakvu kvalitetniju poljoprivrednu proizvodnju bez natapanja.

Zanimljivo je napomenuti da su prvi veliki vodoprivredni sustavi građeni kao višenamjenski. To se posebno odnosi na veliki plovni kanal Ju-Ho (carski kanal) koji se u Kini počeo graditi još godine 2300. pr.n.e., a pored plovidbe služio je za odvodnjavanje, navodnjavanje i obranu od poplave. Međutim, višenamjensku funkciju imali su i svi veći vodoprivredni sustavi i Egiptu i Mezopotamiji, pa čak i Rimski vodovodi (voda se koristila za komunalne potrebe i natapanje).

U novije doba – početkom XX. stoljeća – počeli su se u svijetu graditi veliki višenamjenski vodoprivredni sustavi gotovo u svim zemljama. U tome nesumljivo prednjači SAD u kojoj je nakon velike ekonomske krize 30-ih godina, pa do početka Drugoga svjetskog rata, te par desetljeća iza rata, sagrađeno nekoliko najvećih vodoprivrednih sustava svijeta. Neki analitičari tvrde da je to osiguralo pobjedu zemlje u Drugom svjetskom ratu, ali u svakom slučaju najveći preduvjet za snažnu ekspanziju gospodarstva i svestrani razvoj zemlje koji je još uvijek u tijeku.

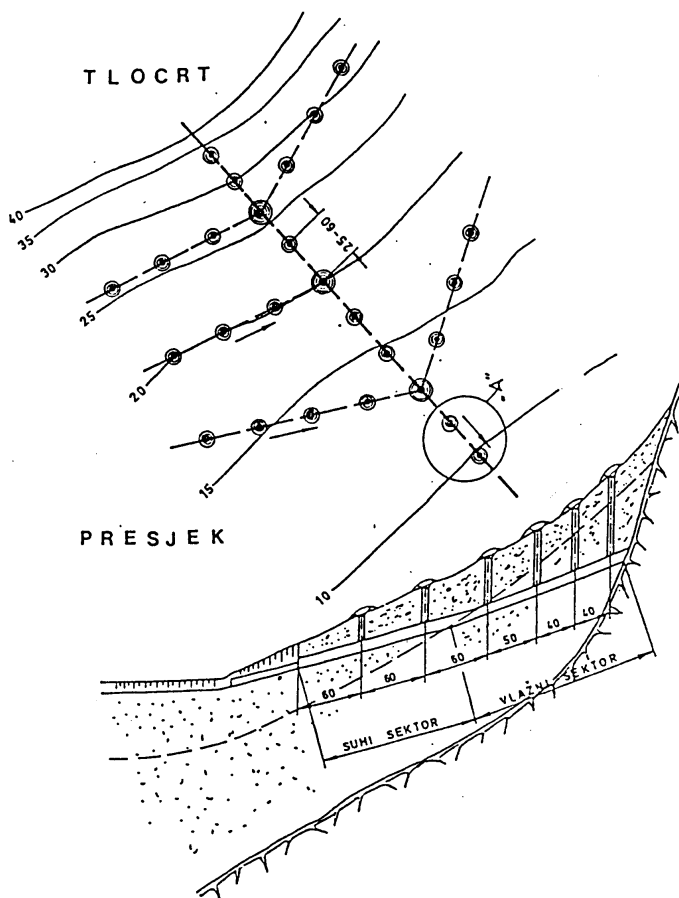
U zadnjih 50-ak godina u Hrvatskoj i u bivšoj Jugoslaviji sagrađeno je bar stotinjak visokih brana s pripadnim akumulacijama. Iako, dugoročno gledano, više-manje u svim tim slučajevima, postojala je potreba za dimenzioniranje akumulacija za višenamjensku upotrebu (obrana od poplava, navodnjavanje, vodoopskrba i dr.), ali je većina njih planirana samo za energetske potrebe. Ipak, u zadnjih nekoliko desetljeća, izrađen je veći broj studija (vodoprivrednih osnova i vodoprivrednih planova) u kojima se predviđa da se budući sustavi grade za višenamjenske potrebe. Kao primjer dobro strukturiranog plana spominje se »UNDP/FAO-JUG/43/009 – Study of Water Resources and their Exploitation in Istra – Yugoslavia«. Iako plan obrađuje samo sustave za razvoj natapanja u Istri, faza raspoloživih količina vode i korištenje voda razrađena je za buduće potrebe svih potencijalnih korisnika, a akumulacije dimenzionirane i za zaštitu od voda. Prvi plan je dovršen 1979., a njegova novelacija 1998.

2.2.1. Sustavi staroga svijeta

Svi sustavi za navodnjavanje koji su građeni od samih početaka (prije približno 7.000 godina) pa do 30-ih godina XX. stoljeća bili su površinskog tipa. U toj kategoriji najviše se koristilo potapanje i prelijevanje. Kao izvorišta vode najviše su se koristili prirodni vodotoci (Egipat, Mezopotamija), zatim podzemne vode, naročito u Perziji (Iran), Indiji i Kini gdje su se uz vodotoke koristile u većoj mjeri i akumulacije.

Ako se izuzme Egipat koji je u najvećoj mjeri koristio vode površinskih vodotoka (uglavnom Nil), a u manjoj mjeri i podzemnu vodu, u Maloj Aziji (pretežno Mezopotamiji), koristila su se različita izvorišta. Tako su se u Babiloniji natapni sustavi u najvećoj mjeri opskrbljivali vodom iz velikih rijeka (uglavnom Eufrata i Tigrisa), a u susjednoj Perziji razvio se specifičan oblik kaptiranja (sakupljanja) podzemne vode poznat u literaturi kao kanati (ganati).

Računa se da su prvi kanalski sustavi u Iranu počeli se graditi oko 5.000 g. pr.n.e. Gradnja takvih sustava kasnije se postupno širila u većem broju zemalja posebno u Afganistanu, Turkestanu, Cipru, Španjolskoj, Kini, te u nekim zemljama Južne Amerike.

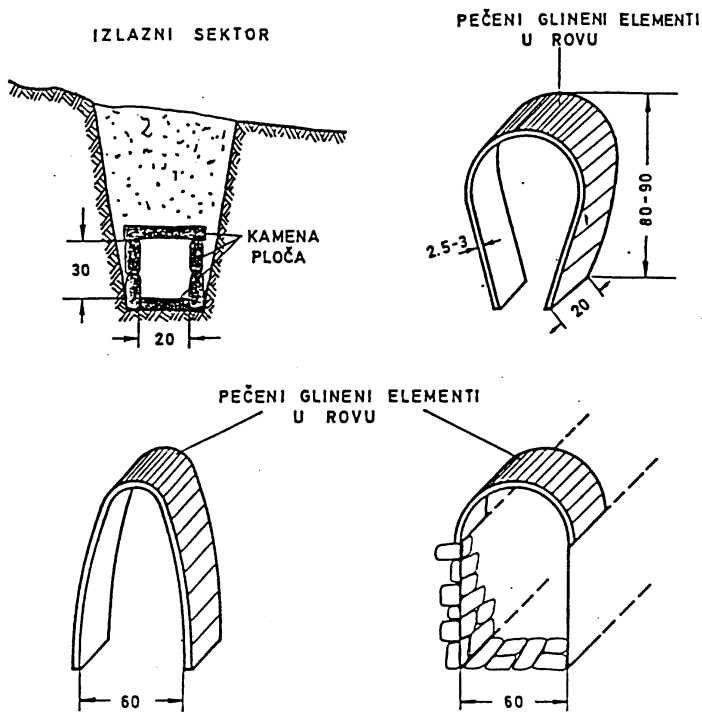


Slika 9: Tlocrt i presjek tipičnog kanatskog sustava (9)

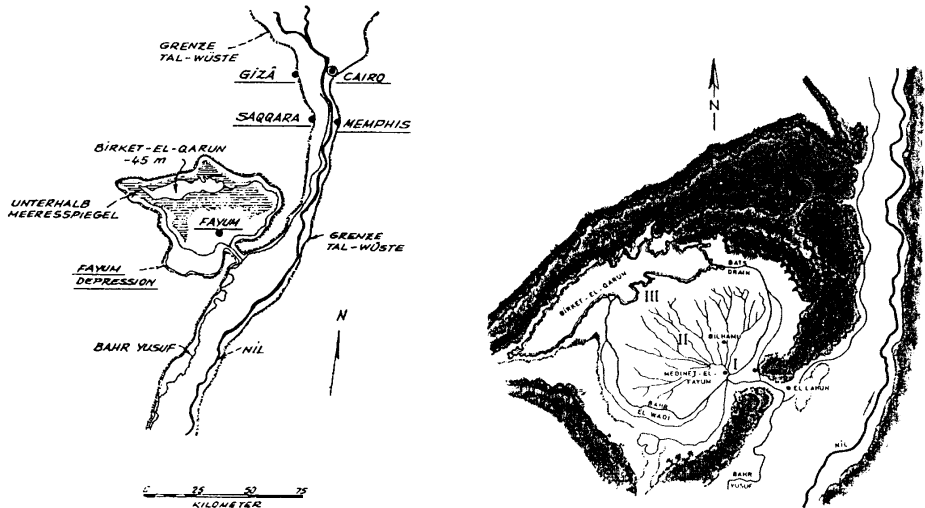
U aridnom dijelu Perzije, gdje se oborine kreću od 70 do 300 mm, sagrađeno je oko 22.000 kanata ukupne izdašnosti oko $500 \text{ m}^3/\text{s}$ i duljine mreže od oko 270.000 km. Ovi su sustavi natapali oko 1,5 milijuna hektara obradiva tla, što je polovica natapnih površina danas (3,1 mil.ha u 1970.).

Neke sačuvane mreže, građene u doba perzijskog cara Darije, svjedoče o visokoj tehničkoj kulturi toga doba, što se vidi iz primijenjenih poprečnih presjeka prikazanih na priloženoj slici. Voda se iz kanata (bunara) najčešće dizala pomoću perzijskog kola na bazi beskonačne trake pomoću životinjskog pogona.

Ovi se sustavi, u pravilu, grade na padinama brežuljaka ili planina u predjelu prostranih ravničastih površina. Okna se grade na razmacima 25—60 m i služe za izvoz materijala. Po dovršenju iskopa sabimi se rov oblaže zidom od opeke ili kamena, a ponekad se ožbuka. Neka se okna urede za crpljenje vode, a ostala se na vrhu zatvore kamenim čepom. Ima tunelskih dovoda koji su dugi i do 20 km.



Slika 10: Karakteristični presjeci kanatskih kolektora (9)



Slika 11: Područje akumulacije Moeris (7)

Već su u više navrata i na više mjesta opisivani sustavi i metode natapanja u starom Egiptu, pa se ovdje to neće ponavljati, već će se spomenuti samo neke zanimljivosti. Jedna od prvih je ta da zemlja od 100 milijuna hektara ima samo 3,5 % obradivih površina (3,5 mil.ha), te da je ukupno obrađena površina jednaka natapnoj (dakle natapa se 100 % obradivog tla). Međutim površine koje su se obrađivale kroz povijest bitno su varirale. Tako je na pr. prije 3—4.000 tisuća godina obrađivano više-manje isto kao i danas, t.j. oko 3,5 %, dok je na pr. prije oko 200 godina ta vrijednost iznosila oko 1,2 %. Znakovito je i to ta je Egipt, u doba Rimskoga carstva bio veliki izvoznik žita u Rim. Iako je od starih spomenika u svijetu najpoznatija Keopsova piramida koja je i najstarija od sedam svjetskih čuda i jedina do sada sačuvana, ipak se čini da je akumulacija Moeris kod Faiyuma bila još veličanstvenija. Sagrađena je u XVIII. stoljeću pr.n.e., a bila je locirana oko 80 km južno od Kaira. Služila je za izravnjanje protoka Nila, odnosno za skladištenje vode za natapanje. Svi kroničari staroga svijeta opisuju to veličanstveno djelo mada u njihovo doba ono uglavnom nije više postojalo. Tako Herodot navodi da je jezero imalo opseg od oko 360 km s najvećom dubinom od 90 m. Kasnije i Strabon i Plinije navode slične dimenzije, što bi se moglo zaključiti da je jezero (more!) imalo zapreminu od oko 450 milijardi kubnih metara, što nije vjerojatno. Drugi pak izvori navode da je jezero imalo površinu od 1.800 km² iz čega bi se moglo zaključiti da je imalo zapreminu od oko 150 milijardi kubnih metara. Kako bilo da bilo, radi se sasvim sigurno, o znamenitom djelu.

Drugo veoma zanimljivo područje hidrotehničkog graditeljstva antike nalazi se u Libiji. Ova zemlja, iako, što se antičkih spomenika tiče, nije poznata kao već ranije spominjane kolijevke ljudske civilizacije, krije neke osobitosti kakvih nigdje na svijetu nema. U prvom redu tu se nalazi Leptis Magna, bez premca najušćuvaniji rimski grad na svijetu. U zemlji, u Rimsko doba, bilo je u pogonu bar desetak vodovoda, od kojih neke građevine (vodospreme), bez većih zahvata, mogle bi se i dan danas upotrebljavati. Međutim, najzanimljivije ostatke rimskog hidrotehničkog graditeljstva čini veliki broj 'cisterni'. Radi se zapravo o nekoj vrsti podzemnih akumulacija koje su građene prvenstveno za natapanje, ali i za opskrbu vodom stanovništva i stoke. Locirane su na najnižim kotama terenskih depresija kako bi se, za vrijeme oborina, osigurao dotok vode sa što veće površine. Računa se, da je u obalnom pojasu države, u Rimsko doba, sagrađeno ne manje od 30.000 jedinica ukupne zapremine od oko 4 milijuna kubika.

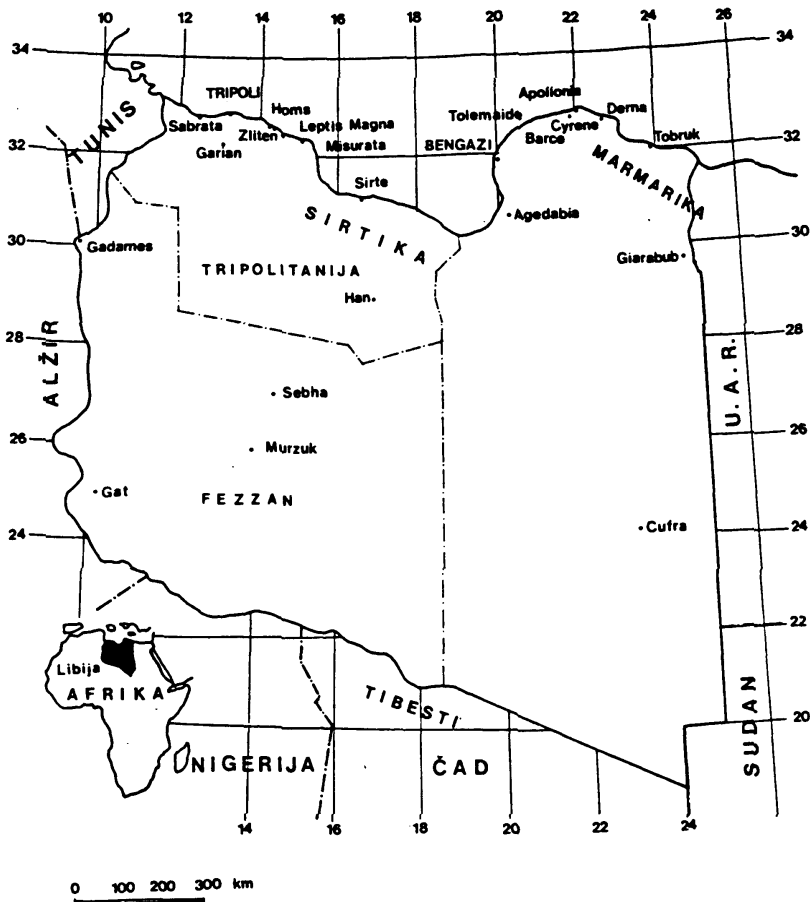
Samo u razdoblju od 1957. do 1962. obnovljeno je (očišćeno) ukupno 8.381 jedinica ukupne zapremine 996.000 kubnih metara. Zapremina im varira od 30 do 3.000 kubika, ali je pronađeno primjeraka i od 15.000 m³. Sve odreda su građene tako da je površinski sloj vapnenica debljine 0,5—2,0 m služio kao pokrovna ploča. Ovaj bi se sloj probio samo na jednom mjestu (na najnižoj točki uvale), iskopao vertikalni bunar dubljine 4—5 m i započeo iskop podzemnog zališnog prostora u mekim vapnencima. Kod malih jedinica iskopala bi se samo jedna komora, a kod većih i najvećih čitav sustav tunela širine 3—4 m i isto tolike visine. Po završenom iskopu, stjenke su se ožbukale nepropusnim mortom, potom čitav sustav ispunio granjem i zapalio da bi se žbuka pretvorila u čvrstu i nepropusnu glazuru.

U ostalim krajevima staroga svijeta, kao što je južna Europa, zemlje Magreba, dalekog istoka i dr. također je zabilježen intenzivan i osebujan razvoj vodnog graditeljstva, ali s obzirom da tu nisu poznati neki specifični oblici gradnji, neće se detaljnije opisivati.

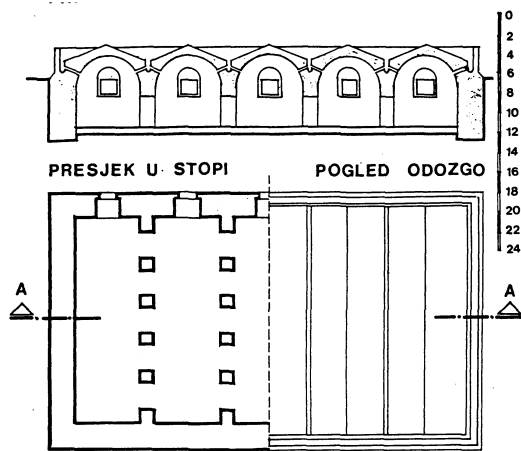
Kao što je već ranije spomenuto visoki stupanj razvoja vodnog graditeljstva u daljoj prošlosti, uvijek je popraćen s razvojem svih ostalih društvenih i tehničkih znanosti, pa se postavlja pitanje da li je visoki stupanj razvoja vodoprivrede omogućio i razvoj svih ostalih djelatnosti ljudskoga društva, ili obratno. Dakako, na to je piranje decidirano nemoguće odgovoriti ali je sasvim sigurno da razvoj društvenih znanosti (filozofije,

religije, književnosti, prava i sl.) nemoguće je i zamisliti bez osiguranih osnovnih životnih uvjeta društva, a za takav trend vodoprivreda je, bez sumnje, osnovni preduvjet. Čak i danas, u osvit XXI. stoljeća, vrijedi poznata uzrečica da nema razvijene zemlje bez razvijene poljoprivrede.

Drugi važan čimbenik koji je, bez sumnje, izuzetno važan za svestrani intenzivan razvoj zemlje je adekvatan – centraliziran – ustroj zemlje. Sve su velike civilizacije staroga svijeta nastale i razvile se samo u doba postojanja prostраниh država s dobro ustrojenim pravnim i administrativnim sustavom. Danas za takav trend nije više uvjet prostorna (ma da je poželjan) zemlja, ali je to bez sumnje dobra organizacija (politika). Sva je prilika da će u budućnosti – što dalje to više – ustroj državne zajednice biti presudan za razvoj i blagostanje zemlje.



Slika 12: Rimske naseobine u Libiji (9)



Slika 13: Vodosprema za grad
Leptis Magna (9)

2.2.2. Sustavi modernog doba

U rasponu od pada Zapadnog rimskog carstva (476.) pa gotovo do francuske revolucije (1789.) bilježi se veoma spor razvoj graditeljstva. Dapače u mnogim se krajevima javlja dekadencija i nazadovanje tako da su mnoge građevine i sustavi zapušteni i napušteni. Nestaju velike civilizacije staroga svijeta i s njima osebujan fond hidrotehničkih i drugih građevina i sustava. Samo manji dio tog bogatstva uspio je nadživjeti tu 'milenijsku krizu' i sačuvati se do današnjih dana, te svjedočiti o visokom stupnju razvoja tih davnih civilizacija. To se uglavnom odnosi samo na građevine koje su izvedene iz postojećih gradiva (zide od kamena ili opeke u postojanom vezivu, podzemne građevine i sl.). Bilo je to razdoblje brojnih političkih kriza i ratova, najprije uzrokovano čestim seobama naroda (uglavnom između V. i X. stoljeća), a kasnije borbama za prevlast pojedinih dinastija, rascjepkanost teritorija i čestim pojavama zaraznih bolesti, koje su u nekim periodima pustošile čitave regije. Kao zanimljivost svjetskih razmjera može se spomenuti primjer Italije (Apeninski poluotok). Prema postojećim podacima, to je područje, u doba Rimskog carstva, nastavalo 10—12 milijuna stanovnika, da bi se nedugo nakon njegove propasti, taj broj sveo na svega 5—6 milijuna. Nakon toga, trebalo je više od 1200 godina da bi se uspostavila ranije postojeća gustoća stanovništva. Naime, tek 1700. godine na ovom je području živjelo oko 11 milijuna stanovnika, da bi gustoća od tada pa do danas bila u stalnom usponu i dostigla današnju vrijednost od oko 56 milijuna stanovnika.

Kao izuzetak od navedenog trenda treba spomenuti područja osvojena arapskim širenjem najprije na istok, a potom na zapad. U rasponu od VI. do IX. stoljeća osvojili su cijeli Bliski istok, sjevernu Afriku i dio južne Europe (Španjolsku, dio južne Italije). S obzirom da su Arapi bili vrsni poznavaoци tehničkih i drugih vještina i znanosti, širili su to svoje umijeće i u osvojenim zemljama. Najznačajniji domet razvoja natapanja postigli su u Španjolskoj, posebno u pokrajinama Valencije, Granade i Andaluzije.

Postupno obnavljanje i građenje natapnih sustava u sjevernoj Italiji zabilježeno je već u X. stoljeću i to najprije u Lombardiji, a potom i u Mletačkoj republici. Nosioci tog razvoja su bili Crkva (posebno samostani) i veleposjednici.

Ipak, unatoč navedenom, pravi razvoj (dakako u moderno doba) natapanja počinje tek iza 1800. godine. Prema Schmeliju (1973.) kretanje površina pod natapanjem za čitav svijet izgleda ovako:

- 1800.— 10 milijuna ha
- 1900.— 40 milijuna ha
- 1950.— 160 milijuna ha
- 1969.— 200 milijuna ha
- 1975.— 223 milijuna ha (procjena FAO – 1975.)
- 1990.— 273 milijuna ha

Iz izloženog je razvidno da su se ukupne površine pod natapanjem za navedeno razdoblje od nešto manje od 200 godina povećale za gotovo 30 puta.

I, na kraju ove točke spomenut ćemo nekoliko najvećih vodoprivrednih sustava sagrađenih tijekom XX. stoljeća:

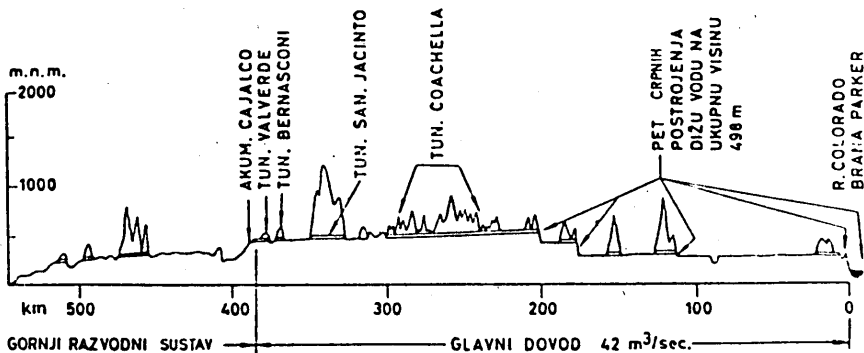
— Za opskrbu vodom područja Los Angelesa sagrađen je vodoprivredni sustav nazvan Colorado River Aqueduct, skup akumulacija, hidroelektrana, crpnih postaja, otvorenih i zatvorenih dovoda čime se 42 m³/s vode iz rijeke Kolorado prebacuje u Južnu Kaliforniju na dužini od oko 500 km (dužina svih dovoda je oko 1000 km), a diže se na visinu od oko 500 m.

— State Water Project s dužinom dovoda od oko 1330 km također opskrbljuje vodom Kaliforniju.

— All American Canal koji opskrbljuje vodom natapne površine Imperial Valley, također u Kaliforniji ima kapacitet 430 m³/s, dužinu dovoda oko 1300 km s dizanjem vode do 1000 m visine.

— Karakunski kanal u bivšem SSSR-u, ukupne dužine dovoda od oko 850 km i kapaciteta od 370 m³/s opskrbljuje vodom oko sedam milijuna ha tla u Karakunskoj pustinji u predjelu Aralskog jezera (mora).

— Sjeverokrimski kanal dužine 403 km i kapaciteta oko 300 m³/s opskrbljuje vodom natapne površine na tom sektoru

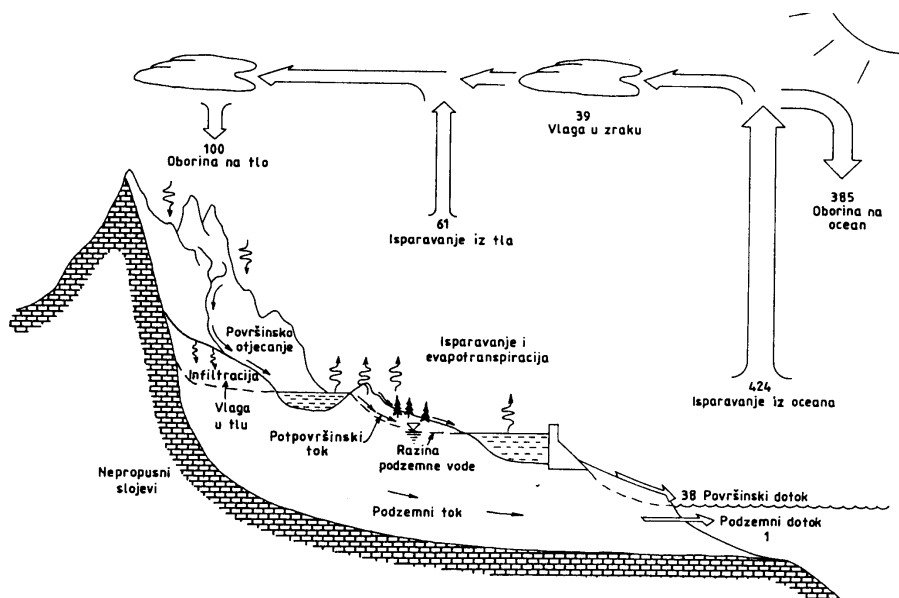


Slika 14: Akvedukt rijeke Kolorado (9)

3. Hidromelioracijski sustavi i fizičko okruženje

U hidrotehnici, kao i u svakoj drugoj znanstvenoj disciplini postoje opći i posebni predmeti, odnosno sadržaji. Nema nikakve sumnje da su u hidrotehnici, odnosno u vodnom graditeljstvu osnovni predmeti hidraulika i hidrologija. Hidraulika proučava stanje i zakonitosti kretanja realne tekućine (vode), dok hidrologija pojavu i kruženje vode u prirodi. Ta dva predmeta osiguravaju temeljne zakonitosti i metodologiju za planiranje i projektiranje svih hidrotehničkih građevina i sustava. Može se slobodno reći da onaj tko je savladao te dvije discipline da posjeduje bar 50 % znanja od ukupno potrebnog za adekvatno 'upravljanje' vodnim gospodarstvom.

Kao što je poznato, hidrologija proučava kruženje vode u atmosferi, na površini zemlje i u litosferi. Nema nikakve sumnje da su ta saznanja oduvijek bila od kardinalnog značenja za život čovjeka na Zemlji. Kao što to obično biva, značajan korak naprijed u hidrologiji, posebno meteorologiji, učinjen je za vrijeme Drugoga svjetskog rata kada je postala bitan čimbenik u stratejskim opredjeljenjima kod planiranja najznačajnijih ratnih ciljeva. Dakako, rat nije 'zaslužan' samo za razvoj hidrologije već i čitavog niza drugih znanstvenih disciplina, koje su se potom, u mirnodopskim uvjetima brzo uzdigle na zavidnu razinu.

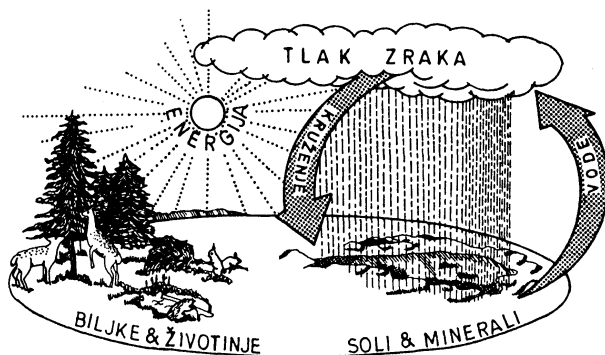


Slika 15: Hidrološki ciklus (21)

Danas je planiranje i razvoj bilo koje grane vodnog gospodarstva praktički nezamislivo bez solidnih hidroloških podloga. Mnogi ključni problemi koji su prisutni u hidrotehnici neposredno su vezani za definiranje određenih hidroloških zakonitosti, odnosno utvrđivanja realnog stanja prirodnih pojava. Hidrološke podloge i proračuni ne samo da osiguravaju osnovu za određivanje dimenzija pojedinih građevina i sustava, već i moguću izvodljivost uopće, te optimalizaciju i gospodarsku učinkovitost posebnog.

Hidrološke pojave u svom neprekidnom kruženju po zemlji bitno utječu na veći broj fizičkih i kemijskih promjena koje se stalno zbivaju kako na površini Zemlje tako i

u podzemlju. Svjedoci smo ogromnih, ne samo morfoloških promjena koje su se dogodile na Zemlji tijekom njezine evolucije u zadnjih nekoliko milijardi godina.



Slika 16: Osnovni elementi prirodne sredina (17)

3.1. Hidromelioracijski sustavi i poljoprivreda

Već je u uvodnoj i prvoj točki ovog poglavlja opisana uloga hidromelioracijskih sustava ne samo u razvoju ljudskoga društva, već i o postanku i procvatu najvećih civilizacija staroga svijeta. Kao što je poznato svaki suvremeni biljni organizam može se razvijati samo uz postojanje tla koji mu služi kao skladište za hranjiva (anorganski spojevi) i vodu i za usidrenje žiljem, te nadzemnog dijela s kojim prima svjetlo i toplinu i najčešće služi i za reprodukciju. Kao što je poznato ljudska je zajednica u najranijim zaćecima živjela samo sakupljanjem od prirode danim proizvodima (voće i divljač). Razvojem zajednica i povećanjem populacije bilo je neophodno prehrambene proizvode uzgajati 'umjetnim' putem što je dovelo do pojave poljoprivrede. U zadnjih nekoliko tisuća godina, kako se povećavao broj stanovnika, tako se više-manje povećavala i obradiva površina. To se uglavnom obavljalo tako što su se krčile šikare i šume, te osvajali pašnjaci, livade i močvare, a sve 'na teret' biljnih i životinjskih vrsta koje su na njima obitavali. Dakako, razvojem, odnosno povećanjem broja žitelja na Zemlji, dovelo je do promjene 'ekološke' slike Zemlje – brojne biljne i životinjske vrste su odumrle (istrijebljene) zbog oduzimanja njihovih staništa od strane čovjeka. Kulminacija toga procesa u većini razvijenih zemalja pojavljuje se negdje na početku XX. stoljeća. Zahvaljujući ubrzanom razvoju znanosti, tada se problem osiguranja dovoljne količine hrane usmjeruje u drugom pravcu, tj. ne u povećanju obradivih površina već u povećanju prinosa po jedinici površine.

Naglim razvojem znanosti i industrijalizacije većine zemalja svijeta u XX. stoljeću nije se 'promijenila slika' samo industrijske proizvodnje već i poljoprivredne. Naime, masovna i jeftina proizvodnja industrijskih roba izazvala je i korijenite promjene u gospodarenju poljoprivrednim tлом, što je uzrokovalo svojevrsnu 'društvenu revoluciju' na selu. U drugoj polovici XX. stoljeća, u svim razvijenim zemljama svijeta, nastupa raslojavanje sela i prilagođavanje radnih i životnih uvjeta primjerenih razvijenom industrijskom društvu. Ubrzani razvoj visoko učinkovite mehanizacije, primjerene više-manje za sve agrotehničke operacije, neprekidno ubacivanje na tržište novih ratarskih i voćarskih sorti koje osiguravaju daleko veće i kvalitetnije prinose, proizvodnju mineralnih gnojiva i zaštitnih kemijskih sredstava koje omogućuju neprekidno održanje planirane proizvodnje, slično kao u industriji, bitno smanjuje potrebu radne snage uz

istovremeno osjetno povećanje proizvodnje kako po jedinici površine tako i zaposlene radne snage.

Takav trend razvoja poljoprivrede doveo je do stanja da se u mnogim zemljama, unatoč bitnom povećanju broja stanovnika a time i povećane potrebe hrane, smanjuju obrađive poljoprivredne površine. Današnje stanje znanstvenih i tehnoloških dostignuća u agraru je takvo da je moguće, ne samo postojeće već i povećani broj (oko 10 milijardi ljudi) stanovnika prehraniti. Činjenica, da veći broj pučanstva oskudijeva u hrani nije uzrokovan nedostatnom proizvodnjom, već neadekvatnom raspodjelom uzrokovanom neprimjerenom politikom.

Iako se dostignutim znanstvenim i tehnološkim razvojem može proizvesti dovoljno

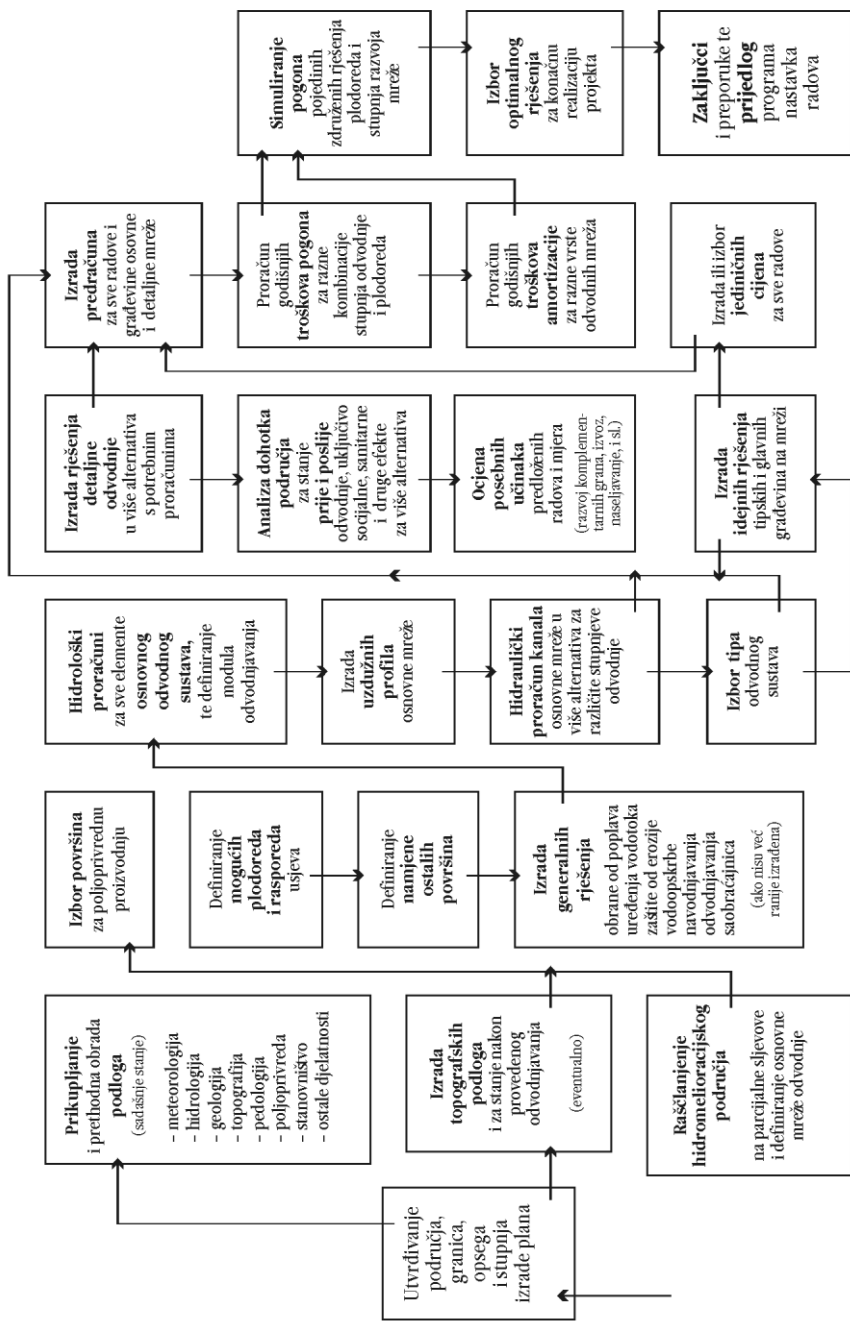
hran
stanj
ravn
se b
čovj
vrste
tijek
neki
prob

velik
da j
jedin
klim
je o
misli
prev
(odv

'kul
mor
'Kul
polj
pove
održ
povr
usp

odvo
osig
hidr
prid
vrije

peri
10),



akvo
šknoj
avila
vojio
jske
da u
jeni
e se

an, u
nuto
a po
(tlo,
čega
a se
a ni
acija

) na
era i
udij:
dnje
e na
bi se
se o
no o

kod
nosti
(na
) , te
ugih

ratni
tino i
ome

Slika 17: Dijagram toka izrade plana nekog odvodnog sustava (11)

da bi planiranje mreža višeg stupnja osiguranja bilo skuplje od koristi (smanjenje šteta koje bi takove mreže osigurale). Odmah treba naglasiti da korist, odnosno šteta u ovom slučaju je višedimenzionalna kategorija. Ona ovisi u prvom redu o gospodarskom sustavu zemlje i politici prema poljoprivredi. Da bi se utvrdile realne vrijednosti u novčanim iznosima za pojedine veličine osiguranja, odnosno proveo postupak optimalizacije izbora odgovarajućeg stupnja (povratnog perioda) bilo bi neophodno analizirati veći broj sustava s različitim osiguranjem a za svakog i odgovarajući gospodarski učinak. Naime, trebalo bi provesti optimalizaciju sustava za odvodnju površine A koja se sastoji od većeg broja jedinica na kojima se uzgajaju kulture a, b, c ..., i ... n, tj. imat ćemo:

$$A = \sum_1^n A_i$$

U postupku planiranja moguć je izbor većeg broja plodoreda, npr. tipa I, II ..., M ..., N. Pretpostavimo da smo za početak izabrali plodored tipa M koji odgovara kulturama a, b, c ... n.

Kod planiranja odvodne mreže također je moguć veći broj rješenja, npr. tipa 1, 2, ... 10 ... koje su sve programirane. Mi ćemo za početak analizirati mrežu tipa p. Neka je, nadalje, porast dohotka po ha d_p^i koji odgovara usjevu i u plodoredu M i odvodnoj mreži tipa p (gdje je d_p dohodak u izabranim uvjetima).

Dakle, uz date uvjete porast ukupnog godišnjeg neto dohotka za čitavo melioracijsko područje bit će:

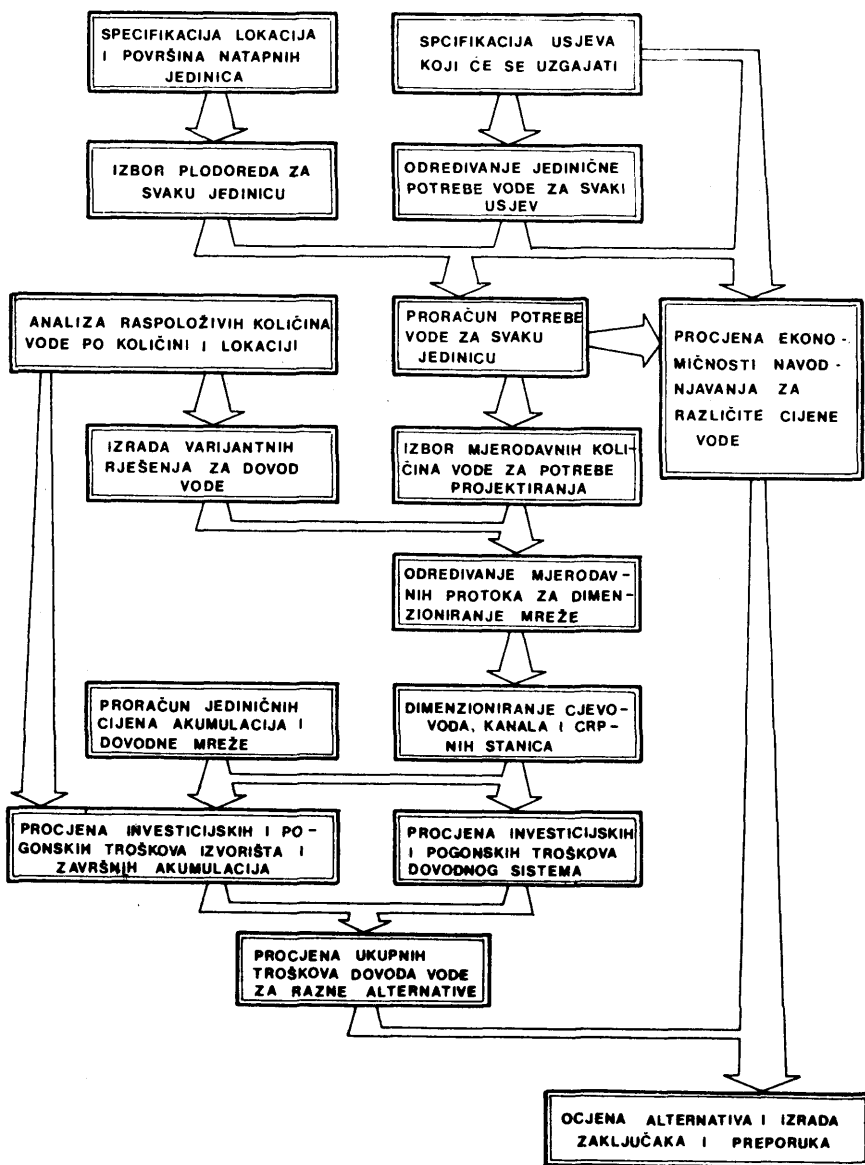
$$D_p^M = \sum_1^n (A_i \cdot d_p^i)$$

Na taj način, tj. s pomoću ovog izraza analiziramo veći broj alternativa združenih vrijednosti M i p i nastojimo pronaći koji skup ovih vrijednosti maksimira D_p^M čime smo problem riješili, odnosno odredili optimalne veličine M i p za dano melioracijsko područje. Kod toga treba voditi računa o vijeku amortizacije pojedinih komponenata sustava uz određene uvjete investiranja, o porastu neto dohotka u budućoj eksploataciji, kao i o trajanju radova na izgradnji sustava.

Posebni problem u ovoj domeni predstavlja i određivanje mjerodavnog dotoka crpnim postajama za odvodnju. Bičanić (1985.) navodi upravo nevjerovatni maksimalni raspon od 1 : 86 (u slivu Bosuta 0,11 l/s/ha, a u donjoj Neretvi 9,5 l/s/ha, pa čak i veći, jer se za područje Vidrice planiralo čak 25 l/s/ha. Nema nikakve dvojbe da postoje određene, pa i značajne razlike, kako meteorološke, tako i hidrološke između pojedinih poljoprivrednih rajona zemlje, posebno panonske nizine i obalnog pojasa, ali one ni izdaleka nisu tolike da bi uvjetovale takove raspone. Čini se da je ovdje glavni problem u neadekvatnom separiranju unutarnjih od vanjskih voda. Crpnim se postajama taj problem ne može i ne smije rješavati. Vrijeme je da se ovdje uvede stanoviti red, jer to pričinjava velike štete vodnom gospodarstvu i s tim u vezi poljoprivredi.

Iz izloženog je očigledno da je ovaj postupak dosta složen, kompleksan i skup i dugotrajan. Stoga bi trebalo razmotriti mogućnost da se kod realizacije većih odvodnih sustava, pojedini podsustavi detaljne odvodnje planiraju s različitim stupnjem osiguranja, te da se nakon višegodišnjeg promatranja gospodarske učinkovitosti donesu odgovarajući zaključci i preporuke o najpovoljnijem modelu za buduće potrebe.

Nema nikakve dvojbe da je jedan od osnovnih preduvjeta za skladan razvoj ljudske zajednice u budućnosti osiguravanje dovoljne količine hrane i ostalih poljoprivrednih proizvoda. S obzirom na to što su više-manje sve raspoložive poljoprivredne površine već iskorištene, to će se buduće potrebe za poljoprivrednim proizvodima moći namiriti jedino povećanjem proizvodnje po jedinici površine. A povećanje priroda ovisi o dva ključna parametra: sorte kulture i osiguranje adekvatnih agrotehničkih mjera, od čega je najznačajnije opskrba vodom, odnosno natapanje.



Slika 18: Dijagram toka izrade plana nekog natapnog sustava

Natapanje u sklopu poljoprivredne proizvodnje omogućuje:

- a) postizanje optimalnih (ne maksimalnih) priroda poljoprivredne proizvodnje u skladu s tehničko-gospodarskom osnovom određenog imanja ili područja i s proklamiranim ciljevima društvenog razvoja;
- b) korištenje za poljoprivrednu proizvodnju i onih površina koje se zbog nedostatka prirodne opskrbe vodom za tu namjenu ne bi mogle upotrijebiti;
- c) uvođenje u plodore i onih kultura koje u tome klimatskom pojasu, u prirodnim uvjetima ne bi uspijevale;
- d) zaštitu kultura od prirodnih nepogoda (npr. mraza);
- e) osiguranja nacionalnog programa prehrane stanovništva (samo u nekim zemljama);
- f) postizanje kvalitete uroda radi određene namjene.

Kako je natapanje u prvom redu mjera za osiguranje stabilnosti proizvodnje, postizanje visokih priroda, te uvođenje novih kultura, ovo je u funkciji gospodarskog i političkog ustroja zemlje. Prema tome, sve metode i obrasci s kojima se definiraju osnovni principi planiranja, te utvrđuju kapaciteti pojedinih građevina i sustava su, u izvjesnoj mjeri, vezani za vladajući društveni sustav zemlje.

Danas se u svijetu natapni sustavi planiraju s osiguranjem od 60 % do 90 %, ovisno o proizvodnom programu područja. Opći prosjek, odnosno najčešće primjenjivana vrijednost iznosi 80 %, što znači da se dopušta da svake pete godine u prosjeku kapacitet sustava ne bi bio dostatan za pokriće potreba. Dakako, niski postotak (60, 70 %) odnosi se na niskoakumulativne kulture (pašnjake i sl.), a visoki na veoma unosne i profitabilne kulture.

Slično kao i kod odvodnje ni ovdje nema značajnijih istraživanja o tome koje osiguranje treba primijeniti u nekom konkretnom proizvodnom programu. To se posebno odnosi na našu zemlju gdje u toj domeni nema praktički nikakvih istraživanja. Za pravilan i racionalan razvoj velikih površina pod natapanjem, koji neposredno predstoji, trebalo bi što prije provesti odgovarajuća istraživanja i utvrditi stupnjeve osiguranja za određene vrste projekata, kako se ne bi uzaludno trošila velika materijalna sredstva. Takav bi postupak ujedno osigurao ekonomično poslovanje poduzeća koja bi koristila te natapne sustave.

3.2. Hidromelioracijski sustavi i zaštita okoliša

Danas ekologiju treba shvatiti kao odnos društva prema životu, prema razvoju, prema budućnosti. Ona zadire u sve pore društvenih i gospodarskih aktivnosti i ne može se odvojeno razmatrati i rješavati. Ona zadire u vode, tla, zrak i svekoliku prirodu, prisutna je u svakoj gospodarskoj grani i zadire u svaki razvojni projekt.

Uzimajući u obzir da je ukupan broj stanovnika na Zemlji u početku nove ere tek prešao brojku od 100 milijuna, u početku XIX. stoljeća 900 milijuna, sredinom XX. stoljeća 2,7 milijardi, a sredinom 80-ih XX. stoljeća i pet milijardi s trendom da se (zasad) broj udvostruči svakih 40—50 godina, nije ni čudo što ekologija sve do unatrag nekoliko desetljeća nije imala svoje mjesto među znanstvenim disciplinama. U ta vremena raspoloživa prirodna bogatstva (voda, zrak, šume, tlo) praktički su bila neograničena u odnosu na potrebe ljudske zajednice, ne samo zato što je bila bitno malobrojnija, nego i zato što su tadašnje potrebe pojedinca bile u prosjeku višestruko manje nego sad. Dakako, to je prošlost koja se neće više nikad ponoviti. U toj prošlosti osnovna zadaća stručnjaka (građevinara) bila je da u određeno vrijeme, za određeno područje i zajednicu, na najlakši i najjeftiniji način planira i organizira eksploataciju

nekoga ili nekih prirodnih bogatstava (resursa), bez obzira na tadašnje i buduće negativne posljedice samo u tom kraju ili šire.

Danas je više-manje u svim zemljama svijeta prevladala svijest da svaki razvojni projekt mora u prvom redu imati zdravu ekološku osnovu i da se jedino na toj osnovi može planirati razvoj. Istina je da je takav stav zauzet u osnovnim dokumentima državnih institucija i stručnih udruženja, ali isto je tako istina da to nije ušlo u svakodnevni život kako svih tih institucija, tako i shvaćanja pojedinaca. Još i danas ima mnogo odstupanja od proklamiranih načela i općih stavova, a neki kadrovi ne mogu pratiti i prilagoditi se novim odnosima. Trebat će još mnogo truda i vremena da se u pojedinim sredinama uskladi odnos između prihvaćenih stavova i svakodnevne prakse.

A što je, zapravo, zdrava ekološka osnova? To je:

a) izrada kompleksnih i integralnih planova razvoja koji će se skladno uklopiti u ekološko okruženje, a osobito:

— omogućiti opstanak svih endemskih vrsta nakon realizacije sustava;

— sve biološke intervencije u slivu (pošumljavanje, poribljavanje) nakon izgrađenog sustava obaviti uz pomne analize postojećeg stanja, vodeći računa da se ne naruši biološka ravnoteža;

— građevine u zoni naselja planirati tako da se skladno uklope u okoliš; izbjegavati velike betonske konstrukcije i vidljiv kameni nabačaj da se stanovništvu osigura ugodniji i prisniji ambijent;

— protuerozivnim zahvatima osigurati adekvatnu zaštitu akumulacija i poljoprivrednog tla od zasipavanja nanosom, te šumskog površinskog sloja od ispiranja;

— osigurati normalni reprodukcijski i životni ciklus svih životinja u slivu adekvatnim tehničkim rješenjima (npr. ribljim stazama kod brana);

— općenito uzevši, treba osigurati ne jednako, nego povoljnije stanje biotopa za sve biljne i životinjske vrste u slivu, nakon gradnje vodoprivrednog sustava;

b) vladajuće načelo da nema eksploatacije prirodnih bogatstava (vode, tla, šuma i dr.), nego samo da se ti resursi koriste za različite potrebe i svrhe, ali u mjeri i na način koji će osigurati njihovo postojanje u uobičajenim prirodnim ciklusima. Koristiti se može obnovljivi dio resursa, odnosno zagaditi se može okoliš samo u onoj mjeri u kojoj postoji regenerativna sposobnost prirode.

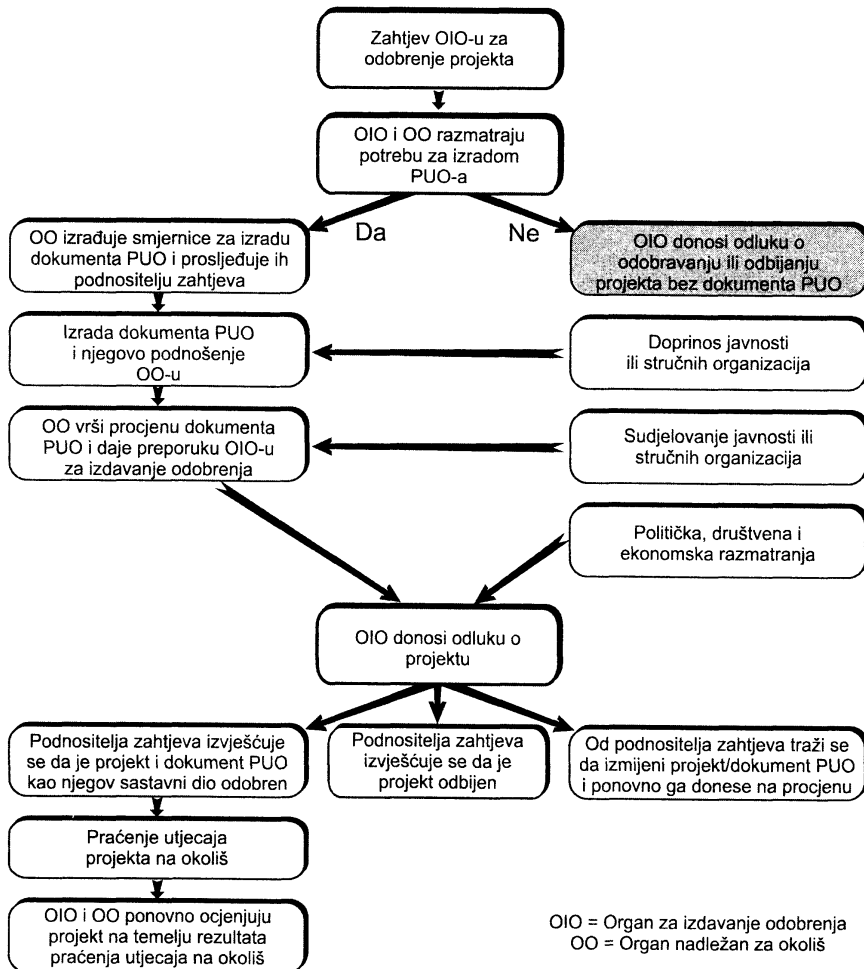
c) načelo da se svi vodoprivredni planovi rade dugoročno i za sliv kao cjelinu na osnovi opće prihvaćenih vodoprivrednih postulata;

d) osiguranje organizacijskih, pravnih i financijskih preduvjeta za ostvarenje navedenih načela.

Kao globalni primjeri kardinalnog narušavanja ekosustava hidromelioracijskim zahvatima spominju se primjeri doline Jordana i 'melioracije' Karakumske pustinje u predjelu Aralskog jezera (mora).

Hidromelioracijski sustav Aralskog mora gradio se 30-ak godina (1950.—80.), a prostire se na pet središnjeazijskih republika bivšeg SSSR-a ukupne površine oko 3,5 milijuna km² gdje živi oko 35 milijuna stanovnika. Vodama rijeka Amu-Darije i Sir-Darije sagrađen je sustav za natapanje oko 7.600.000 ha pustinjskog tla (pustinja Karakum). Dakako, ove su rijeke stoljećima, održavale hidrološku ravnotežu Aralskog mora. U sklopu sustava sagrađeno je više tisuća kilometara glavnih natapnih kanala (samo najveći, Karakum, dužine je 840 km i protoka 320 m³/s, dvadesetak akumulacija ukupne zapremine 58 km³ i mnoge druge građevine. Godišnja potreba vode iznosi 97,32 km³ (1987.). Usporedbe radi, prosječni godišnji protok Save kod Zagreba iznosi 10,32 km³. Ovaj golemi sustav, zbog nepoštivanja osnovnih ekoloških načela, izazvao je, u

veoma kratkom roku, ekološku katastrofu kakva dosad u svijetu nije zabilježena. U pustinjskom podneblju s prosječnim godišnjim oborinama od oko 100 mm i srednjim dnevnim temperaturama zraka u srpnju od 35°C more se potkraj osamdesetih po volumenu za 70 %, a po površini za 54 % (površina prije zahvata iznosila je 60.000 km²), dok se salinitet bitno povećao. Posljedice su stravične: nestale su mnoge riblje vrste koje su ranije omogućavale prosječan godišnji ulov od 44.000 tona ribe s oko 15.000 zaposlenih u toj grani; morska se obala mjestimice povukla i do 100 km, a lučka postrojenja i ribarska flota nasukali su se zasuti pustinjskim pijeskom i djeluju poput nekoga Mjesečeva krajolika; iz isušenoga morskog dna (oko 30.000 km²) od slanog pijeska pustinjski vjetrovi podižu svake godine oko 43.000.000 tona materijala raznoseći ga stotinama km uokolo i uništavajući (zaslanjajući) plodno tlo. Dakako, to nije sve: na toj golemoj površini nikla su mnoga naselja i nastanjeno je stotine tisuća doseljenika zaposlenih u proizvodnji i preradi. (Glavni je proizvod pamuk).



Slika 19: Dijagram toka procjene utjecaja na okoliš (18)



Slika 20: Lokacija Aralskog jezera (1)

U zadnjih 10-ak godina snažno se razvijaju pokreti za uspostavu ekološke poljoprivrede. Usljedio je to nakon saznanja da je zagađenost okoliša diljem svijeta i to uslijed prekomjernog korištenja kemikalija (gnojiva, zaštitnih sredstava) dostigla zabrinjavajuću razinu. Takvo stanje, istina osigurava visoke prihode i rentabilnu proizvodnju, ali istovremeno uništavaju biotope čime se uveliko smanjuje ne samo broj jedinki pojedine vrste već i samih vrsta.

Kako se svijet bude sve više suočavao s ekološkim problemima, to će potreba kvalificiranih stručnjaka sve više rasti. Nove i nove tehnologije i programi za lokalne potrebe i na nacionalnom planu bit će neprestano potrebni, a trebat će ih prilagođavati u skladu s načelom da je optimum vremenski i prostorno ograničen. To pogotovo uzimajući u obzir činjenicu da se broj stanovnika stalno povećava tako da se, u sadašnjim uvjetima, broj udvostruči svakih 40—50 godina. Prema tome tamo negdje 30—40-ih godina ovog stoljeća moguće je očekivati prekoračenje praga od 10 milijardi žitelja. To nameće potrebu da će inženjeri morati stupiti u nov oblik odnosa s ekolozima i ekonomistima, kako bi se programirala zdrava i postojana budućnost odnosno osigurao adekvatni društveni sustav i njegova elastičnost za neminovne promjene koje će nastupiti.

4. Hidromelioracijski sustavi i razvoj

U točki 1.2. ovog poglavlja dat je kratak presjek povijesnog razvoja hidrotehničkih melioracija od najranijih začetaka do danas. Cilj ovog prikaza, kao što je već ranije spomenuto, nije bio u iznašanju povijesnih činjenica, jer je to već ranije na drugim mjestima obavljeno, već utvrđivanje uloge i značenja ovog segmenta vodnog graditeljstva u svekolikom razvoju ljudskoga društva.

U ovoj će se točki obraditi uloga i značenje hidrotehničkih melioracija na prijelazu iz XX. u XXI. stoljeće, posebno sa stanovišta utjecaja na demografski i gospodarski razvoj pojedinih regija i zemalja. Još u ranijoj fazi razvoja kapitalističkog društva, u doba pojave utopijskih socijalista, pojavila se ideja da se demografski razvoj kreće u pravcu samouništenja čovječanstva, s obzirom da se rast populacije odvija brže od rasta proizvodnje hrane. Moderno razdoblje (od svršetka Drugoga svjetskog rata pa nadalje) u cijelosti opovrgava to stanovište, bar za dohlednu budućnost.

Naime, još otprilike prije 70-ak godina, u većini svjetskih područja, proizvodnja poljoprivrednih proizvoda se više-manje, odvijala na isti način kao i prije tisuću i više godina. S obzirom da je ubrzani razvoj medicinskih i pridruženih znanosti, osjetno više utjecao na povećani rast populacije nego li biotehničke znanosti na poljoprivrednu proizvodnju neminovno se pojavio manjak hrane. Međutim, u razdoblju iza Drugoga svjetskog rata uslijedio je čitav niz otkrića i tehnoloških unapređenja u području biotehničkih, agrotehničkih i hidrotehničkih znanosti čime su stvoreni uvjeti da se na postojećim poljoprivrednim površinama ne samo za tada postojeći broj življa (npr. pet milijardi sredinom 80-ih godina) već bar dvostruko veći u narednih 50-ak godina, osigura dovoljno hrane. Unatoč tome, danas smo svjedoci (2001. godina) da još uvijek veliki broj stanovništva Zemlje oskudijeva na osnovnim prehrambenim proizvodima. Međutim, treba odmah naglasiti da za to nije 'kriva ni agrotehnika ni hidrotehnika' ni bilo koja druga disciplina iz područja biotehničkih znanosti, već ideološke, političke i upravne prilike u pojedinim zemljama i regijama. Sadašnji stupanj razvoja znanosti i tehnologije omogućava proizvodnju hrane za bar deset milijardi žitelja, dakako pod uvjetom da se ta dostignuća ravnomjerno primjenjuju u svim zemljama i krajevima svijeta.

Kao drastičan primjer potvrde te teze navodi se Hrvatska. Naime, naša bi zemlja, s raspoloživim fondom poljoprivrednog tla i vode, te uz izuzetno povoljnu klimu mogla proizvoditi hrane za oko 20—25 milijuna stanovnika, pod uvjetima da proizvodnju organizira na način kako to čine zapadnoeuropske zemlje. Međutim, svjedoci smo činjenice da smo u proteklom desetljeću uvozili velike količine hrane, ponekad i blizu 50 % potreba, iako, kao što je poznato raspoložemo s manje od 4,5 milijuna žitelja. Dominantan uzrok takvom stanju leži u neadekvatnoj organizaciji upravne infrastrukture. Ja sam u posljednje vrijeme u više navrata, u svojim radovima naglašavao da sada (iza Drugoga svjetskog rata) bogatstvo zemlje i standard stanovništva raste ne temeljem prirodnih bogatstva zemlje (šume, tlo, vode i sl.) već temeljem dobre organizacije (politike) društva.

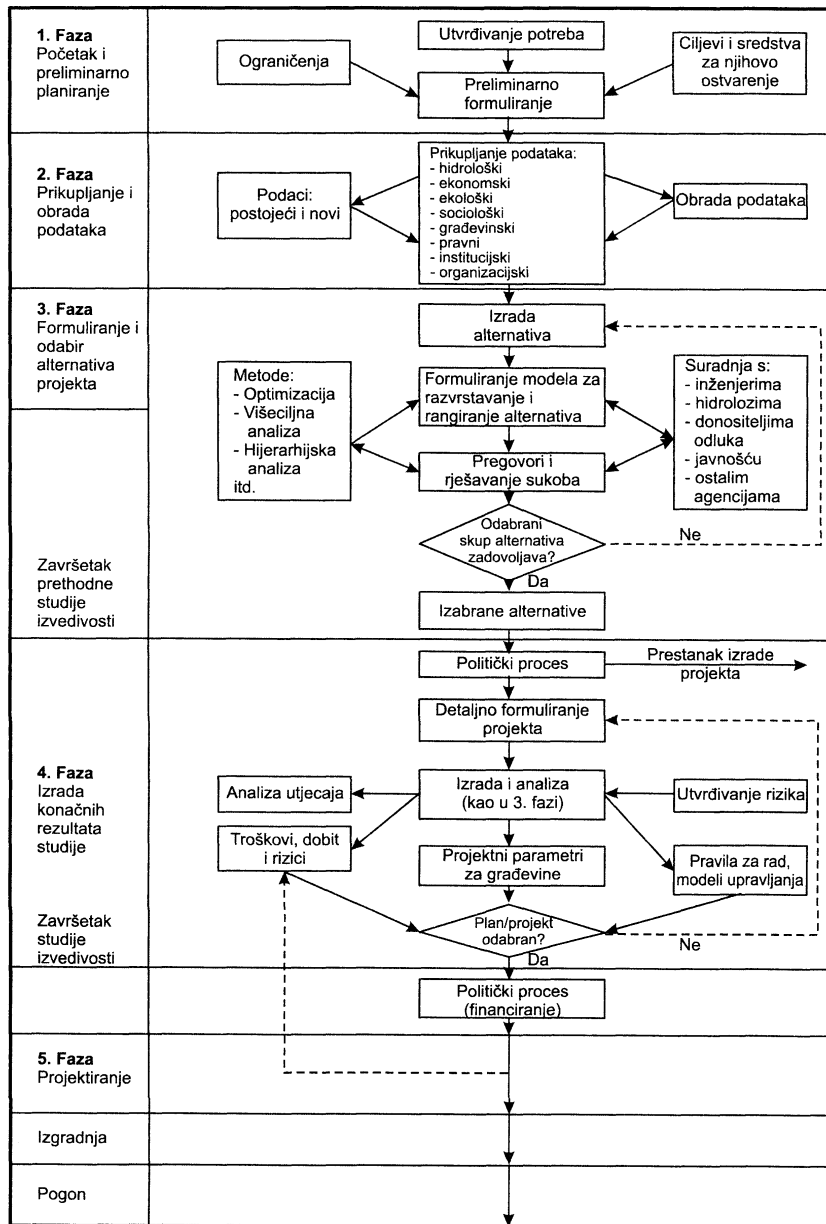
Planiranje razvoja hidrotehničkih melioracija u budućnosti kako bi poljoprivreda mogla osigurati prehranu za ranije navedeni broj stanovnika, mora poštivati princip održivog razvoja i pri tome treba se pridržavati slijedećih načela:

— planiranje razvoja korištenja vode za bilo koju granu i djelatnost mora se temeljiti na principima višenamjenskog i kompleksnog pristupa. S tim u vezi nije dovoljno optimalnost rješenja odrediti samo na osnovama gospodarske učinkovitosti, već treba primjenjivati i principe višeciljne analize. Optimalizacija po bilo kojem jedinstvenom cilju nije danas više zadovoljavajuća, jer ne odražava stvarno stanje u dotičnoj regiji i ne slijedi pristup s postavkama održivog razvoja. Dapače, kod natapanja se još pojavljuje veći broj pridruženih ciljeva koji se odnose na bilje, tlo, vodu i sl. koje sve treba uzimati u obzir prilikom razmatranja optimalnog rješenja;

— u kasnijim fazama projektiranja, pri određivanju specifičnih rješenja i graničnih uvjeta, treba provesti analizu mogućih odstupanja od planiranih ciljeva i pokušati dati odgovor što će se u tom slučaju dogoditi, kakva je zato vjerojatnost, te dati prijedlog načina i mjera za upravljanje takvim stanjem. Problem rizika treba posebno razmotriti prilikom izrade projekta pogona natapnog ili drugog vodoopskrbnog sustava;

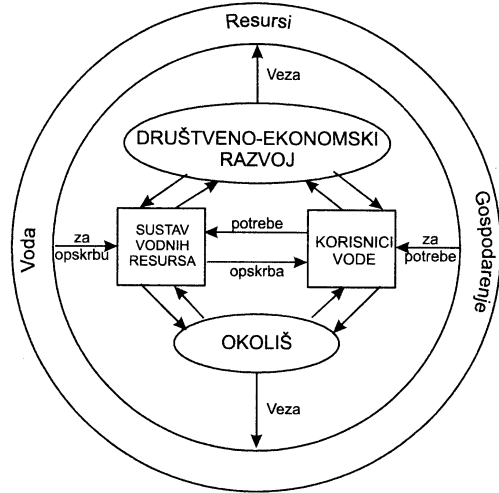
— definiranje namjene i optimalnih veličina sustava i pojedinih građevina u njemu treba razmotriti i sa stanovišta budućih potreba i funkcija uzimajući u obzir da je optimalno rješenje vremenski ograničeno, odnosno da je njegova optimalnost uvjetovana prilikama vremena u kojem je nastala. Slijedom toga, neki vodnogospodarski sustav je mogao imati optimalno rješenje prije, recimo 30 ili 50 godina kada je sagrađen, a danas više nema, ili, neki sustav koga mi danas planiramo po svim važećim kriterijima

optimalizacije, moguće je da te značajke neće imati nakon 30 ili 50 godina. Iz toga slijedi da pristup planiranju mora sadržavati strateške elemente budućeg razvoja u odnosu na mogućnosti, potrebe, alternative, posljedice i sl. S tim u vezi pojavljuje se potreba izrade analize osjetljivosti koja ukazuje na promjene koje mogu nastati na izlazu sustava uslijed izmjene ulaznih naloga ili sustavnih parametara.



Slika 21: Faze planiranja projekta (18)

Slika 22: Shematski prikaz integralnog gospodarenja vodnim resursima (17)



Kao što je poznato pristup planiranju moguće je provesti na dva načina: ‘od vrha prema dnu’ (top down) i od ‘dna prema vrhu’ (bottom up). Kod pristupa ‘top down’, odnosno od općeg prema detaljnom najprije se definiraju opći ciljevi vodoprivrednog sustava, a potom se razvija ciljna struktura prema dolje, odnosno postavljaju se ciljevi podsustava nižeg reda sve do kraja. Tipičan primjer ovog postupka je izrada vodnogospodarske osnove, kada se u nižim razinama razrađuje vodoprivredni plan za hidrotehničke melioracije pa sve dalje dok se ne dostignu svi, ranije zadani ciljevi. Ovaj pristup je tipičan kod planiranja integralnog uređenja sliva.

Pristup od dna prema vrhu polazi od sasvim konkretno iskazanih ciljeva pojedinih vrsta korisnika, npr. kod potrebe provođenja hidromelioracijskih radova ili pak opskrbe vodom nekih korisnika (naselja, poljoprivrede i sl.). Postupak se postupno razvija prema strukturama višeg reda (podsustavima) sve do osnovnog cilja vodoprivrednog sustava. Ovaj se način pojavljuje u vodnogospodarskom planiranju onda kada se ne planira integralno korištenje totalnog vodnog potencijala, već se svaki svodi na konkretne višenamjenske projekte kao fazna rješenja integralnog uređenja sliva.

Iz izloženog je očigledno da princip održivog razvoja pretpostavlja da odnos pojedinca i društva prema korištenju prirodnih bogatstava (vode, tlo, šume, zrak) i planiranju budućeg razvoja osigurava uobičajenu prirodnu obnovu prema ustaljenim fizičkim i biološkim ciklusima.

S tim u vezi prirodna bogatstva treba koristiti u skladu s prirodnim zakonima obnove i tom ograničenju treba prilagoditi sve planske i tekuće aktivnosti. Dakako, na bogatstvo biološke sfere moguće je utjecati i umjetnim putem, ali i to treba podrediti uvjetu održanja ustaljene ravnoteže u prirodi; s tim u vezi za praktične potrebe planiranja vodnogospodarskog razvoja neophodno je razraditi metodologiju za pojedine oblasti i grane tako da sveukupnost vodnog bogatstva po količini i kvaliteti ostaje u granicama svojih prirodnih vrijednosti. Prema tome mijenjat se može namjena, mjesto, raspoloživost po vremenu i sl.

I, za kraj ove točke, navesti ćemo nekoliko eklatantnih primjera u kojima je u XX. stoljeću, primjenom hidrotehničkih melioracija, posebno natapanja, mijenjana slika čitavih pokrajina i država, pretvarajući pustinje i močvare u najrazvijenije i najbogatije krajeve svijeta. Nažalost, većina takvih zahvata uzrokovala su, do sada nezabilježene ekološke katastrofe.

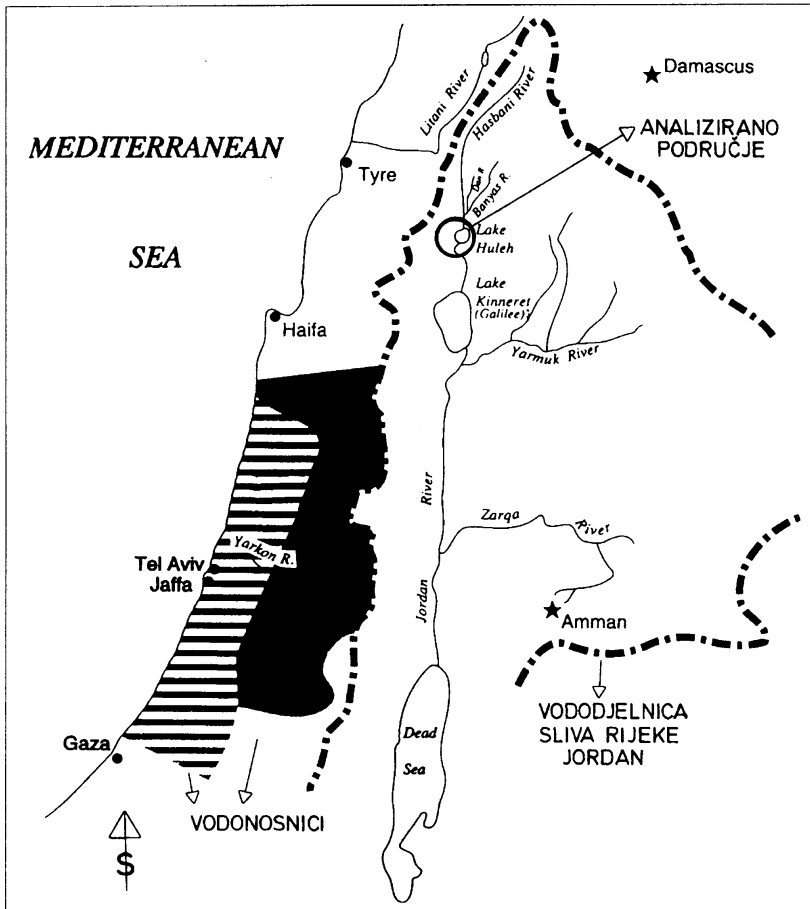
Jedno od najinteresantnijih područja koje je relativno rano meliorirano i privedeno visokoakumulativnoj poljoprivrednoj proizvodnji nalazi se u središnjem i južnom dijelu Kalifornije, inače poznata kao Sacramento i San Joaquin Valley. U tom, nekada pretežno pustinjском i močvarnom području, s visokim ljetnim temperaturama i niskim oborinama, razvijena je u zadnjih stotinjak godina vjerojatno najveća i najintenzivnija poljoprivredna proizvodnja na svijetu. Uzgaja se uglavnom voće i povrće. Razvoj je omogućen gradnjom golemih natapnih sustava korištenjem voda iz lokalnih izvorišta, ali i u najvećoj mjeri iz rijeke Kolorado na udaljenosti od oko 500 km. Taj i drugi melioracijski zahvati osigurali su SAD-u da u nekim osnovnim poljoprivrednim proizvodima postane 'vodeća sila' na svijetu. Tako ova zemlja, koja ima oko 5 % stanovnika Zemlje, već godinama proizvodi oko 50 % svjetske proizvodnje kukuruza. Inače je poznata kao najveći izvoznik žitarica na svijetu (izvozi više od polovine proizvodnje). Pored toga ova je zemlja poznata i kao najveći svjetski proizvođač agruma, soje i nekih drugih proizvoda. To opetovano potvrđuje kako nema visokorazvijene i bogate zemlje bez visokorazvijene poljoprivredne proizvodnje.

S druge strane 'željezne zavjese' druga vodeća zemlja svijeta, bivši SSSR, iza Drugoga svjetskog rata, se svim sredstvima nastojao održati ne samo kao vojna već i gospodarska velesila svijeta. U takvim okolnostima nastao je megalomanski projekt natapnog sustava Karakumske pustinje u predjelu Aralskog mora. Nešto više podataka o tome navedeno je u točki 1.3.2., pa se to ovdje neće više ponavljati. Taj natapni sustav, korištenjem voda rijeka Amu-Darija, Sir-Darija, te lokalnih podzemnih vodonosnika natapa ukupno 7.600.000 hektara tla, uglavnom pjeskovite pustinje Karakum. Kakva je veličina tog zahvata najbolje se ogleda u činjenici da, prema postojećim statističkim podacima za 1990. g. SAD od oko 400 milijuna hektara poljoprivrednih površina natapa – reda veličine – oko 20 milijuna hektara, a bivši SSSR je imao približno jednake površine pod natapanjem, ali su mu ukupne poljoprivredne površine iznosile oko 600 milijuna hektara. Dovršenjem tog golemog natapnog sustava i izgradnjom potrebne infrastrukture SSSR je negdje 1980. g. izbio na prvo mjesto u svijetu po proizvodnji i izvozu pamuka. Naime, pamuk se uzgajao na oko 50 % natapnih površina ovog sustava. 'Idila' ovog poduhvata je, nažalost, trajala jako kratko. Uslijed bitnog narušavanja ekološke ravnoteže (vidi 1.3.2.) područja, pojavili su se nesagledivi problemi: razina i površina Aralskog mora se bitno smanjila, pustinja znatno napredovala, a mogućnost 'preživljavanja' natapnog sustava je neizvjesna. Već godinama se 'razmišlja' i planira što bi trebalo učiniti, ali adekvatno rješenje još nije nađeno.

Treći primjer iz ove skupine uzet ćemo iz Izraela. Izrael, inače, spada u vrhunski fenomen stvaralačkih mogućnosti i organizacijskih sposobnosti koji opetovano potvrđuje da je za razvoj i uspjeh neke društvene zajednice daleko najvažnija organiziranost društva (politika). Država koja je u pustinjском ambijentu, na površini od približno pola Hrvatske, nastala 1948. g. s oko 800.000 stanovnika, danas je narasla na oko šest milijuna žitelja i vinula se u sam vrh razvijenosti i bogatstva. Što je najčudnije, praktički je čitavo vrijeme u ratnom stanju, a među ostalim razvila je jednu od najmodernijih poljoprivreda svijeta. U toj, za bilje, negostoljubivoj sredini, stvorila je takve uvjete da svojim poljoprivrednim proizvodima (uglavnom voće i povrće) uveliko konkurira 'uhodanim' proizvođačima tih proizvoda iz čitavog svijeta i zadnjih godina izvozi voća i povrća u vrijednosti od oko jedne milijarde dolara.

Primjer kojeg navodimo nalazi se u dolini rijeke Jordan u predjelu Galilejskog jezera (Kinneret) u blizini granice s Libanom i Sirijom. Močvarno područje Hula (Hulah) površine oko 490.000 hektara, u središtu kojeg se nalazi jezero Hula, površine oko 162.000 hektara, je ubrzo nakon uspostave države Izrael (1948.) proglašena kao kapitalni objekt razvoja poljoprivrede i pridružene prerađivačke industrije (1951.). U stvari, pristup ovim radovima, opravdao se potrebom iskorjenjivanja malarije, koja je

stoljećima desetkovala stanovništvo ovog predjela. Radovi su odmah stavljeni u tečaj i u najvećoj mjeri završeni do početka 60-ih godina. Na tom je području privedeno poljoprivrednoj kulturi oko 400.000 ha tla, od čega je modernim natapnim sustavima opskrbljeno oko 100.000 ha. Razvila se intenzivna poljoprivredna proizvodnja, posebno agruma, koja je krajem 70-ih godina dostigla urod od oko milijun tona. Slijedom toga izgrađena su brojna naselja i pridruženi pogoni za preradu i izvoz tih proizvoda. Nažalost, ovo je stanje kratko potrajalo: uslijed silne konkurencije početkom 80-ih godina ova proizvodnja nije se mogla više plasirati na svjetskom tržištu, pa je naglo morala smanjivati proizvodnju. To je izazvalo naglo napuštanje i zapuštanje brojnih imanja što je izazvalo ekološku katastrofu neviđenih razmjera. Naime, područje je u površinskom sloju izgrađeno pretežno od treseta koji je, isušanjem područja postao pokretljiviji, pa je, na nizvodnim vodnim površinama izazvao eutrofikaciju neviđenih razmjera. To je navelo investitora (Židovski nacionalni fond) da početkom 90-ih godina donese odluku da se 100.000 ha melioriranog tla ponovno vrati močvari. Kako će cijela stvar završiti još nitko ne zna. Za detaljnije informacije o tome čitaoci se upućuju na odnosnu bibliografiju.



Slika 23: Izrael i hidromelioracijsko područje Hula (1)

5. Predvidiva uloga hidromelioracijskih i hidrotehničkih sustava u budućnosti

5.1. Opći prikaz

U prethodnim točkama ovoga poglavlja pokušali smo prikazati ulogu, značaj i veličinu utjecaja hidrotehničkih melioracija i u izvjesnoj mjeri hidrotehnike na svekoliki razvoj društva od najranijih začetaka ljudske civilizacije pa sve do naših dana. U narednih nekoliko redaka pokušati će se prognozirati uloga vodnog gospodarstva, posebno hidromelioracije u vremenu koje predstoji. Dakako, pri tome ne treba očekivati nikakav recept za dugovječni razvoj vodoprivrede jer je, očito, to nemoguće. Uostalom, svjedoci smo, da prognoziranje događanja i za budućih desetak godina teže je realno sagledati nego li prije kojih stotinjak godina za daleko duže razdoblje.

Nema nikakve sumnje da je sadašnje stanje razvoja vodnog gospodarstva i u nas opterećeno mnogim teškoćama i neizvjesnostima. Ti se problemi generiraju neprestano rastućim potrebama za vodom kao posljedica urbanizacije, te povećanih potreba za natapanje, što nalaže neprekidni rast stanovništva i životnog standarda. Osobito je kritično stanje kvalitete vode u visokorazvijenim i industrijaliziranim zemljama, i to zbog neadekvatne dispozicije otpada i otpadnih voda, koji često zagađuju podzemne i površinske vode.

Značajno zagađivanje podzemne vode može se pojaviti kao posljedica intenzivne poljoprivredne proizvodnje, i to preko tzv. dekoncentriranog zagađenja (nitrati i nitriti). Daljnje negativne popratne pojave su kisele kiše koje naveliko uništavaju šume i značajno sniženje podzemne vode u semiaridnim i aridnim područjima zbog intenzivne primjene navodnjavanja, osobito u pustinjama.

Neadekvatno upravljanje vodama može također biti uzrokom različitih problema. Tako mnogi vodoopskrbni sustavi, zbog neadekvatnog održavanja isporučuju skupu vodu i ispod standarda kvalitete. Područja opskrbljena vodom iz vodovoda bez riješene odvodnje (kanalizacije) ustvari zagađuju vlastite resurse.

Pri planiranju vodovodnih sustava još je mnogo drugih nedostataka, a možda je jedan od najznačajnijih kapacitet mreže. Malo je u nas projekata u kojih je u proteklih pedesetak godina taj element kvalitetno riješen, dijelom i zbog neadekvatne socio-političke infrastrukture. Kao primjer navodi se, da se u mnogim projektima još nailazi predvidivi porast stanovništva u planiranom razdoblju po stopi od 1,5 %, što je valjda naslijeđeno još iz doba Austro-Ugarske! To se, ponekad, primjenjuje i u onim ruralnim predjelima zemlje u kojima je zabilježen neprekidan pad pučanstva već više desetaka godina. Dakako, to nije problem hidrologije i hidroloških podloga, ali se time obezvređuju i hidrološke analize, a prouzrokuje se velika šteta narodnom gospodarstvu. S druge pak strane kod naselja s dinamičnijim razvojem i mehaničkim priljevom stanovništva uz slične 'metode' planiranja, imamo suprotan učinak. Posljedica takva rada su primjeri u praksi kod kojih neki vodovodni sustavi nisu nikada dostigli svoj planski kapacitet, ili su ga pak dostigli odmah ili nedugo nakon dovršenja.

Iz izloženoga proizlazi da će strategija upravljanja vodoprivredom u tekućem stoljeću morati biti postavljena na mnogo širu osnovu. U prvom redu morat će se polaziti od potrebe različitog pristupa svakom području u skladu sa specifičnostima njegova razvoja i potreba. Dakle, sustavni pristup ovoj problematici mora biti multi-dimenzionalan u razmatranju prirodnih sustava i postojeće društvene nadgradnje.

Negativni utjecaj na prirodnu osnovu koji se danas označava kao utjecaj na okoliš, mora biti svladan pomoću sustavnog prilaza. Korištenje vode i tla čvrsto je povezano i međuovisno. Kod razvoja ovih prirodnih bogatstava pojavljuje se čitav niz fizičkih, kemijskih i bioloških interakcija koje nameću potrebu da se planovi razvoja koordinirano pripremaju i skladno ostvare. U dosadašnjoj su se praksi najprije pripremali i realizirali planovi razvoja, odnosno korištenja (namjene) površina u određenom slivu, a potom su se poduzimale mjere da se popravi, odnosno spriječe negativni učinci takva razvoja. Takva se praksa mora napustiti, a skladan razvoj korištenja i vode i tla mora se programirati od početka.

Kao što je već ranije spomenuto (i općepoznato) budući razvoj neminovno nameće potrebu sustavnog prilaza razvoja vodoprivrede, što, u sažetom obliku obuhvaća:

— identifikaciju sustava što uključuje utjecaj na različita obilježja vodnog bogatstva koja se odnose na probleme korištenja i upravljanja. Ta su obilježja najčešće kompleksna (fizička, gospodarska, društvena, itd.);

— ponašanje sustava za različite elemente i veličine ulaza i izlaza, a radi zadovoljenja postavljenih ciljeva. Namjene i ciljevi mogu biti različiti: od urbanizacije, izmjene načina korištenja i gospodarenja tлом, različiti zahvati u prirodnome vodnom sustavu, itd., i

— upravljanje sustavom, odnosno definiranje pravila pogona tako da se izborom određenih elemenata, faza i alternativa najbolje postignu zadani ciljevi. Dakako, upravljačke se odluke moraju temeljiti na prethodno definiranim dugoročnim ciljevima razvoja.

I, za kraj prvog dijela ove točke ukratko će se opisati vodoopskrbni sustav Libije koji se planira i gradi već oko 30 godina i koji je sasvim sigurno u toj kategoriji najveći do sada realiziran na svijetu, pa, očigledno, spada u vodno gospodarstvo budućnosti. Dakako, onoga tko želi više podataka o tome upućuje se na odnosnu literaturu

Kao što je poznato, ideja o gradnji ovog sustava pojavila se nedugo nakon početka eksploatacije većeg broja naftnih polja u toj državi (1965.) i dolaska na vlast pukovnika Gadafija nakon rušenja s vlasti dotadašnjeg monarha Idrisa I. (1969.). Ustvari taj se sustav gradi radi potpore tzv. 'zelene revolucije' odnosno plana režima M. Gadafija za poljoprivredni preobražaj Libije koja je ranije a i tada predstavljala temelj gospodarskog razvoja države. Inače, Libija ima oko 1,76 milijuna km² površine, a 1973. je imala 2,16 milijuna stanovnika. Prije početka eksploatacije naftnih polja bila je jedna od najsiromašnijih zemalja svijeta. Već 1979. postaje jedan od najvećih proizvođača nafte na svijetu (1970. – 160 milijuna tona).

Nakon preliminarnih hidrogeoloških istraživanja utvrđeno je da u središnjem dijelu Sahare, negdje na udaljenosti od 600—1000 km od Sredozemnog mora, u predjelu oaza Sarir-Kufrah i Brak-Murzug postoje veoma bogata nalazišta slatke vode fosilnog tipa na dubini oko 800 m. Po provedenim detaljnim istražnim radovima ustanovljeno je da na istočnom vodonosnom pojasu u blizini egipatske granice (na potezu Sarir-Kufrah), moguće je izgraditi dva crpna polja, svako kapaciteta crpljenja od 350×10^6 m³ vode godišnje, a na zapadnom dijelu u pojasu Murzuq—Sabha, najveći sustav bunara na svijetu kapaciteta 900×10^6 m³ vode godišnje.

Kao osnovni magistralni vodoopskrbnik primjenjuje se čelično-betonski cjevovod izrađen od cijevi posebnom tehnologijom prednapregnutog betona. Cijev je sastavljena od više slojeva: prvi iznutra je betonski debljine 20 cm u kojem se nalazi čelični cilindar; oko ovoga je omotana prednapregnuta visoko nosiva čelična žica obložena cementnim mortom. Cijevi su dimenzionirane za radni tlak od 26 bara. U cilju sprječavanja korozije opskrbljene su katodnom zaštitom. Za sve magistralne cjevovode

predviđene su cijevi promjera 4 metra, a za neke sekundarne i 1,6 m. Pojedini elementi cijevi imaju težinu do 35 tona, a polažu se u rovove dubine 9 i širine 7,5 m.

Ukupno za cijeli sustav biti će izrađeno više od pola milijuna cijevi, a zato će se utrošiti: 40 milijuna tona agregata, 6 milijuna tona cementa (sve iz domaćih izvora), više od 60 milijuna kvadrata čeličnih ploča i 5 milijuna km prednapregnute žice (sve iz uvoza). Do 1997. g. bilo je dovršeno oko 4.000 km magistralnih cjevovoda.

Projekt je dobio skraćeni naziv GMMR (Great Man-Made River) što bi otprilike značilo Velika umjetna rijeka. Realizacija sustava je planirana u pet etapa i to:

— prva etapa se odnosi na izgradnju dvaju eksploatacijskih polja, svako kapaciteta $350 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode godišnje, u predjelu Sarir—Tarzibu s bunarima dubine veće od 800 m. Voda se pomoću dva odvojena cjevovoda dovodi do Sredozemnog mora u predjelu Ajadabiyah i odavde grana prema istoku (Bengazi—Tubruq) i Ras Lanui. Na obali Sredozemnog mora izgrađena je razdjelna vodosprema zapremine $4.000.000 \text{ m}^3$. Ova je faza uglavnom završena i u pogonu je od 1991.

— U drugoj etapi izgrađen je najveći sustav bunara na svijetu. Na površini od 19.200 km^2 , u vodonosniku Murzug—Hamada (na zapadu) izgrađeno je 484 bunara s ukupnim crpnim kapacitetom od $900 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode godišnje. Voda se tlači s pomoću dva odvojena cjevovoda promjera 4 m sve do sredozemne obale (vidi sliku). Radovi ove etape dovršeni su 1996.

— U trećoj se etapi predviđa izgradnja novog crpnog polja u predjelu oaze Kufrah kapaciteta $560 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode godišnje. Voda iz ovog crpilišta otpremati će se zajedno s vodom iz prve etape.

— Radovima četvrtre etape predviđa se povezivanje ovih dvaju sustava cjevovodima uzduž sredozemne obale. Time će biti omogućeno da se iz istočnih nalazišta isporuči zapadu oko $350 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode godišnje. Naime, zapadno obalno područje i zaravan Jefarah je osjetno gušće naseljeno od istočnog dijela.

— U petoj se etapi planira proširenje mreže na istok do Tobruka (legendarni grad iz Drugoga svjetskog rata!). Za potrebe tog predjela predviđa se dopreмати oko $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode godišnje.

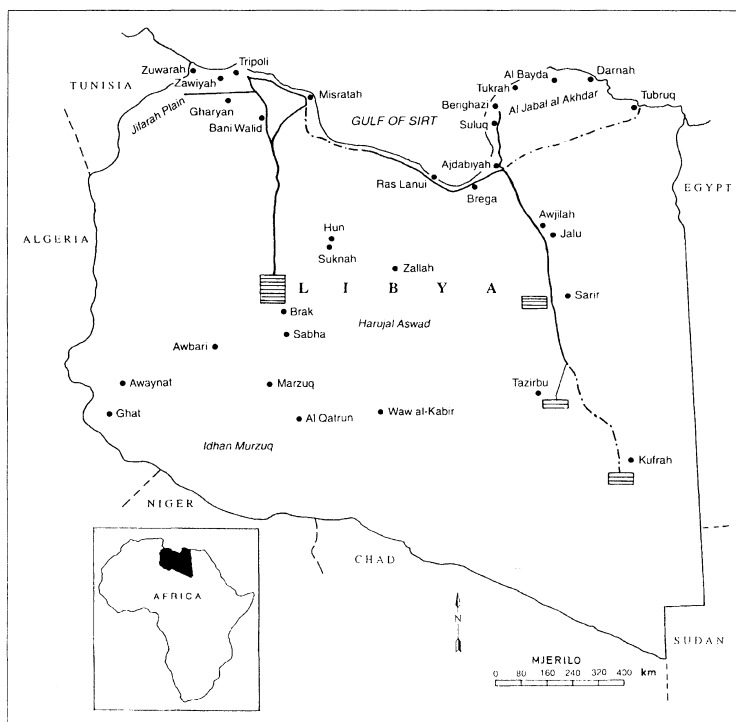
Iz izloženog proizlazi da će se po dovršenju sustava u obalni pojas države dopreмати oko $2.000 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode godišnje, odnosno oko $65 \text{ m}^3/\text{s}$ u prosjeku. Za crpljenje te količine iz podzemnih vodonosnika biti će izbušeno oko 800 bušotina dubine veće od 800 m. Prema sadašnjim procjenama, ukupni troškovi ovog daleko najvećeg do sada izgrađenog vodoopskrbnog sustava na svijetu iznositi će oko 20 milijardi USD.

Kod izrade ekonomskih analiza razmatrane su uglavnom samo dvije varijante: desalinizacija mora i doprema vode iz saharskih nalazišta. Utvrđeno je da je doprema vode iz ovih udaljenih nalazišta višestruko jeftinije. Cijena desalinizirane vode iznosi oko 2,5—3,0 USD/ m^3 , a cijena saharske 0,2—0,25 USD/ m^3 .

Usporedimo li, ovu cijenu dopreme vode iz Sahare na obalni pojas s cijenama u nas ustanovit ćemo da je uglavnom niža od cijene vode koju naša komunalna poduzeća isporučuju građanima. Nadalje, ako usporedimo raspoložive količine po glavi stanovnika u Libiji i u nas doći ćemo do slijedećeg zaključka: Hrvatska je 1998. za oko 4,5 milijuna stanovnika trošila $1.403 \times 10^6 \text{ m}^3$, a Libija će, recimo za 3,0 mil. stanovnika trošiti oko 2.000 mil. m^3 godišnje. Razlika je u tome što će veći dio libijske vode završiti na natapnim poljima! Osim toga koristit će se i do tada postojeća crpilišta i sustavi u obalnom pojasu.

I, na kraju, što kada se iscrpe zalihe? Odgovor je samo jedan. Računa se da će se do tada (za oko 50 godina) tehnološki postupci toliko usavršiti da će cijena desalinizacije

vode biti toliko niska da će moći zamijeniti ovaj sustav, koji će, dakako, tada biti napušten.



Slika 24: Libija – sustav opskrbe vodom u izgradnji – GMMR (2)

5.2. Stanje u Republici Hrvatskoj

Osvrt na sadašnje stanje razvoja vodnog gospodarstva Hrvatske moguće je provesti na više načina. U svakom slučaju treba nastojati da se u tom postupku čine neke usporedbe sa zemljama čijem stupnju razvoja težimo. Međutim, treba naglasiti da su raspoloživi podaci veoma ‘šaroliki’ i da osjetno variraju od izvora do izvora. Količine variraju od godine do godine, ali te razlike ne bi trebale biti znatne. U svakom slučaju razlike između Hrvatske i Europske Unije kao cjeline, pa i pojedinih njenih članica su osjetne i iznose 2 do 3 puta na štetu Hrvatske. Reda radi spominje se i potrošnja najveće gospodarske velesile svijeta, gdje je još 1980.g. zabilježena potrošnja od oko 2.300 m³/g./st

Jedan od boljih pokazatelja raspoloživih količina i stupnja već iskorištenog vodnog bogatstva je svakako i postotak sada zahvaćenih količina prema ukupno raspoloživim. Za Hrvatsku to iznosi 0,9 % za ukupne raspoložive količine (vlastite i tranzitne), odnosno 3,3 % samo za vlastite (SLJH 2000.). Za neke karakteristične europske zemlje je: Velika Britanija 9 %, Nizozemska 14 %, Italija 32 %, Njemačka 41 % i Austrija 3 % (sve za ukupne količine).

S obzirom na veliku neravnomjernost raspoloživih količina prema potrebnim, u današnjim je prilikama neophodno da se sagradi veliki broj akumulacija. Računa se da je

od ukupnog broja sada postojećih akumulacija s visokim branama u zadnjih 50 godina sagrađeno oko 95 %. Najveći napredak u tom pogledu u zadnjih 20-ak godina je, bez sumnje, učinjen u NR Kini. Ako za primjer izgrađenosti akumulacija uzmemo SAD, onda će podaci za 1980. biti:

- velike akumulacije (brane više od 15 m) 5338 kom.
- njihova zapremina 592,5 km³

Nadalje, izgrađeno je k tome još oko 50.000 manjih akumulacija (zapremine 50.000—5.000.000 m³), te oko 2.000.000 malih akumulacija i kompenzacijskih bazena. Istodobno je potrošnja vode za sve namjene iznosila 525 km³ (da podsjetimo: 1 km³ = 1 milijarda m³). Ako uzmemo u obzir volumen samo velikih akumulacija, onda je koeficijent izgrađenosti 1,13 (Zapremina akumulacija iznosi 1,13 potrošnje). Dakako, to bitno varira od sliva do sliva, a najveći u SAD-u je u slivu rijeke Kolorado i iznosi 4,03. Kada bi kojim slučajem na rijeci Savi htjeli postići stupanj izgrađenosti akumulacija kao na rijeci Kolorado, onda bi zapremina u slivu uzvodno od Županje trebala iznositi 153,5 km³, a uzvodno od Zagreba 41,58 km³. Očigledno je da se to neće nikada dogoditi. Prema dostupnim podacima Hrvatska je 1990. raspolagala s akumulacijama ukupne zapremine od oko 0,26 km³ (bez energetske), pa ako stavimo u odnos s potrošnjom ranije citiranom od 293 m³/st./g. (1,403 km³) onda proizlazi da je koeficijent izgrađenosti 0,18..

Da Hrvatska ima izuzetno velike prednosti u budućem razvoju koji se temelji na vodnom gospodarstvu (a koji ne!) pokazuju i podaci o raspoloživom vodnom bogatstvu koji još nije iskorišten i koji se može koristiti za buduće potrebe. Dakako, kao velika prednost u odnosu na veći dio zemalja u europskom prostoru ulazi i njen izuzetno povoljan položaj i klimatske značajke.

Odjel Ujedinjenih naroda za populaciju (United Nations Population Division: 1994. World Population Prospects: The 1994. Revision) objavio je prognozu raspoloživih količina vode do 2050. g. za 149 zemalja svijeta. Podaci su razrađeni za tri moguće stope rasta stanovništva: nisku, srednju i visoku. Za prognozirano stanje u 2025. g. i za srednju stopu rasta, Hrvatska bi se te godine nalazila među devet zemalja s najvećom količinom obnovljive vode. Ako tome dodamo da se u toj kategoriji nalaze uglavnom 'egzotične' države, poput Benina, Kongo, Ekvatorijalne Guineje, Gabona, Gvajane, Islanda itd. onda je jasno da naša zemlja ima izuzetno povoljne uvjete za budući razvoj, odnosno 'blistavu budućnost'.

I za kraj ove točke, na jednom malom primjeru pokazat ćemo kako izuzetno veliki potencijali leže u do sada neiskorištenom vodnom bogatstvu. Za tu svrhu ćemo uzeti primjer Istre, za čije područje su u zadnjih 20-ak godina izrađene dvije izuzetno kvalitetne studije u pripremi kojih je bio angažiran i veći broj vodećih međunarodnih eksperata (putem UNDP/FAO projekta). U 1997. godini Hrvatska je ukupno proizvela oko 130 tisuća tona voća (47.000 tona šljiva, 58.000 jabuka, 10.000 krušaka i oko 15.000 ostalog voća). Na ovom istraživačkom području Istre koje obuhvaća 30.230 ha obradive površine podobne za natapanje iznose 21.752 ha, što čini oko 1 % obradivih površina Hrvatske. Istim je planom predviđeno, da se u uvjetima natapanja, od te površine, 3633 ha koriste za voćnjake. Slijedom toga nije teško zaključiti da realizacijom tog plana, ta površina od 1 % obradive površine Hrvatske može bez poteškoća proizvesti bar 50 % sadašnje proizvodnje voća u Hrvatskoj. Iz toga se daje zaključiti kakvi se silni neiskorišteni potencijali nalaze u našoj zemlji, i to samo u poljoprivredi.

6. Zaključak

Kod nas je još uvriježeno mišljenje da ako u okolišu nekog naselja, polja, tvornice itd. nema dovoljno vode u svako doba godine, da je to bezvodno područje. Naime, smatra se da vode ima dovoljno ako su zadovoljene maksimalne potrebe potrošača u doba minimalne izdašnosti izvorišta. Danas takvo stajalište gotovo nigdje više nije održivo i moramo zaboraviti na vremena kada se tako moglo pristupati vodoprivredi.

Vodu treba smatrati sirovinom kao što je drvo, ugljen, nafta itd. i jednako se tako prema njoj odnositi i vrednovati je. Prema tome vodu treba mjeriti litrama, kubicima i bilancirati (prihod, rashod) mjesečno, godišnje, višegodišnje. Nema li je u neposrednoj blizini potrošača, ima je na većoj udaljenosti, pa je treba dovesti kao i svaku drugu robu. U svijetu je mnogo primjera da se pojedina područja opskrbljuju vodom iz izvorišta udaljenih više stotina km, pa čak i više od tisuću km, a prenosi se i po više stotina m³/s po zahvatu. Osim toga još i na tim udaljenim lokalitetima vode nema u dovoljnim količinama u svako doba godine, pa protok treba izravnati golemim akumulacijama. U prethodnim smo točkama spomenuli par takvih slučajeva.

Planirati se mora za najduži rok za koji se mogu pripremiti relativno pouzdane podloge, a graditi onoliko koliko je trenutačno potrebno, odnosno u skladu s raspoložanim sredstvima. U proteklih su 50-ak godina utrošena golemo sredstva samo zato što se uglavnom nismo pridržavali navedenih načela.

U drugoj polovici XX. stoljeća ostvaren je izuzetno veliki napredak u pripremi metoda i postupaka za planiranje i projektiranje građevina i sustava u svim granama vodnog graditeljstva. Usudio bih se reći da u toj mjeri ni približno nije realiziran odgovarajući učinak na pripremi funkcionalnijih i ekonomičnijih rješenja. Dapače, ima više slučajeva da su prije stotinjak godina realizirana kvalitetnija rješenja kada su se planovi i projekti isključivo temeljili na empiriji. Nadalje, osnovni je razlog tomu što su se inženjeri-projektanti previše odvojili od 'zemlje' odnosno misle da su nove sofisticirane metode proračuna 'svemoguće', što ni približno nije točno: Dapače za početnike je to velika zamka koja često vodi do grubih grešaka.

Zadnjih desetak godina u nas, osim nešto u vodoopskrbi, uglavnom se u vodnom gospodarstvu (uostalom i ostalim privrednim granama) nije ništa vrjednijega gradilo. Ta okolnost, kao i činjenica da su u zemlji kao i u široj regiji osigurani uvjeti za dugoročnu političku stabilnost, daje priliku da se vodno gospodarstvo pripremi za veoma intenzivni i kvalitetni razvoj koji neminovno predstoji. Nesporno je da će Hrvatska u bližoj budućnosti postati članicom Europske Unije. To obavezno pretpostavlja prilagodavanje, odnosno usklađivanje gospodarskih i drugih aktivnosti sa stanjem i potrebama te asocijacije. Kao primjer navodimo slučaj Španjolske, u kojoj je nakon pristupanja u Europsku Uniju, samo u pokrajini Andaluzija, podignuto 32 tisuće hektara plastenika, što je, vjerojatno, najveća koncentracija zaštićene poljoprivrede na svijetu. Prema tome nemoguće je da Hrvatska, koja ima idealne uvjete za razvoj poljoprivrede u uvjetima natapanja, 'opstane' u tom 'društvu' s 0,1 % natapnih površina kada je prosjek u svijetu nekih 20 %. Dakle, spremimo se jer intenzivan razvoj u domeni hidrotehničkih melioracija samo što nije započeo.

I za kraj, vizija Republike Hrvatske negdje 2025. godine: osnovne gospodarske grane – turizam i poljoprivreda – vinule su se u sam vrh učinkovitosti tih djelatnosti na svijetu. Turizam ugošćuje oko 25 milijuna gostiju godišnje, od čega polovina u seoskom turizmu, i ostvaruje oko 10 milijardi USD prihoda godišnje. Poljoprivreda, s natapnih površina od oko 200 tisuća hektara ostvaruje izvoz od oko 6 milijardi USD u najvećoj

mjeri na voću i povrću. BDP približio se vrijednosti od 25 tisuća USD po glavi, a nezaposlenost je pala ispod 7 %. Svi dijelovi zemlje povezani su brzim prometnicama: u pogonu je oko dvije tisuće kilometara autocesta, a magistralne željezničke pruge osposobljene su za visoke brzine.

Bibliografija

1. Bonacci, Ognjen: Ekološke katastrofe izazvane velikim hidrotehničkim radovima. Hrvatska vodoprivreda, Zagreb 1996., god. V. br. 46.
2. Bonacci, Ognjen: Opskrba vodom Libije. Hrvatska vodoprivreda, Zagreb, 1998., VII. br. 64.
3. Đorđević, Branislav: Vodoprivredni sistemi. Naučna knjiga, Građevinski fakultet, Beograd, 1990.
4. Ekl, Božidar: Analiza načina dreniranja zemljišta. Disertacija. Rijeka, 1977.
5. Gereš, Dragutin: Raspoloživost vode u Republici Hrvatskoj. Priručnik za hidrotehničke melioracije II. kolo, knjiga 6. Građevinski fakultet u Rijeci. 1997.
6. Gereš, Dragutin: Analiza korištenja voda u Hrvatskoj i u Europi. Hrvatska vodoprivreda, Zagreb, listopad 2001. godište X., broj 109., str. 23–31.
7. Gulić, Ivan: Opskrba vodom. Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, 2000.
8. Kos, Zorko: Razvoj i stanje hidromelioracija u Jugoslaviji i u nekim europskim zemljama. Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. kolo, knjiga 1. Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje, Zagreb, 1983.
9. Kos, Zorko: Povijesni pregled razvoja navodnjavanja. Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. kolo, knjiga 1. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 1992.
10. Kos, Zorko: Potreba, principi i način održavanja odvodnih hidromelioracijskih sustava. Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. kolo, knjiga 6. Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb, 1991.
11. Kos, Zorko: Osnovni principi planiranja vodoprivrednih – posebno odvodnih sustava: Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. kolo, knjiga 3. Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb, 1985.
12. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla. Navodnjavanje. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
13. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla. Odvodnjavanje. Školska knjiga, Zagreb, 1989.
14. Kos, Zorko: Vodoprivreda u budućnosti. Hrvatske vode, 1 (1993.) 1, 17–24.
15. Kos, Zorko: Vodoprivreda u budućnosti II. Hrvatske vode, Zagreb 1 (1993.) 3, 165—173.
16. Kos, Zorko: Vodoprivreda gornjeg Jadrana. Adamić, Rijeka, 2001.
17. Margeta, Jure: Osnove gospodarenja vodama. Građevinski fakultet Split. Split, 1992.
18. Margeta, Jure; Azzopardi, Ernest; Iacovides, Iacovos: Smjernice za integralni pristup razvoju, gospodarenju i korištenju vodnih resursa, PPA, Split, 1999.
19. Miletić, Pavao; Heinrich Miletić, Marija: Uvod u kvantitativnu hidrogeologiju. GRN fakultet, Zagreb, 1981.
20. Van der Leeden, F: The Water Encyclopedia; Lewis Publisher, Michigan 48118, 1990.
21. Žugaj, Ranko: Hidrologija. Rudarsko–geološko–naftni fakultet Zagreb, 2000.
22. xxxxxxxx Opća enciklopedija, Jugoslovenski enciklopedijski zavod. Zagreb, 1981.

3

STANJE I ZNAČENJE HIDROMELIORACIJSKIH OBJEKATA I SUSTAVA ZA POLJOPRIVREDNU PROIZVODNJU U HRVATSKOJ

Prof.dr.sc. Josip Marušić
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

1	Uvod	50
2.	Melioracijska odvodnja u Zakonu o vodama i Zakonu o financiranju vodnog gospodarstva	50
3.	Stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje u Hrvatskoj - u 2001. g.	53
3.1.	Utjecajni činitelji na stanje hidromelioracijskih objekata i sustava	53
3.2.	Osnovni podaci o izgrađenosti i funkcioniranju hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju	56
3.2.1.	Vodno područje rijeke Save, Zagreb	59
3.2.2.	Vodno područje rijeke Drave i Dunava, Osijek	66
3.2.3.	Vodno područje primorsko-istarskih slivova, Rijeka	70
3.2.4.	Vodno područje dalmatinskih slivova, Split	72
4.	Troškovi redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava gravitacijske površinske odvodnje	75
5.	Ratne štete na hidrotehničkim zaštitnim i hidromelioracijskim objektima i sustavima za odvodnju u Hrvatskoj 1991. i 1992. g.	81
6.	Osnovni pokazatelji i značenje komasacija poljoprivrednog zemljišta za hidromelioracije u Hrvatskoj do 1990.=2000. g.	82
6.1.	Komasacija i hidromelioracija zemljišta od 1956. do 1990.g.	82
6.2.	Značenje komasacija za hidromelioracije i uređenje poljoprivrednih zemljišta	83
7.	Osnovni pokazatelji o sjetvenim površinama te prirodima pšenice i kukuruza u Hrvatskoj od 1976. do 2000. g.	85
7.1.	Osnovni pokazatelji na slikama od r.b. 9. do r.b. 17.	85
7.2.	Mjerodavni pokazatelji priroda pšenice i kukuruza u Hrvatskoj te Slavoniji i Baranji od 1976. do 2001. g.	90
8.	Hidromelioracijski objekti i sustavi za navodnjavanje	91
	Popis literature	94

1 Uvod

Osnovna je zadaća hidromelioracijskih objekata i sustava stvarati i održavati vodni i zračni režim zemljišta prema zahtjevima najpovoljnijeg razvoja te stvaranje visokih i stabilnih priroda biljnih kultura. Njihova uloga je također u odvodnji suvišnih voda sa šumskih kao i s površina na kojima su izgrađena naselja, prometnice te gospodarski i ostali objekti. Terenska obilježja melioracijskih područja i zahtjevi optimalnog razvoja biljnih kultura uvjetuju i određuju projektno-izvedbena rješenja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju i navodnjavanje kao i provedbu odgovarajućih agrotehničkih mjera i radova. Zbog toga treba provoditi detaljna terenska snimanja i ispitivanja te sistematizirati i analizirati podatke topografskih, klimatskih, hidroloških, pedoloških, geomehaničkih i vegetacijskih podloga. Učinkoviti hidromelioracijski sustavi odvodnje omogućuju pravodobno otjecanje suvišnih površinskih i plitkih podzemnih voda, a sustavi za redovito i dopunsko natapanje osiguravaju biljnim kulturama dovoljno vode za njihov normalan rast i razvoj u cilju ostvarenja visokih i stabilnih priroda. A to je sastavni dio programa proizvodnje hrane i to kako za vlastite potrebe tako i za potrebe izvoza Hrvatske.

Najkvalitetnija izvedbena rješenja hidromelioracijskih objekata i sustava ostvorena su na područjima gdje je prethodno provedena (re)komasacija zemljišta. To je preduvjet za najpovoljnije rješenje kanalske i putne mreže s odgovarajućim objektima na njima — što omogućava i racionalnije korištenje poljoprivrednih strojeva i vozila i to kako u procesu pripreme zemljišta tako i u procesu sjetve i žetve ili berbe biljnih kultura. Kvalitetno izgrađeni i redovno održavani hidromelioracijski objekti i sustavi za odvodnju i navodnjavanje omogućavaju provedbu odgovarajućih agromelioracijskih mjera i radova za poboljšanje fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava rizosfernog sloja tla. Reguliranje i osiguranje količine vode potrebne za optimalni razvoj biljnih kultura jedno je od ključnih pitanja hidrotehničkih melioracija tala i to kako s biološkog, tako i s tehničkog i gospodarskog aspekta. Kako u velikim tako i malim razvijenim državama je potvrđeno da je izgradnja i redovito održavanje zaštitnih objekata (za obranu od poplava) te hidrotehničkih objekata za odvodnju i navodnjavanje zemljišta preduvjet za razvoj poljoprivredne proizvodnje. A u Hrvatskoj poljoprivreda je strateška gospodarska djelatnost zajedno sa turizmom. Međutim nedopustivo je da smo još uvijek uvoznici hrane i to kako za redovite potrebe tako i za potrebe turizma. I pored vrlo povoljnih prirodnih uvjeta u Hrvatskoj ne zadovoljava stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava. To je posljedica nedostatka razvojnih programa vodnogospodarskih i poljoprivrednih djelatnosti — i to kako u sastavu bivše države tako i u samostalnoj Republici Hrvatskoj. Složenost procesa optimalizacije projekta hidromelioracijskih sustava za odvodnju zemljišta prikazani su na slici 17, str. 30.

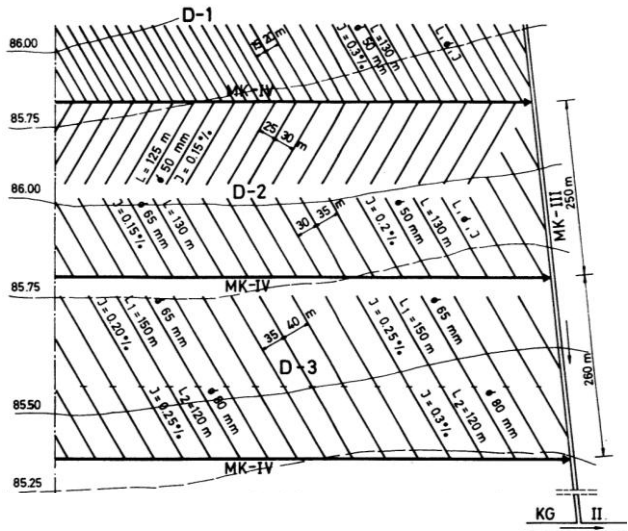
2. Melioracijska odvodnja u Zakonu o vodama i Zakonu o financiranju vodnog gospodarstva

U prosincu 1995. g. Zastupnički je dom Sabora Republike Hrvatske donio odluku o proglašenju *Zakona o vodama* i *Zakona o financiranju vodnog gospodarstva* u kojima su, između ostaloga, dani članci u svezi s melioracijskom odvodnjom (*članak 95.—105.*), sa sljedećim glavnim odredbama:

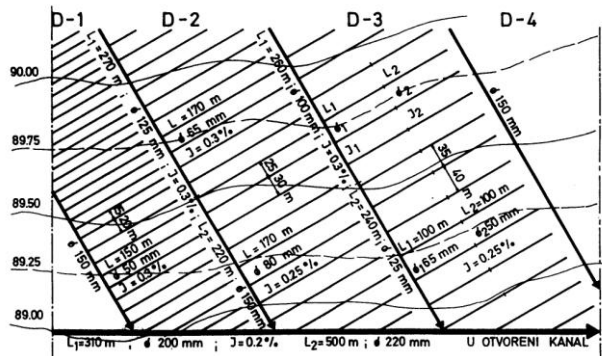
Članak 96.— Sustav melioracijske odvodnje čini skup vodnih građevina i uređaja za odvodnjavanje suvišnih voda na poljoprivrednom i drugom zemljištu, kojima se neposredno i posredno omogućuje brže i pogodnije otjecanje površinskih ili podzemnih voda i osiguravaju povoljniji uvjeti korištenja i obavljanja gospodarskih i drugih djelatnosti.

Članak 97.— Vodne građevine za odvodnju s obzirom na namjenu razvrstava ju se na osnovne (slika 1.1) i detaljne (slika 1.2) melioracijske objekte za odvodnju .

Slika 1.1: Sustav kombinirane odvodnje s upustom drenskih cijevi u otvorene melioracijske kanale IV. i III. reda



Slika 1.2: Sustav podzemne odvodnje s kombinacijom drenskih cijevi, sisala, sakupljača i kolektora, cijevi Φ od 50 do 250 mm



Članak 99.— Prijedlog za uređenje ili građenje novog hidromelioracijskog sustava treba biti usklađen s vodnogospodarskim planom, odnosno vodnogospodarskom osnovom slivnog područja (slika 2). U određenom roku je potrebno provesti javne rasprave u svim katastarskim općinama u kojima se planira uređenje ili građenje hidromelioracijskih sustava.

Članak 100.— Odluku o pristupanju uređenju hidromelioracijskog sustava donose županijske skupštine na osnovi ocjene gospodarske opravdanosti i postojanja uvjeta za financiranje radova. Naknadu za uređenje ili građenje hidromelioracijskog sustava plaća se u skladu sa Zakonom o financiranju vodnog gospodarstva. Naknadu su dužni plaćati svi korisnici za koje je uređen hidromelioracijski sustav.

Članak 102.— Izgrađeni hidromelioracijski sustav može se koristiti nakon što je izdana vodopravna dozvola za njegovo korištenje.

Članak 103.— U Zakonu o financiranju vodnoga gospodarstva utvrđeni su, između ostalog, izvori sredstava za financiranje poslova upravljanja lokalnim vodama te za financiranje održavanja i upravljanja hidromelioracijskim sustavima za odvodnju. U nastavku su citirani članci i važnije odredbe Zakona koji se odnose na financiranje poslova održavanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju.

Članak 17.— Sredstva vodne naknade koriste se na slivnom području na kojem su ostvarena, a plaćaju vlasnici, odnosno korisnici zemljišta i drugih nekretnina na slivnom odnosno melioracijskom području (slika 2).

Članak 18.— *Slivnu vodnu naknadu plaćaju:*

- 1) Za poljoprivredno zemljište, šume i šumsko zemljište, građevinsko i drugo zemljište — osobe koje se u katastru zemljišta vode kao posjednici, odnosno drugi nositelji stvarnopravnih ovlasti na nekretninama.
- 2) Za poslovne prostorije i druge nekretnine koje se koriste za obavljanje gospodarskih i drugih djelatnosti (industrija, različite gospodarske djelatnosti, banke, ustanove, državna tijela i tijela jedinica lokalne samouprave i dr.) — vlasnici, odnosno drugi nositelji stvarnopravnih ovlasti na tim nekretninama.
- 3) Za stambene zgrade i stanove u naseljima s uređenim građevinskim zemljištem koje se takvim smatra prema Zakonu o komunalnom gospodarstvu — vlasnici, odnosno drugi ovlašteni korisnici tih nekretnina.
- 4) Za prometnice (ceste, željeznice, luke, pristaništa, zrakoplovna pristaništa i dr.) — vlasnici, odnosno drugi nositelji stvarnopravnih ovlasti.
- 5) Za nekretnine komunalnog značenja, za športske objekte i druge nekretnine u javnoj uporabi (parkovi, tržnice, kupališta, lokalne ceste i dr.) — vlasnici, odnosno drugi nositelji stvarnopravnih ovlasti.

Nositelji stvarnopravnih ovlasti iz stavka 1. ovoga članka jesu osobe koje na temelju ugovora ili na temelju akta nadležnog tijela ostvaruju pravo upravljanja ili korištenja zemljišta odnosno drugih nekretnina i plaćaju poreze, naknade i druge novčane obveze u vezi s njihovim korištenjem.

Članak 20.— Ako je na poljoprivrednom zemljištu uslijed elementarnih nepogoda, ratnih prilika ili drugih izvanrednih događaja koje vlasnik, odnosno korisnik zemljišta nije mogao spriječiti, izostao prinost ili je umanjen najmanje za 50% u odnosu na ukupni katastarski prihod istog vlasnika, odnosno korisnika, »Hrvatske vode« otpisat će utvrđeni iznos vodne naknade ili njen razmjerni dio. Visinu štete utvrđuje komisija županije, odnosno grada Zagreba na čijem je području zemljište na kojem je šteta nastala.

Članak 22.— Stope vodne naknade koja se plaća prema jedinici površine određuju županijske skupštine na slivnom području na prijedlog »Hrvatskih voda«. Stope i visine vodne naknade određuju se za razdoblje od dvije, a najviše pet godina. Odluka o stopama i visinama vodnih naknada objavljuje se u službenim glasilima županija.

Članak 23.— Stope i visine vodne naknade određuju se na temelju ukupne vrijednosti radova i zadataka utvrđenih planom upravljanja lokalnim vodama na slivnom području i u skladu s mjerilima i normama za obavljanje tih poslova koje na prijedlog »Hrvatskih voda« donosi Državna uprava za vode. U svrhu pravičnog rasporeda troškova slivno područje može se podijeliti na odsjeke s obzirom na opseg i stupanj izgrađenosti vodnog sustava, namjenu i uvjete korištenja zemljišta i drugih nekretnina. Za svaki odsjek slivnog područja utvrđuje se vrijednost planiranih radova i zadataka prema kojem se određuju stope i visine vodne naknade. Odluku o podjeli slivnog područja prema

stavku 2. ovoga članka donose županijske skupštine na slivnom području na prijedlog »Hrvatskih voda«.

Članak 24.— U svrhu ujednačavanja kriterija za određivanje stopa i visina vodnih naknada Vlada Republike Hrvatske propisuje:

- 1) minimalne stope i visine vodne naknade, s obzirom na stupanj izgrađenosti i opseg korištenja vodnog sustava na pojedinim slivnim područjima,
- 2) koeficijente u odnosu na prosječnu vodnu naknadu na slivnom području prema kojima se, s obzirom na gospodarsko značenje djelatnosti i vrijednost nekretnina, određuje stopa odnosno visina vodne naknade za pojedine kategorije obveznika iz članka 18. stavka 1. Zakona o financiranju vodnog gospodarstva.

Vlada Republike Hrvatske može odrediti jedinstvene visine vodne naknade na razini Republike za nekretnine kojima upravljaju veliki gospodarski sustavi (šume, ceste, željeznica, zrakoplovna pristaništa i dr.).

Članak 25.— Ako županijske skupštine na slivnom području ne donesu odluku o visini vodne naknade »Hrvatske vode« će privremeno, do donošenja takve odluke, primijeniti stope i visine vodne naknade iz članka 24. Zakona o financiranju vodnog gospodarstva.

Sredstva slivne vodne naknade su namjenska za izvršavanje poslova upravljanja i redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava.

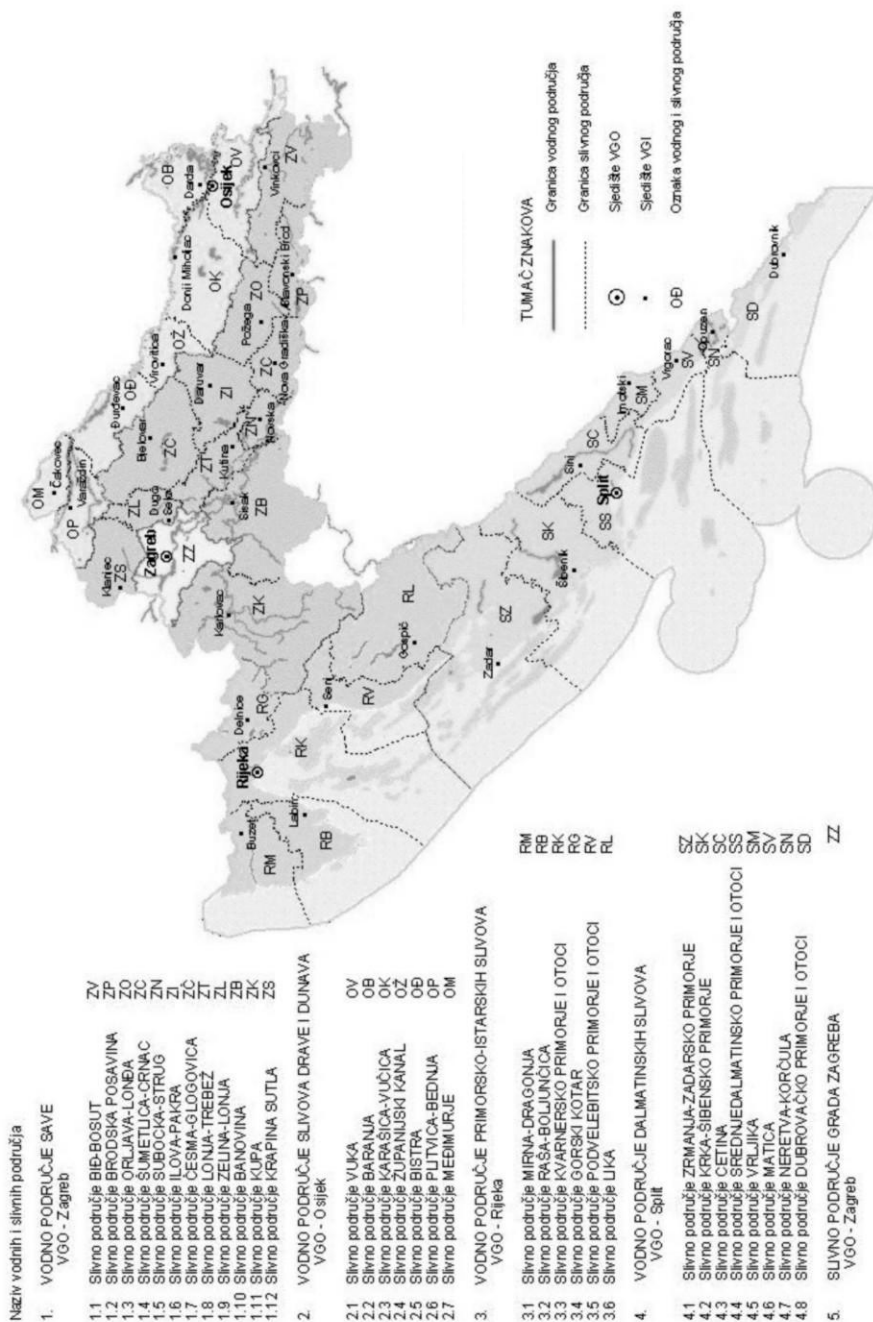
Nažalost navedene odredbe Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva se ne provede u dovoljnoj mjeri što je dovelo do pogoršanja stanja odnosno sve nižeg stupnja funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava u Hrvatskoj (slike 4, 5, 6 i 7), a posljedica toga su i sve niži prirodi, a veći troškovi u procesu pripreme zemljišta i uzgoja biljnih kultura (r. b. 4 i 7).

3. Stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje u Hrvatskoj — u 2001. g.

3.1. Utjecajni činitelji na stanje hidromelioracijskih objekata i sustava

Na osnovu podataka vodnogospodarskih ispostava i odjela HRVATSKIH VODA iz 2001. g. sistematizirani su glavni pokazatelji o melioracijskim površinama te stupnju (ne)izgrađenosti i (ne)održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odnosno kombinirane odvodnje. Pokazatelji se razlikuju u odnosu na 1991. g. iz sljedećih razloga:

- a) Na privremeno okupiranom području Hrvatske od 1991. do 1995. g. odnosno do 1997. g. (Baranja, zapadni Srijem i dio istočne Slavonije) nisu izvršavani poslovi redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava pa je dio njih prestao ili funkcionira nedovoljnom stupnju u odnosu na njihovo izvedbeno stanje.
- b) Na ostalim područjima Hrvatske smanjena su i inače nedostatna sredstva za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje pa dio njih funkcionira na nižem stupnju u odnosu na projektno-izvedbeno stanje. *Smanjenje realnog iznosa sredstava slivne vodne naknade je prvenstveno posljedica pogoršanja stanja u poljoprivredi od 1991. do 2001. g. kao i neprovođenja Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva (što je navedeno pod r. b. 2).*



Slika 2:
Vodnogospodarski odjeli i vodnogospodarske ispostave
Hrvatskih voda

- c) Manji dio hidromelioracijskih objekata i sustava za površinsku i podzemnu odnosno kombiniranu odvodnju nije u funkciji ili funkcionira na minimalnom stupnju zbog neodržavanja glavnih recipijenata pojedinih slivnih područja. To je posljedica odluke Zastupničkog doma Hrvatskog državnog sabora od 19. lipnja 1998. g. kojom je ukinut vodni doprinos čija sredstva su bila namijenjena za poslove dogradnje i održavanja hidrotehničkih objekata na državnim vodama. *Nažalost izmjenom Zakona o financiranju vodnog gospodarstva, kojom se 'vodni doprinos' zamjenjuje 'državnim proračunom', doveo je do stalnog smanjenja realnog iznosa sredstava u odnosu na 1996. g. Posljedica toga je neizvršavanje poslova redovnog održavanja i dogradnje zaštitnih hidrotehničkih objekata (nasipi, regulacijske građevine, obodni i oteretni kanali), a njihov niži stupanj funkcioniranja je doveo do smanjenja ili prestanka funkcioniranja dijela hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odnosno kombinirane odvodnje.*
- d) *Ratne štete i njihovo sporo otklanjanje odnosno spora obnova zaštitnih kao i hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju također su doveli do smanjenja ili prestanka funkcioniranja dijela tih objekata i sustava.*
- e) *Negativne posljedice 'pretvorbe' poljoprivrednih poduzeća u društvenom vlasništvu također su doveli do pogoršanja stanja u poljoprivrednoj proizvodnji kao i hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju i navodnjavanje. Naime, promjene i nedefinirani vlasnički odnosi doveli su do neplaćanja slivne naknade od strane vlasnika i korisnika zemljišta, a posljedica toga je neizvršavanja poslova redovnog održavanja i pogoršanje odnosno smanjenje razine funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju.*
- f) Sve veći broj staračkih domaćinstava koji su vlasnici poljoprivrednog zemljišta nisu u mogućnosti provoditi suvremenu obradu zemljišta što je dovelo do pogoršanja njihovog materijalnog stanja i neplaćanja slivne naknade – a bez toga nema odgovarajućeg dijela sredstava za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju.
- g) Usitnjenost posjeda odnosno male površine parcela korisnika poljoprivrednih zemljišta također su prepreka kvalitetnom održavanju i funkcioniranju hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju.

Na slici 2. prikazana su vodna i slivna područja na kojima djeluju vodnogospodarski odjeli i ispostave *Hrvatskih voda* – pravne osobe za obavljanje poslova upravljanja vodama. *Upravljanje vodama čini skup aktivnosti, odluka i mjera čija je svrha održavanje, poboljšanje i ostvarivanje jedinstva vodnog režima na određenom području.* Teritorijalne jedinice za upravljanje vodama jesu vodna i slivna područja kao hidrografske i gospodarske cjeline (slika 2). U skladu s tim u 2001. g. izvršeno je noveliranje stupnja izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje u Hrvatskoj – u odnosu na podatke iz 1990. g. Aktualni numerički podaci dati su u tablici 1, a grafički pokazatelji na slici 3. Na slici 4. dat je prikaz poplavnih područja na kojima je potrebna dogradnja postojećih i izgradnja novih zaštitnih hidrotehničkih objekata – kao preduvjeta hidrotehničkim melioracijama. U cilju sagledavanja i vrednovanja aktualnih podataka i pokazatelja treba imati na umu sljedeće kriterije i mjerila za stupanj (ne)izgrađenosti hidromelioracijskih sustava površinske i podzemne odnosno kombinirane odvodnje:

- *Melioracijske površine* — dio slivnog područja na kojem je potrebna i opravdana izgradnja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje s obzirom na topografska, klimatska, hidrološka, pedološka, geotehnička i vegetacijska obilježja

te zahtjeve optimalnog razvoja biljnih kultura. U Hrvatskoj ima 1.673.742 ha melioracijskih površina, a detaljniji podaci po vodnim i slivnim područjima dati su u tablici 1.

- *Potpuno izgrađeni hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje* — dio melioracijskih površina s potpuno izgrađenim hidromelioracijskim objektima za pravodobnu odvodnju suvišnih voda prema zahtjevima optimalnog razvoja biljnih kultura, ali i odvodnju suvišnih voda s površinama na kojima su izgrađena naselja, prometnice, gospodarski i ostali objekti.
- *Dijelom izgrađeni hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje* — dio melioracijskih površina s nedovoljno izgrađenih hidromelioracijskih objekata, koji ne omogućavaju pravodobnu odvodnju kod pojave iznad prosječnih oborina. Potrebna je dogradnja melioracijskih kanala IV. i III. reda tako i odgovarajućih hidromelioracijskih objekata.
- *Neizgrađeni hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje* — dio melioracijskih površina bez izgrađenih hidromelioracijskih objekata za odvodnju ili površine s pojedinačnim melioracijskim objektima na manjim površinama odnosno depresijama i udolinama vodotoka. Djelomična odvodnja je moguća putem prirodnih vodotoka. Dio tih površina nije zaštićen od poplava vanjskih voda – i to kako rijeka tako i brdskih voda kao i procesa erozije (slika 4).
- *Potpuno izgrađeni hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje* — dio melioracijskih površina s potpuno izgrađenim hidromelioracijskim sustavima površinske odvodnje na kojoj su ugrađene PVC drenažne cijevi (promjera 50 do 200 mm) za potpunu odvodnju suvišnih podzemnih voda iz rizosfere (zona razvoja korijena biljnih kultura). Hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje su izgrađeni po važećim tehničkim normativima (promjer, dubina i razmak drenažnih cijevi). Ovisno o hidropedološkim svojstvima tla i smanjenjem zamuljenja cijevi na dijelu tih površina s drenažnim cijevima ugrađen je filter materijal i provedene odgovarajuće tehničke mjere i radovi.
- *Dijelom izgrađeni hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje* — dio površina s potpuno ili dijelom izgrađenim sustavima površinske odvodnje, ali s nedovoljnom gustoćom ugrađenih drenažnih cijevi kao i bez filtra i potrebnih agrotehničkih mjera i radova – djelomična odvodnja suvišnih voda iz rizosfere tla.

3.2. Osnovni podaci o izgrađenosti i funkcioniranju hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju

U tablici 1 i na slici 3. dati su osnovni pokazatelji o površinama s potpuno i dijelom te neizgrađenim objektima i sustavima površinske i podzemne odvodnje. Pod r. b. 3.1. navedeni su osnovni utjecajni činitelji koji su uvjetovali postojeće stanje hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje u Hrvatskoj. U sklopu toga treba imati na umu pokazatelje o poplavnim površinama u Hrvatskoj na slici 4. *Naime i postojeći stupanj izgrađenosti hidrotehničkih objekata za zaštitu od štetnog djelovanja voda ne zadovoljava potrebe i zahtjeve kako poljoprivrednih tako i površina pod naseljima, prometnicama, gospodarskim i ostalim objektima kao i dijela šumskih površina.* A dogradnja postojećih i izgradnje novih zaštitnih hidrotehničkih objekata je preduvjet i za dogradnju postojećih kao i izgradnju novih hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplava i to kako od voda nizinskih rijeka tako i brdskih

vodotoka. Iako različitih hidroloških povratnih perioda još uvijek postoji opasnost i mogućnost pojave poplava na 471.730 ha melioracijskih nizinskih površina u Hrvatskoj, a od toga na vodnom području Save — 285.000 ha (60,4%), Drave i Dunava — 144.280 ha (30,6%), Istre i Primorja 22.500 ha (4,8%) te Dalmacije 19.950 ha (4,2%). Sastavni dio toga su i podaci o stupnju (ne)izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje koji su dati u tablici 1 i na slici 4, a osnovne konstatacije su sljedeće:

— Ukupne melioracijske površine	1.673.792 ha (100%)
— Potpuno izgrađeni hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje	724.749 ha (43,3%)
— Dijelom izgrađeni hidromelioracijski objekti i sustavi površinske odvodnje	324.662 ha (19,4%)
— Neizgrađeni hidromelioracijski objekti i sustavi površinske odvodnje	624.381 ha (37,3%)
— Ukupne melioracijske površine s potrebom podzemne odnosno kombinirane odvodnje	882.350 ha (100%)
— Potpuno izgrađeni sustavi kombinirane odvodnje (podzemna odvodnja na površinama s potpuno izgrađenim sustavima površinske odvodnje	121.484 ha (14,8%)
— Dijelom izgrađeni sustavi kombinirane odvodnje — površinske i podzemne odvodnje	27.169 ha (3,3%)

Na melioracijskim površinama s potpuno i dijelom izgrađenim sustavima površinske i kombinirane odvodnje izgrađeni su sljedeći hidrotehničke građevine:

— Dužina glavnih vodotoka II. i I. reda	6.620 km
— Dužina melioracijskih kanala IV. i III. reda (detaljni ili parcelni – DK i skupljači kanali – SK)	26.357 km
— Betonski cijevni propusti promjera od 50 do 200 cm	21.659 objekata
— Betonski pločasti propusti otvora od 200 do 1000 cm	1.486 objekata
— Betonske i (ili) kamene stepenice	1.085 objekata
— Čepovi i automatski čepovi promjera od 50 do 200 cm	506 objekata
— Ostali hidromelioracijski objekti (betonske i kamene stepenice, sifoni, ustave, brzotoci, objekti ušća kanala, zaštita dna i pokosa kanala)	1.466 objekata

Crpne stanice — najsloženiji i najskuplji hidromelioracijski objekti — ukupne snage 22.470 KW i kapaciteta 320,9 m³/s, za odvodnju 276.000 ha nizinskih melioracijskih površina. 75 objekata

Na 121.484 ha potpuno izgrađenih i 27.169 ha dijelom izgrađenih sustava podzemne odvodnje ukupno je ugrađeno 53.072.170 m drenažnih PVC cijevi od čega je 95% promjera 50, 65 i 80 mm, a samo 5% promjera 100, 125, 160, 180 i 200 mm. Hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje sa filter materijalom izgrađeni su na 38% odnosno na 46.160 ha, a u najvećoj mjeri je kao filter ugrađen separirani šljunak (32%), a u manjoj mjeri stiropor i plastica (6%). Također je važan podatak da su hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje prvenstveno izgrađeni na melioracijskim površinama u posjedu pravnih osoba.

Najkvalitetnija rješenja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje izgrađena su na melioracijskim površinama gdje je provedena (re)komasacija zemljišta. A to je ostvareno u najvećoj mjeri na području Slavonije i Baranje te melioracijskim

Tablica 1: *Melioracijske površine i stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje u Hrvatskoj u 2001. godini*

R. br.	Slivno i vodno područje	Ukupna površina [ha]	Meliorac. površina [ha]	Stupanj izgrađenosti hidromelioracijskog sustava za odvodnju				
				Površinska odvodnja			Podzem. odvod.	
				potpuno	dijelom	neizgrađ	potpuno	dijelom
1	Biđ—Bosut	227950	169810	137931	31879	0	24775	0
2	Brodaska Posavina	104200	73802	71900	1902	0	13215	0
3	Orljava—Londža	131380	50450	5311	14689	30450	720	280
4	Šumetlica—Crnac	99800	52520	26709	8444	17367	7171	0
5	Subocka—Strug	58850	25950	0	17000	8950	0	5000
6	Ilova—Pakra	155450	61100	3015	0	58085	2046	0
7	Česma—Glogovnica	233800	123170	19668	0	103502	2008	0
8	Lonja—Trebež	107050	48450	38757	0	9693	11035	0
9	Zelina—Lonja	65790	33100	7877	150	25073	2161	0
10	Banovina	317457	138955	6400	15500	17055	2500	2000
11	Kupa	443150	71050	8018	0	63032	2008	0
12	Zagreb	188460	89877	22777	12200	54900	3574	0
13	Krapina—Sutla	123000	17100	0	5400	11700	0	0
I	Ukupno v.p. SAVA	2256337	955334	348363	107164	499807	71213	7280
14	Vuka	179300	156000	130000	26000	0	8000	2000
15	Baranja	105025	75092	66392	8700	0	0	0
16	Karašica—Vučica	234723	173889	103024	70845	0	30110	4709
17	Županijski kanal	87328	64870	49635	9735	5500	6700	3000
18	Bistra	136425	68640	4415	53225	11000	1200	0
19	Plitvica—Bednja	103733	34850	5732	25071	4047	205	0
20	Međimurje	73500	53118	3042	11120	38956	1982	10180
II	Ukupno DRAVA DUNAV	920034	626439	362240	204696	59503	48197	19889
21	Mirna—Dragonja	12770	12770	1020	1180	10570	1020	0
22	Raša—Boljunčica	7850	7850	740	1790	5320	740	0
23	Kvarnersko primorje i otoci	530	530	0	65	465	0	0
24	Gorski kotar	1200	1200	0	0	1200	0	0
25	Podvelebitsko primorje i otoci	600	600	0	0	600	0	0
26	Lika	20070	20070	0	0	20070	0	0
III	Uk. Primorje, Istra, Gorski kotar i Lika		43020	1760	3035	38225	1760	0
27	Zrmanja—Zadarsko pr.	15630	15630	2451	3080	10099	314	0
28	Krka—Šibensko prim.	5380	5380	200	1290	3890	0	0
29	Cetina	7456	7456	4046	0	3410	0	0
30	Srednjedalmatinsko primorje i otoci	530	530	0	0	530	0	0
31	Vrlička	4520	4520	0	1100	3420	0	0
32	Matica	3330	3330	0	1320	2010	0	0
33	Neretva—Korčula	10459	10459	5605	1867	2987	0	0
34	Dubrovačko primorje i otoci	1694	1694	84	1110	500	0	0
IV	Ukupno Dalmacija		48999	12386	9767	26846	314	0

Sveukupno Hrvatska		1673792	724749	324662	624381	121484	27169
--------------------	--	---------	--------	--------	--------	--------	-------

U odnosu na podatke za 1990. g. — treba provjeriti i usaglasiti podatke za slivna područja pod r.b. 2, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 20, 23, 26, 29 i 33. Navedene podatke su dostavili VGI i VGO Hrvatskih voda, a sistematizirani su u Zavodu za vodno gospodarstvo.

površinama Črnc polja. Preduvjet funkcioniranju hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje je dogradnja i redovno održavanje zaštitnih hidrotehničkih objekata — za obranu od poplavnih voda rijeka. Sastavni dio toga je i potreba regulacije i redovnog održavanja glavnih vodotoka pojedinih slivnih područja. A redovno održavanje i efikasno funkcioniranje hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje je preduvjet za kvalitetno funkcioniranje hidromelioracijskih sustava podzemne odnosno kombinirane odvodnje. Nažalost pogoršanjem materijalnog stanja u poljoprivrednoj proizvodnji, ratnim djelovanjem i posljedicama te neprovođenje Zakona o vodama i Zakona o financiranju vodnog gospodarstva — dovela su do smanjenja financijskih sredstava za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih sustava za odvodnju. Zbog toga je došlo do sve niže razine njihovog funkcioniranja odnosno pogoršanja vodnog režima poljoprivrednog zemljišta. A posljedica toga je povećanje troškova u procesu uzgoja biljnih kultura i smanjenje njihovih priroda (t/ha).

U tablici 1. i na slici 3. dati su osnovni brojevi podaci o stupnju (ne)izgrađenosti hidromelioracijskih sustava površinske i podzemne, ali je potrebno imati na umu i najvažnije opisne pokazatelje o stanju (ne)izgrađenosti i (ne)funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje – po vodnim i slivnim područjima u Hrvatskoj.

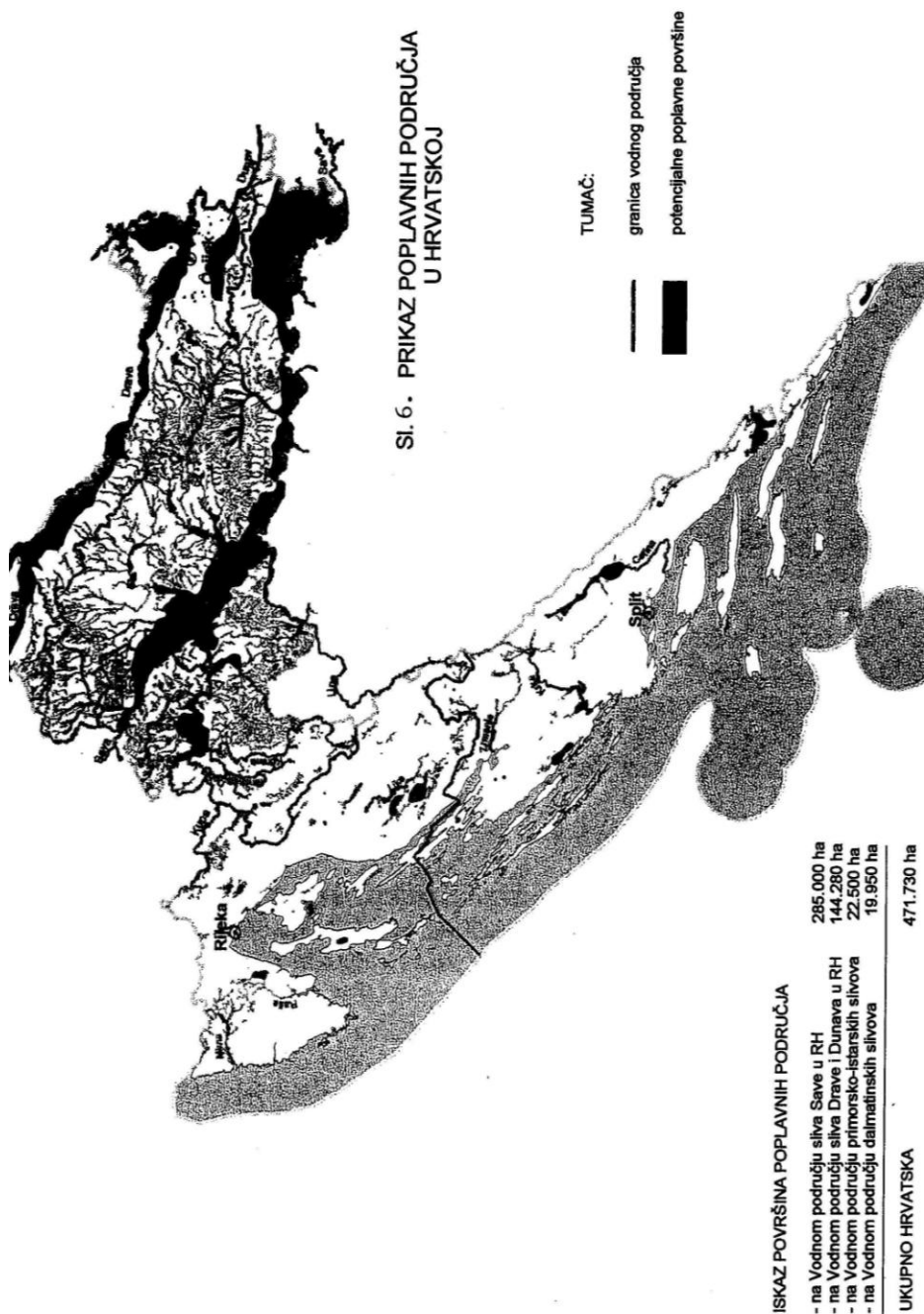


Slika 3: Osnovni pokazatelji o melioracijskim površinama i sustava za odvodnju u Hrvatskoj

3.2.1. Vodno područje rijeke Save, Zagreb

Ukupne melioracijske površine na vodnom području rijeke Save su 955.344 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 348.363 ha (36,5%), dijelom na 107.164 ha (11,2%), a nisu izgrađeni na 499.807 ha (52,3%). Hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane izgrađeni su u potpunosti na 71.213 ha (13,8%), a dijelom na 7280 ha (1,4%) – od ukupnih potreba na 519.060 ha. Za odvodnju nizinskih melioracijskih površina izgrađeno je 40 crpnih stanica ukupnog

kapaciteta 198,1 m³/s. Za zaštitu od štetnog djelovanja poplavnih voda rijeka izgrađeno je 1.195,3 km nasipa, a za zaštitu od brdskih poplavnih voda izgrađeno je 422,5 km obodnih kanala. Ukupna dužina glavnih odvodnih kanala I. reda je 1696,5 km, a II. reda 1473,9 km. Oteretnim kanalima je zaštićen dio nizinskih površina od poplavnih voda, ali ne u dovoljnoj mjeri.



Slika 4: Prikaz poplavnih područja u Hrvatskoj

Nažalost, pored nedovoljnog stupnja izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju, od 1991. g. sve je niži stupanj njihovog održavanja. Zbog smanjenja realnog iznosa sredstava slivne vodne naknade došlo je do smanjenja poslova redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju. Na područjima koja su bila privremeno okupirana stanje hidromelioracijskih objekata i sustava je u još lošijem stanju. Proticajni profili melioracijskih kao i glavnih odvodnih kanala smanjeni su od 30 do 70% u odnosu na njihovo projektno-izvedbeno stanje. Ratnim djelovanjem oštećen je i razoren veliki broj hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju (cijevni i pločasti propusti, crpne stanice, ustave). To se prvenstveno odnosi na dijelove melioracijskih površina područja Vukovarsko-srijemske, Brodsko-posavske, Požeške, Sisačko-moslavačke i Karlovačke županije. Program obnove i dovođenja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju kao i zaštitnih hidrotehničkih objekata započet je 1996. g., ali se izvršava sporije od potrebnog s obzirom na zahtjeve kako poljoprivredne proizvodnje tako i cjelokupnog gospodarstva. Glavni razlog su nedostatna sredstva odnosno ne izvršavanje aktualnog Zakona o financiranju vodnog gospodarstva i pogoršanog stanja odnosno neriješenih pitanja u poljoprivredi – koja i nadalje ostaje glavna strateška gospodarska djelatnost u Hrvatskoj. Zbog nedovoljnog stupnja izgrađenosti i održavanja hidromelioracijskih i zaštitnih objekata i sustava na vodnom području Save za poljoprivrednu proizvodnju koristi se 68% melioracijskih površina od ukupnih 955.334 ha.

1. Slivno područje Biđ-Bosut, Vinkovci (grad-sjedište VGI Hrvatskih voda)

Od ukupne površine slivnog područja 227.950 ha melioracijske površine su 169.810 ha (74,5%) s vrlo povoljnim prirodnim obilježjima poljoprivrednih tala. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na 137.931 ha (81,2%), a dijelom na 31.879 ha (18,8%) od ukupnih 169.810 ha melioracijskih površina. Područje je zaštićeno od poplavnih voda rijeke Save lijevim nasipom (28 km) kojeg treba dograditi na dionici od Županje do granice s Vojvodinom – u dužini 34 km. Zapadnim lateralnim (obodnim) kanalom Biđ-polja, područje je zaštićeno od poplavnih voda brdskih vodotoka. Na slivnom području Biđ-Bosut izgrađeni su hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u sklopu provedbe (re)komasacije zemljišta od 1955. g. do 1975. godine. Hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje su izgrađeni od 1976. do 1990. g. na 24.775 ha i to prvenstveno na poljoprivrednom zemljištu u vlasništvu bivšeg poljoprivrednog industrijskog kombinata. Zbog topografskih i hidroloških obilježja i zahtjeva uzgoja biljnih kultura na slivnim području je izgrađeno 9 crpnih stanica kapaciteta od 0,5 do 30,0 m³ – ukupnog kapaciteta 46,8 m³/s. U sklopu toga treba imati na umu da se najveća crpna stanica na ušću Bosuta u Savu nalazi na području Vojvodine. Međutim crpnom stanicom Bosut kapaciteta 30,0 m³/s vrši se odvodnja 71% nizinskih površina sliva Bosuta na području Hrvatske, a to je 28.025 ha prirodno vrlo povoljnih obradivih poljoprivrednih zemljišta. Ostalim crpnim stanicama vrši se odvodnja 18.665 ha nizinskih melioracijskih površina. Hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje izgrađeni su na 24.775 ha, ali su dijelom pod uspornim djelovanjem neodržanih melioracijskih kanala.

Zbog privremene okupiranosti dijela područja od 1991. do 1995. g. (od Vinkovaca do granice Hrvatske i Vojvodine) i pogoršanog stanja u poljoprivredi nije bilo niti minimalno potrebnih sredstava slivne naknade za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje – od 1991. do 2001. g. Posljedica toga je sve niži stupanj odvodnje od potrebnog odnosno od razine projektno-izvedbenog stanja. *Proticajni profili kako melioracijskih tako i glavnih kanala su smanjeni zbog raslinja i zamuljenja. To je dovelo i do nižeg stupnja funkcioniranja i*

hidromelioracijskih sustava podzemne odnosno kombinirane odvodnje. Neriješeno pitanje vlasničkih odnosa i neizvršavanja Zakona o financiranju vodnog gospodarstva odnosno stalno pogoršanje materijalne osnove poljoprivrednih proizvođača su glavni razlozi koji su doveli do nedostatka sredstava slivne naknade za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava. *Bez redovnih i dodatnih sredstava nije moguće niti izvršiti poslove obnove ratnim djelovanjem oštećenih i razorenih zaštitnih i odvodnih hidrotehničkih objekata.* Odnos hidromelioriranih površina u obiteljskom i državnom vlasništvu je 55% : 45%. I pored visokog stupnja izgrađenosti, zbog neizvršavanja potrebnih poslova redovnog održavanja (od 1991. do 2001.) sve je niži stupanj odvodnje i to kako putem melioracijskih kanala tako i glavnim odvodnim kanalima II. i I. reda sliva Bida i Bosuta. Poseban je problem potreba hitne obnove brane na km 81 rijeke Bosut koja uništena ratnim djelovanjem srbo-četničkih vojnih formacija. Alternativa tome je izgradnja objekata hidročvora po projektu »Višenamjenskog kanala Dunav—Sava« na užem području razorene brane »Trbušanci« u cilju reguliranja vodostaja i proticaja za potrebe odvodnje, navodnjavanja i plovidbe. Iskoristivost odnosno obradivost melioracijskih površina na slivnom području Bida i Bosuta je 85%, ali s nižom razinom odvodnje u odnosu na stanje do 1991. g. Dio melioracijskih površina još uvijek nije deminiran (istočno od Vinkovaca do granice Hrvatske i Vojvodine, između autoceste i željezničke pruge).

2. Slivno područje »Brodsko posavina«, Slavonski Brod

Od ukupnih 104.200 ha, melioracijske površine su na 73.802 ha. Potpuno izgrađeni hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje su na 71.900 ha (97,4%), a dijelom na 1.902 ha (2,6%) nizinskih površina područja. Međutim zbog nedostatka sredstava slivne vodne naknade odnosno sve nižeg stupnja održavanja, hidromelioracijski objekti i sustavi za odvodnju funkcioniraju sa 55 do 75% odvodnje u odnosu na projektno-izvedbeno stanje. I na površinama koje su bile u vlasništvu Agrokombinata "Jasinje« s izgrađenim hidromelioracijskim sustavima površinske i podzemne odvodnje došlo je do pogoršanja stanja zbog problema vlasničkih odnosa i nedostatka sredstava slivne vodne naknade za poslove njihovog redovnog održavanja. Melioracijske površine su zaštićene od poplavnih voda rijeke Save lijevim nasipom, a od brdskih vodotoka većim dijelom izgrađenim obodnim kanalima. Zbog topografskih i hidroloških obilježja izgrađene su 4 crpne stanice ukupnog kapaciteta 32,4 m³/s — za odvodnju 29.455 ha nizinskih melioracijskih površina vrlo povoljnog prirodnog potencijala tala. Hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje su izgrađeni na 13.215 ha i to prvenstveno na površinama koje su bile u vlasništvu poljoprivrednih poduzeća (pravne osobe).

Iskoristivost hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje je 85%, ali su sve veći problemi vlasničkih odnosa i korisnika hidromelioriranih površina kao i nedostatak sredstava slivne vodne naknade za poslove održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava. Također je potrebno više sredstava za poslove redovnog održavanja zaštitnih hidrotehničkih objekata (nasipi, regulacijske građevine, obodni kanali) – kao preduvjeta funkcioniranju hidromelioracijskih sustava za odvodnju.

3. Slivno područje »Orljava—Londža«, Požega

Od ukupnih 131.380 ha, melioracijske površine su na 50.450 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 5311 ha (10,5%), a dijelom na 14.689 ha (29,1%) – dok na 30.450 ha (60,4%) nisu izgrađeni. Dio područja je zaštićen od brdskih poplavnih voda obodnim kanalima i dijelom reguliranim vodotocima, ali je preostala potreba kako regulacije većeg dijela bujičnih vodotoka tako i izgradnje novih obodnih kanala, te brana odnosno akumulacija i retencija po prijedlogu vodnogospodarske osnove sliva Orjlave. Veći dio melioracijskih površina je u

obiteljskom vlasništvu i zakupu a 10.500 ha s potpuno i dijelom izgrađenim hidromelioracijskim sustavima površinske i 720 ha kombinirane odvodnje u vlasništvu Kutjeva d.d. (pravna osoba). Dio površina na 11.300 ha je na području pod posebnom državnom skrbi koje se obrađuje na vrlo malom dijelu. Oko 10.000 ha je vlasništvo Republike Hrvatske, ali je uzurpirano i bez podataka o načinu i stupnju korištenja.

Stupanj iskoristivosti hidromelioracijskih objekata i sustava je 70%, ali je stupanj njihovog održavanja ispod važećih minimalnih standarda. A to je posljedica neriješenih vlasničkih i korisničkih odnosa poljoprivrednih zemljišta i nedostatka sredstava slivne naknade. Također je potrebno više sredstava za dogradnju postojećih i izgradnju novih hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplavnih voda brdskih i dijela nizinskih vodotoka. Za poljoprivrednu proizvodnju koristi se 65% melioracijskih površina. Dio površina nije deminiran.

4. Slivno područje »Šumetlica—Crnac«, Nova Gradiška

Od ukupnih 99.800 ha, melioracijske površine su na 52.520 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na 26.709 ha (50,9%), dijelom na 8444 ha (16,1%), a nisu izgrađeni na 17.367 ha (33,0%) melioracijskih površina. Hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje su izgrađeni na 7171 ha – i to na zemljištu u državnom vlasništvu (bivši Poljoprivredno industrijski kombinat). Nažalost zbog privremene okupiranosti dijela slivnog područja, hidromelioracijski objekti i sustavi za odvodnju nisu održavani tako da je protočnost melioracijskih kanala smanjena od 40 do 60% u odnosu na projektno-izvedbeno stanje. Zbog nemogućnosti gravitacijske odvodnje izgrađene su 4 crpne stanice ukupnog kapaciteta 32,3 m³/s za odvodnju suvišnih voda sa 26.900 ha nizinskih, ali prirodno vrlo plodnih zemljišta. Melioracijske površine su zaštićene od poplavnih voda rijeke Save lijevim nasipom, ali je potrebno dovršenje projekta »Srednjeg Posavlja« u cilju cjelovitog gospodarenja vodama. Potrebna je dogradnja objekata za zaštitu od poplava brdskih voda i zaštite od erozije. Također su potrebna dodatna sredstva za dovođenje dijela reguliranih glavnih vodotoka i većeg dijela melioracijskih kanala na projektno-izvedbeno stanje, a za potrebe efikasne odvodnje. Za poljoprivrednu proizvodnju koristi se 72% melioracijskih površina. Dio površina nije deminiran.

5. Slivno područje »Subocka—Strug«, Novska

Od ukupnih 58.850 ha, melioracijske površine su na 25.950 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje su bili izgrađeni u potpunosti na 6.247 ha, ali su zbog privremene okupiranosti i neodržavanja i smanjenja proticajnih profila melioracijskih kanala došli na stupanj funkcioniranja dijelom izgrađenih — na ukupno 17.000 ha (65,5%) poljoprivrednih zemljišta. Hidromelioracijski sustavi nisu izgrađeni na 8.950 ha (34,5%) melioracijskih površina. Za odvodnju 6.750 ha nizinskih poljoprivrednih i ostalih površina izgrađene su 4 crpne stanice kapaciteta 8,1 m³/s. Hidromelioracijski kombinirane odvodnje izgrađeni su na 5.600 ha poljoprivrednih zemljišta u državnom vlasništvu. Proticajni profili glavnih vodotoka smanjeni su od 40 do 70%, a melioracijskih kanala za 45 do 60% u odnosu na projektno-izvedbeno stanje. Potrebna su dodatna sredstva za dovođenje hidromelioracijskih objekata i sustava u njihovo projektno-izvedbeno stanje. Istovremeno je potrebno dovršenje regulacije dionica glavnih vodotoka kao i hidrotehničkih sustava projekta »Srednjeg Posavlja«. Za poljoprivrednu proizvodnju koristi se 68% melioracijskih površina. Dio površina nije deminiran.

6. Slivno područje »Ilova—Pakra«, Daruvar

Od ukupnih 155.450 ha, melioracijske površine su na 61.100 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje su u potpunosti izgrađeni na 3.015 ha (4,9%), a na preostalom dijelu postoje pojedinačni melioracijski kanali i dijelom uređeni glavni vodotoci. Hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje su izgrađeni na 2.046 ha poljoprivrednih zemljišta u državnom vlasništvu odnosno korisnika »Poljodar d.d.«. Na melioracijskom području se nalaze i ribnjaci čije funkcioniranje također ovisi o stupnju izgrađenosti i održavanja te funkcioniranja zaštitnih i odvodnih hidrotehničkih objekata. Potrebna je dogradnja postojećih i izgradnja novih hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje – kao preduvjeta razvoja poljoprivrede, koja je glavna gospodarska djelatnost na slivnom području Ilove i Pakre. Na melioracijskom području zemljište je velikim dijelom u obiteljskom vlasništvu i korištenju, a manji dio koriste pravne osobe (Poljodar d.d.). Za poljoprivrednu proizvodnju koristi se 52% melioracijskih površina.

7. Slivno područje »Česma—Glogovnica«, Bjelovar

Od ukupnih 233.800 ha, melioracijske površine su 123.170 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na 19.668 ha (16,0%), a nisu izgrađeni na 103.502 ha (84,0%) — iako su na tom području regulirane pojedine dionice glavnih vodotoka i izgrađeni pojedinačni melioracijski kanali na nižim dijelovima prirodnih depresija. Hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje izgrađeni su na 2.008 ha i to na nizinskim melioracijskim površinama u državnom posjedu (bivši poljoprivredni kombinat). Za odvodnju dijela nizinskih izgrađena je jedna crpna stanica kapaciteta 2,0 m³/s. Melioracijske površine su dijelom zaštićene od brdskih poplavnih voda – obodnim i spojnim kanalima te dionicama reguliranih glavnih vodotoka i odvodnih kanala II. i I. reda.

Pored nastavka regulacijskih radova na glavnim vodotocima potrebna je dogradnja postojećih i izgradnja novih hidromelioracijskih objekata i sustava površinske, a dijelom i kombinirane odvodnje. Sastavni dio hidromelioracijskih problema je i održavanje vodotoka za dovod u ribnjake i odvod vode iz ribnjaka na slivu Česme i Glogovnice. Iskoristivost nizinskih melioracijskih površina je 70% u odnosu na prirodne mogućnosti.

8. Slivno područje »Lonja—Trebež«, Kutina

Od ukupnih 107.050 ha, melioracijske površine su na 48.450 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na 38.757 ha (80,0%), a nisu izgrađeni na 9.693 ha (20,0%). Za odvodnju najnižih, ali prirodno vrlo plodnih 20.740 ha poljoprivrednih zemljišta izgrađeno je 9 crpnih stanica ukupnog kapaciteta 36,3% m³/s. Hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje su izgrađeni na 11.035 ha i to poljoprivrednih zemljišta u državnom posjedu (odnosno bivšeg poljoprivrednog kombinata). Veći dio hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje izgrađen je u sklopu ostvarenja projekta »Črnc polje« (od 1981. do 1988. g.). Nažalost zbog pogoršanja stanja u poljoprivredi i neriješenih vlasničkih odnosa sve je manje sredstava za poslove redovnog održavanja – što je dovelo i do nižeg stupnja održavanja i sve lošijeg funkcioniranja odvodnih sustava. Sastavni dio toga je i nedovoljan stupanj održavanja i potreba dogradnje zaštitnih hidrotehničkih objekata. Iskoristivost melioracijskih površina je 80% u vlasništvu obiteljskih gospodarstava, a 70% u državnom posjedu. Potrebna je dogradnja i kvalitetnije održavanje i zaštitnih hidrotehničkih objekata.

9. Slivno područje »Zelina—Lonja«, Dugo Selo

Od ukupnih 65.790 ha, melioracijske površine su na 33.100 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na 7.877 ha (23,8%), dijelom na 150 ha (0,5%), a nisu izgrađeni na 25.073 ha (75,7%). Za odvodnju najnižih 1.165 ha poljoprivrednih zemljišta izgrađene su dvije crpne stanice kapaciteta 2,1 m³/s. Hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje izgrađeni su na 2.161 ha i zemljišta u državnom posjedu. Kako hidromelioracijski sustavi površinske tako i kombinirane odvodnje su izgrađeni najvećim dijelom u sklopu ostvarenja projekta »Črnc polja« od 1981. do 1988. g. Nažalost zbog pogoršanja stanja i neriješenog statusa poljoprivrede, od 1991. g. sve je manje sredstava za poslove redovnog održavanja što je dovelo i do sve nižeg stupnja funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju. Sastavni dio toga je i potreba održavanja, ali i dogradnje zaštitnih hidrotehničkih objekata (obodni kanali, regulacijske građevine glavnih vodotoka, spojni kanali). Iskoristivost melioracijskih površina je 70% u odnosu na prirodne mogućnosti i tehničke odnosno projektno-izvedbene kapacitete hidromelioracijskih i zaštitnih objekata i sustava.

10. Slivno područje »Banovina«, Sisak

Od ukupnih 317.457 ha, melioracijske površine su na 138.955 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađene na 6.400 ha (4,6%), dijelom na 15.500 ha (11,2%), a nisu izgrađeni na 117.055 ha (84,2%). Za odvodnju najnižih 11.220 ha melioracijskih površina izgrađene su 4 crpne stanice ukupnog kapaciteta 20,2 m³/s. Hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje izgrađeni su na 2.000 ha i površina u državnom posjedu (bivše poljoprivredno poduzeće). Zbog privremene okupiranosti dijela melioracijskih površina i pogoršanja stanja u poljoprivredi odnosno stalnog smanjenja sredstava slivne vodne naknade – došlo je i do sve nižeg stupnja funkcioniranja odvodnih sustava. Proticajni profili melioracijskih kanala i glavnih vodotoka su smanjeni od 30 do 50% u odnosu na projektno-izvedbeno stanje. Potrebno je kako redovno održavanje tako i dogradnja zaštitnih hidrotehničkih objekata kao preduvjeta za bolje korištenje melioracijskih površina – koja iznosi samo 60% u odnosu na prirodne mogućnosti. Dio melioracijskih površina nije deminiran.

11. Slivno područje »Kupe«, Karlovac

Od ukupnih 443.150 ha melioracijske površine su 71.050 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na 8.018 ha (11,3%), a nisu izgrađeni na 63.032 ha (88,7%) – na kojima postoje samo pojedinačni melioracijski kanali. Hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje su izgrađeni na 2.008 ha i poljoprivrednih zemljišta u državnom odnosno posjedu pravnih osoba. Pored niskog odnosno nedovoljnog stupnja izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje, prisutan je i problem zaštite od štetnog djelovanja poplavnih voda i brdskih vodotoka. Potrebna je kako dogradnja tako i redovno održavanje zaštitnih hidrotehničkih objekata – kao preduvjeta za izgradnju novih, ali i održavanje i funkcioniranje postojećih hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju suvišnih površinskih i podzemnih voda. Iskoristivost melioracijskih površina je u prosjeku 60% – ovisno o stupnju izgrađenosti i funkcioniranju odvodnih objekata i sustava. Na području koje je bilo privremeno okupirano stanje hidrotehničkih objekata je na još nižem stunju sigurnosti i funkcioniranja. Dio melioracijskih površina nije deminiran.

12. Slivno područje grada Zagreba

Od ukupnih 188.460 ha, melioracijske površine su na 89.877 ha. Slivno područje obuhvaća veće površine Zagrebačke županije (grada Zagreba, Velike Gorice, Samobora i Zaprešića i 13 općina). Na slivnom području je 75.787 ha poljoprivrednog zemljišta — od čega su 64.411 ha obradiva zemljišta. Na slivnom području su melioracijske površine: Črnc polje (10.817 ha), te dijelovi sliva Krapine, Sutle, Odranskog polja, Kupe kao i gradova Samobora, Sesveta i Zaprešića. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni na 22.777 ha (25,3%), dijelom na 12.200 ha (13,6%), a nisu izgrađeni na 54.900 ha (61,1%). Hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje su izgrađeni na 3.574 ha i to površina koje su u posjedu ili korištenju pravnih osoba. Za odvodnju najnižih melioracijskih površina izgrađene su tri crpne stanice kapaciteta 18,0 m³/s – u sklopu ostvarenja projekta »Črnc polja« od 1981. do 1989. g.

Najbolje stanje izgrađenosti hidromelioracijskih sustava za odvodnju, ali ne i održavanje je na dijelu područja Črnc polja (kazeta 7 i 13), a odvodnja je usmjerena na kanal "Lonja—Strug". Potrebna je dogradnja i viši stupanj održavanja postojećih te izgradnja novih zaštitnih hidrotehničkih objekata – kao preduvjeta za funkcioniranje odvodnih hidromelioracijskih sustava za odvodnju. Iskoristivost melioracijskih površina je od 30 do 50% u odnosu na prirodne mogućnosti i stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje.

13. Slivno područje "Krapina—Sutla"

Od ukupnih 123.000 ha, melioracijske površine su 17.100 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje su dijelom izgrađeni na 5400 ha (31,6%), a nisu izgrađeni na 11.700 ha (68,4%). Melioracijske površine su samo dijelom zaštićene od poplavnih voda rijeke Krapine, a u još manjoj mjeri od brdskih vodotoka. Nedovoljan stupanj izgrađenosti kako hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplavnih voda rijeke i brdskih vodotoka tako i hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju su posljedica nedovoljnih financijskih sredstava, ali i neorganiziranosti poljoprivredne proizvodnje na slivnom području Krapine i Sutle. Provedba (re)komasacije zemljišta je preduvjet za izgradnju novih hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje. Iskoristivost melioracijskih površina je samo 30% od prirodnih mogućnosti, mogu biti bolje korištene nakon izgradnje novih zaštitnih i odvodnih hidrotehničkih objekata na slivu Krapine i Sutle – kao preduvjeta izgradnje, ali i funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje.

3.2.2. Vodno područje rijeke Drave i Dunava, Osijek

Ukupne melioracijske površine na vodnom području Drave i Dunava su 626.439 ha. *Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 362.240 ha (57,8%), dijelom na 204.696 ha (32,7%), a nisu izgrađeni na 59.503 ha (9,5%). Hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 48.197 ha (17,1%), dijelom na 19.889 ha (7,1%), a nisu izgrađeni na 213.774 ha (75,8%) – od ukupnih potreba na 281.860 ha. Za odvodnju nizinskih melioracijskih površina izgrađena je 21 crpna stanica ukupnog kapaciteta 54,7 m³/s. Od poplavnih voda rijeke Dunava, Drave i Mure veći dio nizinskih melioracijskih površina zaštićen je nasipima dužine 653,5 km, ali je na pojedinim dionicama potrebna njihova dogradnja i redovito održavanje. I pored prijedloga datih u vodnogospodarskoj osnovi, izgrađeno je vrlo malo brana sa akumulacijama i retencijama za zaštitu od brdskih poplavnih voda. Za zaštitu od brdskih voda izgrađeno je 76 km obodnih kanala. Nedovoljan je i stupanj reguliranosti i održava-*

nja glavnih vodotoka što ima za posljedicu djelovanje uspornih voda na hidromelioracijske kanale. najviši stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje je na slivnim područjima Vuke, Karašice, Vučice i Baranje. A najviši stupanj izgrađenosti hidromelioracijskih sustava podzemne odnosno kombinirane odvodnje je na slivu Karašice i Vučice te Županijskog kanala. Nedovoljan je stupanj izgrađenosti obodnih kanala za zaštitu nizinskih melioracijskih površina od brdskih poplavnih voda. Zbog smanjenja realnog iznosa sredstava slivne vodne naknade nedovoljan je stupanj održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju.

Najveće ratne štete učinjene su na hidromelioracijskim objektima i sustavima za odvodnju kao i zaštitnim hidrotehničkim objektima na melioracijskim površinama slivnog područja Vuke i Baranje. Dio tih područja je bio privremeno okupiran – od 1991. do 1997. g. Program obnove hidrotehničkih objekata je započet 1998. g. sredstvima Hrvatskih voda te Hrvatske banke za obnovu i razvoj i Svjetske banke. Međutim zbog ‘složenosti i sporosti procesa pripreme tehničke i financijske dokumentacije’ – izvršenje programa obnove ne zadovoljava zahtjeve poljoprivrede kao i gospodarstva i infrastrukture naselja područja koje je bilo privremeno okupirano.

Najveća ratna šteta učinjena je na crpnoj stanici »Dvor« kapaciteta 20,0 m³/s na slivu Vuke. Njena obnova je završena u svibnju 2002. g. Obnova crpnih stanica na području Baranje je također završena, ali stupanj odvodnje još uvijek ne zadovoljava. Potrebno je dovođenje u projektno-izvedbeno stanje proticajnih profila i to kako glavnih recipijenata tako i glavnih odvodnih kanala I. i II. reda, a posebno melioracijskih kanala III. i IV. reda. Potrebno je imati na umu da je najduža tradicija izgradnje te dogradnje i održavanja hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplava i odvodnju na slivnim područjima Baranje, Vuke te Karašice i Vučice. A najkvalitetnija rješenja ostvarena su na površinama s provedenim rekomasacijama zemljišta kao i površinama s izgrađenim hidromelioracijskim sustavima podzemne odnosno kombinirane odvodnje. Nažalost zbog privremene okupiranosti dijela područja (od 1991. do 1997. g.) kao i stalnog smanjenja sredstava slivne naknade – sve je niži stupanj održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju. A njihovo dovođenje u projektno-izvedbeno stanje je preduvjet za razvoj poljoprivrede na vodnom području Drave i Dunava.

1. Slivno područje »Vuka«, Osijek

Od ukupnih 179.300 ha melioracijske površine su 156.000 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 130.000 ha (83,3%), a dijelom na 26.000 ha (16,7%) i to u razdoblju od 1960. do 1990. godine. Nažalost 60% melioracijskih površina je bilo privremeno okupirano – od 1991. do 1997. g., a posljedica toga su bila ratna oštećenja i razaranja hidrotehničkih objekata. Najveća šteta je bila na crpnoj stanici »Dvor« kapaciteta 20,0 m³/s koja je ratnim djelovanjem srbočetničkih vojnih formacija potpuno uništena. Obnova C. S. Dvor je završena u svibnju 2002. g. Štetne posljedice ratnog djelovanja su bile i na ostalim hidrotehničkim objektima za odvodnju. A zbog neizvršavanja poslova redovnog održavanja došlo je do smanjenja proticajnog profila i to kako melioracijskih kanala tako i glavnih vodotoka slivnog područja Vuke. Hidromelioracijski sustavi kombinirane odnosno podzemne odvodnje su izgrađeni u potpunosti na 8000 ha, a dijelom na 2000 ha. Za odvodnju najnižih melioracijskih površina izgrađeno je 10 crpnih stanica ukupnog kapaciteta 25,0 m³/s. Obnova odnosno izgradnja nove crpne stanice »Dvor« kapaciteta završena je u travnju 2002. g. tako da je ponovno moguća odvodnja vrlo plodnih poljoprivrednih zemljišta bare »Palače« površine 20.000 ha. Ostale crpne stanice su kapaciteta od 0,25 do 1,0 m³/s odnosno ukupnog kapaciteta 5,0 m³/s za odvodnju 6000 ha nizinskih

melioracijskih površina na ostalim dijelovima sliva Vuke i Drave. Potrebna je i obnova dijela čepova na ušću melioracijskih kanala u glavne odvodne kanale te cijevnih i pločastih propusta.

Još uvijek dio površina koje su bile okupirane od 1991. do 1997. g. sliva Vuke nije deminirano. U postupku su poslovi na obnovi odnosno dovođenju glavnih vodotoka u projektno-izvedbeno stanje. A proticajni profili melioracijskih kanala IV. i III. reda su smanjeni od 40 do 60% u odnosu na njihove projektno-izvedbene elemente. Pored ratnog djelovanja to je posljedica i nedostatka sredstava za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih i regulacijskih objekata na slivu Vuke. A njihovo dovođenje u projektno-izvedbeno stanje je preduvjet za pravodobnu odvodnju poljoprivrednih i ostalih površina. Sadašnje korištenje melioracijskih površina je 80% od prirodnih mogućnosti.

2. Slivno područje »Baranja«, Darda

Od ukupnih 105.025 ha melioracijske površine su 75.092 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje u potpunosti su izgrađeni 66.392 ha (88,4%), a dijelom na 8700 ha (11,6%). Područje je zaštićeno nasipima od velikih voda rijeke Dunava i Drave. Za odvodnju najnižih melioracijskih površina 27.550 ha izgrađeno je 9 crpnih stanica ukupnog kapaciteta 24,8 m³/s. I pored vrlo duge tradicije izgradnje novih i dogradnje postojećih hidrotehničkih objekata za zaštitu od štetnog djelovanja poplavnih voda rijeke Drave i Dunava kao i izgradnje hidromelioracijskih objekata za odvodnju površinskih voda — današnje stanje ne zadovoljava potrebe optimalnog razvoja biljnih kultura. To je prvenstveno posljedica privremene okupiranosti područja Baranje od 1991. do 1997. g. U tom razdoblju ratnim djelovanjem bivše JNA i raznih srbo-četničkih vojnih formacija oštećene su crpne stanice, a i dio ostalih hidrotehničkih objekata (nasipi Drave i Dunava, cijevni i pločasti propusti, ustave). A zbog neizvršavanja poslova redovnog održavanja došlo je do zamuljenja i prekomjernog rasta vegetacije u profilu glavnih vodotoka i melioracijskih kanala. Njihovi proticajni profili smanjeni su od 40 do 65% u odnosu na projektno-izvedbeno stanje. Do 1991. g. na melioracijskim površinama Baranje ostvarivani su najveći prirodni žitarica i industrijskog bilja – što je bilo moguće u skladu s odvodnjom suvišnih voda.

Obnova hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplava je započela 1988. g., a u 2002. završena obnova oštećenih crpnih stanica. Zbog sporosti procesa deminiranja nije završena obnova nasipa Drave i Dunava, a i dijela glavnih vodotoka u Baranji. Najmanje poslova obnove je izvršeno na melioracijskim kanalima, a istovremeno je prisutan i problem nedostatka financijskih sredstava iz slivne vodne naknade. Također je prisutan problem usaglašavanja interesa poljoprivredne proizvodnje na melioracijskim površinama Baranje i parka prirode Kopački rit – zbog potrebe pravovremene odvodnje i očuvanja flore i faune. Sadašnje korištenje melioracijskih površina je 80% od prirodnih mogućnosti.

3. Slivno područje »Karašica—Vučica«, Donji Miholjac

Od ukupnih 234.723 ha melioracijske površine su 173.869 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje su izgrađeni u potpunosti na 103.024 ha (59,3%), a dijelom na 70.845 ha (40,7%). *Hidromelioracijski sustavi kombinirane odnosno podzemne odvodnje su izgrađeni u potpunosti na 30.110 ha, a dijelom na 4709 ha.* Za odvodnju najnižih melioracijskih površina 4450 ha izgrađene su dvije crpne stanice ukupnog kapaciteta 4,9 m³/s. I pored duge tradicije izgradnje hidrotehničkih objekata za zaštitu od štetnog djelovanja voda rijeke Drave kao i glavnih vodotoka područja Karašice i Vučice te izgradnje novih i dogradnje postojećih hidromelioracijskih objekata i sustava za

odvodnju — postojeće stanje ne zadovoljava potrebe. Provedbom (re)komasacije zemljišta ostvarena su vrlo kvalitetna rješenja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje, ali od 1991. g. nedovoljnog stupnja njihovog održavanja. To je posljedica sve lošijeg položaja poljoprivrede i nedostatka sredstava slivne vodne naknade za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava. Zbog smanjenja proticajnog profila melioracijskih kanala u sve većoj mjeri je usporno djelovanje i smanjenje stupnja podzemne odvodnje putem cijevne drenaže.

Nedovoljan je i stupanj zaštite od poplavnih voda brdskih vodotoka — zbog sporosti programa izgradnje brana sa retencijama i akumulacijama. Također je potrebno dovođenje proticajnog profila glavnih vodotoka na projektno-izvedbeni stupanj i to prvenstveno na njihovim nizinskim dionicama. To je preduvjet za uspješnije funkcioniranje hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje. Iskristivost melioracijskih površina je 80% od prirodnih mogućnosti.

4. Slivno područje »Županijski kanal«, Virovitica

Od ukupnih 87.328 ha melioracijske površine su 64.870 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 49.635 ha (76,5%), dijelom na 9735 ha (15,0%), a nisu izgrađeni na 5500 ha (8,5%). Hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 6.700 ha, a dijelom na 3000 ha. Za zaštitu od poplavnih voda rijeke Drave izgrađeni su nasipi, a za zaštitu dijela nizinskih površina od brdskih poplavnih voda izgrađeno je 11 brana odnosno akumulacija i retencija. I pored visokog stupnja izgrađenosti objekata za zaštitu od štetnog djelovanja voda i hidromelioracijskih sustava površinske i kombinirane odvodnje, stupanj njihovog funkcioniranja ne zadovoljava. To je posljedica sve manje sredstava za poslove njihovog redovnog održavanja što je dovelo do smanjenja proticajnih profila i to kako većine melioracijskih kanala tako i glavnih vodotoka. Sadašnje korištenje nizinskih melioracijskih površina je 80% od prirodnih mogućnosti.

5. Slivno područje »Bistra«, Đurđevac

Od ukupnih 136.425 ha melioracijske površine su 68.640 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 4415 ha (6,4%), dijelom na 53.225 ha (77,6%), a nisu izgrađeni na 11.000 ha (16,0%). Hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje su izgrađeni na 1200 ha i to melioracijskim površinama koje koriste pravne osobe. Zaštita od poplavnih voda rijeke Drave je izvršena izgrađenim nasipom kao i nasipima na nizinskim dionicama glavnih vodotoka slivnog područja. Zaštita dijela melioracijskih površina od brdskih vodotoka je izvršena djelomično: obodnim kanalima i jednom akumulacijom. Zbog smanjenja sredstava slivne vodne naknade ne zadovoljava stupanj održavanja i funkcioniranja odvodnje putem melioracijskih kanala. Također su potrebna dodatna sredstva za dogradnju postojećih, ali i izgradnju novih objekata za zaštitu od štetnog djelovanja poplavnih voda i to kako nizinskih tako i brdskih vodotoka. Sadašnje korištenje nizinskih melioracijskih površina je 75% u odnosu na prirodne mogućnosti.

6. Slivno područje »Plitvica—Bednja«, Varaždin

Od ukupnih 103.733 ha melioracijske površine su 34.850 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 5732 ha (16,4%), dijelom na 25.071 ha (72,0%), a nisu izgrađeni na 4047 ha (11,6%). Hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje izgrađeni su na 205 ha. Zaštita od poplavnih voda rijeke Drave izvršena je ugrađenim nasipom (dužine 18,65 km) te posebno nasipima akumulacija Dubrava, Varaždin i Čakovec (dužine 39,66 km). Glavni vodotoci

nisu regulirani za potreban stupanj odvodnje – tako da njihove velike vode djeluju usporo na melioracijske kanale. Propusna moć glavnih vodotoka zadovoljava samo 50% računске vrijednosti 100 godišnjih velikih voda. Zbog nedostatka sredstava sve je manje izvršavanja poslova redovnog održavanja i to kako hidromelioracijskih objekata i sustava tako i glavnih vodotoka i ostalih zaštitnih hidrotehničkih objekata na slivu Bednje i Plitvice. Glavni preduvjet za izgradnju hidromelioracijskih objekata i sustava je provedba komasacija na melioracijskim površinama koje se sada koriste 65% od prirodnih mogućnosti.

7. Slivno područje »Međimurje«, Čakovec

Od ukupnih 73.500 ha, melioracijske površine su 53.118 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 3.042 ha (5,7%), dijelom na 11.120 ha (21,0%), a nisu izgrađeni na 38.956 ha (73,3%). Hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 1982 ha, a dijelom na 10.180 ha. Zaštita od poplavnih voda rijeke Mure i Drave je izvršena izgrađenim nasipima kao i nasipima akumulacije VES Čakovec i Dubrava. Regulacijski radovi na glavnim vodotocima su izvedeni na zadovoljavajućem stupnju, ali je potrebno više sredstava za poslove njihovog održavanja u cilju zadržavanja reguliranog proticajnog profila za potrebe efikasne odvodnje. Također su potrebna veća sredstva za dogradnju i održavanje hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje. Iskoristivost melioracijskih površina je 90% u odnosu na prirodne mogućnosti, ali je potrebna dogradnja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju suvišnih voda kao i zaštitu od brdskih poplavnih voda.

3.2.3. Vodno područje primorsko-istarskih slivova, Rijeka

Ukupne nizinske melioracijske površine su 43.020 ha. *Hidromelioracijski objekti i sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 1760 ha (4,1%), dijelom na 3035 ha (7,1%), a nisu izgrađeni na 38.225 ha (88,8%). Od ukupnih potreba na 11.850 ha, hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje izgrađeni su na 1760 ha (14,9%).* Za zaštitu od poplavnih voda rijeka izgrađeno je 111,3 ha nasipa, ali je potrebna njihova dogradnja i redovno održavanje. Sastavni dio toga je održavanje potrebnog proticajnog profila rijeka i glavnih odvodnih kanala I. i II. reda. Dio melioracijskih površina je zaštićen od brdskih poplavnih voda sa 74 km izgrađenih obodnih kanala i izgrađenim branama sa akumulacijom Botonega i Letaj. *Za odvodnju dijela nizinskih melioracijskih površina izgrađene su četiri crpne stanice ukunog kapaciteta 9,4 m³/s.* Za odvodnju Čepić polja u Istri i Vrbičkog polja na otoku Krku izgrađeni su odvodni tuneli. I pored duge tradicije izgradnje zaštitnih i odvodnih hidrotehničkih objekata u Istri – sadašnji stupanj izgradnje i održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju ne zadovoljava potrebe suvremenog uzgoja biljnih kultura – posebno proizvodnje hrane za potrebe turizma. A nedovoljan je i stupanj izgrađenosti hidrotehničkih objekata za zaštitu od brdskih poplavnih voda. Male površine poljoprivrednih parcela i dio neriješenih vlasničkih odnosa su također prepreka dogradnji postojećih i izgradnje novih hidromelioracijskih objekata i sustava. A sastavni dio toga je i potreba provedbe rekomasacije zemljišta. Sadašnje korištenje nizinskih melioracijskih površina je 65% od prirodnih mogućnosti.

1. Slivno područje »Mirna—Dragonja«, Buzet

Nizinske melioracijske površine su 12.770 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 1020 ha (8,0%), dijelom na 1180 ha (9,2%), a nisu izgrađeni na 10.570 ha (82,8%). Hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 1020 ha. Za odvodnju najnižih melioracijskih površina izgrađena je jedna crpna stanica kapaciteta 5,0 m³/s. Od poplavnih voda rijeke Mire i Dragonje melioracijske površine su zaštićene nasipima, ali je dio melioracijskih kanala pod uspornim djelovanjem njihovih visokih vodostaja. Potrebna je izgradnja i poluautomatskih čepova na ušću dijela melioracijskih kanala u Mirni i Dragonji. Niži stupanj zaštite melioracijskih površina je od poplavnih voda brdskih vodotoka. Pored nedovoljnog stupnja izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju (samo 17,2%), nedovoljan je i stupanj korištenja melioracijskih površina samo 70% od prirodnih mogućnosti.

2. Slivno područje »Raša—Boljunčica«, Labin

Nizinske melioracijske površine su 7850 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 740 ha (9,4%), dijelom na 1790 ha (22,8%), a nisu izgrađeni na 5320 ha (67,8%). Hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 740 ha. Za odvodnju najnižih melioracijskih površina izgrađene su tri crpne stanice ukupnog kapaciteta 4,4 m³/s. Dio melioracijskih površina u području ušća rijeke Raše je pod utjecajem morske vode, što je dovelo do problema zaslanjivanja. Na slivnom području Boljunčice izgrađen je sustav odvodnje koji nije u potpunoj funkciji. To je posljedica promjene vlasnika i korisnika hidromelioracijskih površina kao i nedostatka sredstava slivne vodne naknade za poslove njihovog redovnog održavanja. Za odvodnju nizinskih površina Čepić-polja izgrađen je odvodni tunel dužine 4,5 km, kojeg također treba redovno održavati, a posebno ulaznu i izlaznu građevinu. Također je prisutan problem nedovoljne zaštite od poplavnih voda brdskih vodotoka. Zbog nedovoljnog održavanja nasipa došlo je do pojave slijeganja i vodopropuštanja. Za poljoprivrednu proizvodnju koristi se samo 45% melioracijskih površina sliva Raše i Boljunčice.

3. Slivno područje »Kvarnersko primorje i otoci«, Rijeka

Nizinske melioracijske površine su samo 530 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su dijelom na 65 ha (12,2%), a nisu izgrađeni na 465 ha (87,8%). Za odvodnju dijela melioracijskih površina Vrbničkog polja izgrađen je odvodni tunel dužine 1,7 km. Međutim kota dna i proticajni kapacitet tunela ne zadovoljava potrebe odvodnje nižih melioracijskih površina Vrbničkog polja pa kod pojave oborina većeg intenziteta dolazi do plavljenja tih površina koje su pod nasadom vinove loze ili se obrađuju za potrebe ostalih biljnih kultura. I pored izgradnje melioracijskih kanala na području Novljanskog polja, stupanj odvodnje nije na potrebnom stupnju s obzirom na vrlo povoljna prirodna obilježja melioracijskih površina Novljanskog polja. Također ne zadovoljava stupanj zaštite melioracijskih površina od štetnog djelovanja brdskih vodotoka – i to kako na području Primorja tako i otoka.

4. Slivno područje »Gorski kotar«, Delnice

Ukupne melioracijske površine su 1200 ha, ali bez izgrađenosti hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje. Postoje pojedinačni kanali koji ne omogućavaju potreban stupanj odvodnje kod pojave iznadprosječnih oborina. A nedovoljan je i stupanj izgrađenosti hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplavnih voda brdskih vodotoka i zaštitu od erozije i to kako vodotoka tako i dijela njihovih slivnih površina.

5. i 6. Slivno područje »Podvelebitsko primorje i otoci«, Senj

Ne postoje sistematizirani podaci za 600 ha melioracijskih površina, a nisu niti građeni hidromelioracijski sustavi za odvodnju – osim pojedinačnih zaštitnih objekata.

7. Slivno područje »Lika«, Gospić

I pored 20.670 ha melioracijskih površina i potreba nema izgrađenih hidromelioracijskih sustava površinske i podzemne odvodnje. Dio hidrotehničkih radova i objekata izveden je na regulaciji pojedinih dionica glavnih vodotoka i za odvodnju manjih površina u području naselja kao i najkritičnijih dionica pojedinih bujičnih vodotoka.

3.2.4. Vodno područje dalmatinskih slivova, Split

Ukupne nizinske melioracijske površine su 48.999 ha. *Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 12.386 ha (25,3%), dijelom na 9767 ha (19,9%), a nisu izgrađeni na 26.846 ha (54,8%). Od ukupnih potreba na 9500 ha, hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje su izgrađeni na 314 ha (3,3%)? Dio nizinskih melioracijskih površina je zaštićen od poplavnih voda nasipima dužine 176,9 km, ali je potrebna njihova dogradnja i viši stupanj održavanja (posebno zbog pojave slijeganja i propuštanja vode). Zaštita od brdskih poplavnih voda je dijelom riješena izgradnjom 80,3 km obodnih kanala. Za odvodnju najnižih melioracijskih površina na slivnom području Neretve, Cetine i Zrmanje izgrađeno je deset crpnih stanica ukupnog kapaciteta 58,7 m³/s. Za odvodnju melioracijskih površina kraških polja izgrađeno je sedam odvodnih tunela ukupne dužine 11,1 km. Međutim potrebna je dijelom njihova dogradnja povećanjem proticajnog profila te izvedba s nižom niveletom (novih odvodnih tunela). I pored povoljnih prirodnih uvjeta ne zadovoljava kako stupanj izgrađenosti tako i stupanj održavanja hidromelioracijskih objekata na melioracijskim površinama slivnih područja Dalmacije. Sastavni dio toga su i ratne posljedice na dijelu slivnih područja: Zrmanje, Krke, Cetine i Dubrovačkog primorja. Nedovoljan je i stupanj izgrađenosti zaštitnih hidrotehničkih objekata i to kako za zaštitu od poplavnih voda rijeka tako u još većoj mjeri za zaštitu od brdskih poplavnih voda i erozijskih procesa (u koritu vodotoka, ali na njihovim slivnim površinama). Poseban problem je u 'usitnjenosti' privatnog posjeda malih površina nepravilnih parcela. Provedba (re)komasacija zemljišta je preduvjet za dogradnju postojećih i izgradnju novih hidromelioracijskih objekata i to kako površinske i podzemne odvodnje tako i navodnjavanja melioracijskih površina na slivnim područjima Dalmacije.*

1. Slivno područje »Zrmanja—Zadarsko primorje«, Zadar

Ukupne melioracijske površine su 15.630 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 2451 ha (15,7%), dijelom na 3080 ha (19,7%), a nisu izgrađeni na 10.099 ha (64,6%). Hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje izgrađeni su na 314 ha. Za odvodnju dijela nizinskih površina izgrađena je jedna crpna stanica kapaciteta 2,9 m³/s te posebno dva odvodna tunela dužine 3,1 km. Pored problema nedovoljnog stupnja izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava, dio njih je ratnim djelovanjem oštećen i još uvijek nije obnovljen. Zbog promjene vlasničkih i korisničkih odnosa kao i nedostatnih sredstava slivne naknade nedovoljan je stupanj održavanja hidromelioracijskih kao i zaštitnih hidrotehničkih objekata. Dio melioracijskih površina još uvijek nije deminiran što onemogućava dovođenje

hidromelioracijskih objekata i sustava na njihov projektno-izvedbeni stupanj. Nedovoljan je i stupanj zaštite od poplavnih voda brdskih vodotoka.

2. Slivno područje »Krka—Šibensko područje«, Šibenik

Ukupne melioracijske površine su 5380 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na samo 200 ha (3,7%), dijelom na 1290 ha (24,0%), a nisu izgrađeni na 3890 ha (72,3%). Melioracijske površine su pod utjecajem poplavnih voda bujičnih vodotoka. I pored povoljnih prirodnih svojstava tala na većem dijelu melioracijskih površina nije moguća značajnija proizvodnja biljnih kultura – zbog neizgrađenih kako hidromelioracijskih tako i zaštitnih hidrotehničkih objekata na slivnom području Krke ostalih vodotoka Šibenskog primorja.

3. Slivno područje »Cetina«, Sinj

Ukupne melioracijske površine su 7456 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su na 4046 ha (54,3%), a nisu izgrađeni na 3410 ha (45,7%). Za odvodnju nizinskih melioracijskih površina izgrađene su dvije crpne stanice ukupnog kapaciteta 20,3 m³. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u sklopu (re)komasacije Sinjskog polja (4046 ha melioracijskih plodnih površina). Istovremeno su izgrađeni i hidrotehnički objekti za zaštitu od poplavnih voda Cetine kao i dijela brdskih vodotoka.

Nažalost zbog ratnog djelovanja na dijelu slivnog područja i nedostatnih sredstava slivne vodne naknade, nedovoljan je stupanj održavanja hidromelioracijskih kao i ostalih hidrotehničkih objekata za zaštitu od štetnog djelovanja poplavnih voda – i to kako rijeka tako i dijela brdskih vodotoka. Također je potrebna dogradnja i redovno održavanje nasipa kao i obodnih kanala. Posebno je potrebna izgradnja hidromelioracijskih ostalih hidrotehničkih objekata na ostalim melioracijskim poljima (Paško, Vrličko, Hrvatačko). Dio melioracijskih površina nije deminiran.

4. Slivno područje »Srednjodalmatinsko primorje i otoci«, Split

Melioracijske površine su 530 ha, ali bez izgrađenih hidromelioracijskih sustava odvodnje. Izgrađeni su samo pojedinačni hidromelioracijski objekti za odvodnju manjih dijelova poljoprivrednih površina. Također je nedovoljan stupanj izgrađenosti i održavanja hidrotehničkih objekata za zaštitu od štetnog djelovanja voda i prvenstveno brdskih vodotoka. Izgradnja hidromelioracijskih objekata za odvodnju (ali i navodnjavanje) i hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplavnih voda i erozije brdskih vodotoka – su preduvjet uređenju melioracijskih površina za uzgoj prvenstveno povrća, vinove loze i voća.

5. Slivno područje »Vrlička«, Imotski

Ukupne melioracijske površine su 4520 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su dijelom na 1100 ha (24,3%), a nisu izgrađeni na 3420 ha (75,7%). Za zaštitu melioracijskih površina od poplavnih voda veliko značenje ima brana i akumulacija »Ričica«. Međutim nedovoljan je stupanj izgrađenosti ostalih hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplavnih voda (nedovoljna propusna moć glavnih vodotoka i odvodnog tunela, regulacijske građevine, manje brane i retencije, obodni kanali). Provedba (re)komasacije zemljišta je preduvjet za izgradnju novih i dogradnju postojećih hidromelioracijskih objekata i sustava i tako za odvodnju tako i navodnjavanje. Nedostatnost sredstava slivne vodne naknade ne omogućava niti minimalni stupanj održavanja dijelom izgrađenih hidromelioracijskih objekata i sustava.

6. Slivno područje »Matica«, Vrgorac

Melioracijske površine su 3330 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su dijelom na 1320 ha (39,6%), a nisu izgrađeni na 2010 ha (60,4%). Za odvodnju nizinskih melioracijskih površina kraških polja izgrađena su 3 odvodna tunela ukupne dužine 3,9 km. Proticajni profili i kote dna ne omogućavaju potreban stupanj zaštite prirodno vrlo plodnih kraških polja od poplavnih voda. Potrebna je također izgradnja obodnih i spojnih kanala za zaštitu od poplavnih voda. Provedba (re)komasacije zemljišta je preduvjet za dogradnju postojećih i izgradnju novih hidromelioracijskih objekata i sustava i to kako za odvodnju tako i navodnjavanje. Neophodna je izgradnja hidrotehničkih objekata za smanjenje trajanja poplavnih voda odnosno smanjenje visokih vodostaja u kraškim poljima i to prvenstveno u vegetacijskom periodu razvoja biljnih kultura (povrće, voće).

7. Slivno područje »Neretva—Korčula«, Opuzen

Ukupne melioracijske površine su 10.459 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 5605 ha (53,6%), dijelom na 1867 ha (17,9%), a nisu izgrađeni na 2987 ha (28,5%). Zbog nepovoljnog odnosa unutarnjih voda melioracijskih površina i voda rijeke Neretve, za odvodnju nizinskih zemljišta izgrađeno je 7 crpnih stanica ukupnog kapaciteta 35,5 m³/s. Posebno je izgrađen jedan odvodni tunel dužine 2,1 km. I pored duge tradicije izgradnje hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplava (nasipi, regulacije vodotoka, obodni i spojni kanali, regulacijske građevine) kao i hidromelioracijskih sustava površinske, a dijelom i podzemne odvodnje – stupanj uređenja i održavanja vodnog režima ne zadovoljava zahtjeve optimalnog razvoja i ostvarenja visokih priroda biljnih kultura. Zbog geomehničkih i pedoloških obilježja glavnog područja Donje Neretve dolazi do slijeganja i deformacija nasipa, a i dijela ostalih hidrotehničkih objekata. promjena i neriješeni vlasnički i korisnički odnosi također su doveli do pogoršanja stanja zemljišta kao i stupnja održavanja i funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava, a i ostalih hidrotehničkih objekata. Istovremeno je stalni problem najniže naplate sredstava slivne naknade za površine s izgrađenim zaštitnim i odvodnim hidrotehničkim objektima.

Za dogradnju postojećih kao i izgradnju novih hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju, ali i navodnjavanje neophodna je provedba (re)komasacije zemljišta. Sastavni dio toga je osiguranje potrebnih sredstava slivne vodne naknade za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava. Posebno je na dijelu nizinskih melioracijskih površina sliva Donje Neretve prisutan problem zaslanjivanja tla u zoni korijena biljaka (rizosfere). Također je potrebna izgradnja hidromelioracijskih i ostalih hidrotehničkih objekata na otocima (Korčula, Lastovo).

8. Slivno područje »Dubrovačko primorje«, Dubrovnik

Ukupne melioracijske površine su 1694 ha. Hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje izgrađeni su u potpunosti na 84 ha (5,0%), dijelom na 1110 ha (65,5%), a nisu izgrađeni na 500 ha (29,5%). Za odvodnju dijela nizinskih površina dijela Koavoskog polja izgrađen je odvodni tunel dužine 2,0 km. Nažalost ratnim djelovanjem i posljedicama oštećen je dio hidromelioracijskih objekata na melioracijskim površinama Konavoskog polja. Zbog toga je došlo do pogoršanja stanja vodnog režima i obradivih površina. Potrebna je dogradnja postojećih i izgradnja novih hidrotehničkih objekata za zaštitu od poplavnih voda (i erozije) brdskih vodotoka. Posebno je potrebna obnova ratnim djelovanjem oštećenih, a dijelom i razorenih hidromelioracijskih objekata. Za hidromelioracijsko uređenje melioracijskih površina neophodna je provedba (re)komasacije zemljišta Konavoskog polja. Posebno je potrebna izgradnja zaštitnih i odvodnih hidrotehničkih objekata, ali i za navodnjavanje na manjim melioracijskim površinama otoka Dubrovačkog primorja.

4. Troškovi redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava gravitacijske površinske odvodnje

Osim potrebe da se izgrade novi, posebno je važno dograditi i redovito održavati postojeće hidromelioracijske objekte i sustave za odvodnju. Nažalost, zbog ratnog djelovanja agresora (1991.—1992.) i zbog nedostatka novaca (1991.—2001.) sve se slabije tehnički i redovito održavaju, pa se smanjio protjecajni profil melioracijskih kanala. To je izravno prouzročilo i pogoršanje vodnog režima poljoprivrednog zemljišta, a i niži stupanj odvodnje suvišnih voda s područja naselja, prometnica, gospodarskih objekata, šumskih površina. Posljedica toga jest povećanje troškova u procesu uzgoja biljnih kultura kao i smanjenje njihovih uroda u odnosu na prethodni stupanj proizvodnje. Na slici 5 i 6 prikazani su grafički i numerički pokazatelji posljedica neredovitog održavanja melioracijskih kanala IV. reda. To se odnosi i na stanje melioracijskih kanala III. i II reda, odnosno glavnih vodotoka pojedinih melioracijskih područja. Također se smanjuje djelovanje hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje zbog neredovitog održavanja melioracijskih kanala kao i ostalih hidromelioracijskih objekata površinske odvodnje (slika 1).

Po Zakonu o vodama i Zakonu o financiranju vodnog gospodarstva za poslove redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje potrebna financijska sredstva se osiguravaju od slivne vodne naknade koju plaćaju vlasnici i korisnici zemljišta i drugih nekretnina na slivnom području. Slivna vodna naknada plaća se za površine na kojima se nalazi: poljoprivredno zemljište, šume i šumsko zemljište, građevno i drugo zemljište, poslovne prostorije i druge nekretnine, stambene zgrade i ustanove u naseljima, prometnice, nekretnine komunalnog značenja.

Iznos vodne naknade određuje se na temelju ukupne vrijednosti radova i zadataka utvrđenih planom upravljanja lokalnim vodama na slivnom području i u skladu s mjerilima i normama za obavljanje tih poslova. U svrhu ujednačivanja kriterija za određivanje stopa i visina odnosno iznosa od slivnih vodnih naknada, Vlada Republike Hrvatske propisuje:

- minimalne stope i visine slivne vodne naknade, s obzirom na stupanj izgrađenosti i opseg korištenja vodnog sustava na pojedinim slivnim područjima,
- koeficijente u odnosu na prosječnu slivnu vodnu naknadu na slivnom području prema kojima se, s obzirom na gospodarsko značenje djelatnosti i vrijednost nekretnina, određuje stopa odnosno visina vodne naknade za pojedine kategorije obveznika.

Stope slivne vodne naknade koja se plaća prema jedinici površine određuju županijske skupštine za pojedina slivna područja za razdoblje od dvije, a najviše pet godina. Za redovito održavanje hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje posebno je važna provedba »Pravilnika o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje sustava melioracijske odvodnje, te osnovama za tehničko i gospodarsko održavanje sustava« (NN broj 4/98). U sklopu toga pravilnika pobliže su opisani poslovi tehničkog i gospodarskog održavanja melioracijskih kanala i ostalih hidromelioracijskih objekata, a glavni poslovi su sljedeći:

- košnja i suzbijanje rasta trave i raslinja u profilu kanala i na bankinama kanala – jedan do dva puta godišnje (slika 7),
- sječa šiblja i raslinja debljine do 5 cm u profilu kanala i na bankinama kanala,
- tehničko čišćenje – izmuljenje nanosa iz profila kanala svakih 3 do 5 godina (slika 5, 6 i 7),

- tehničko čišćenje – izmuljenje nanosa iz profila tipskih i pločastih propusta na melioracijskim kanalima,
- skupljanje i uklanjanje trave i raslinja iz profila kanala,
- razastiranje ili odvoz izmuljenog materijala iz melioracijskih kanala,
- kontrola i održavanje stabilnosti dna i pokosa kanala na dionicama djelovanja erozijskih procesa.
- kontrola i održavanje projektno-izvedbenih elemenata ostalih hidromelioracijskih objekata: cijevni i pločasti propusti, čepovi, stepenice, sifoni, ustave, brzotoci,
- kontrola i održavanje izljeva drenažnih cijevi u melioracijske kanale,
- kontrola karakterističnih mjernih profila kanala s obzirom na djelovanje maksimalnih vodostaja i protjecaja,
- kontrola geodetskih oznaka na mreži melioracijskih kanala,
- vođenje katastra hidromelioracijskih objekata i sustava.

Posebno treba nadzirati rad i pravovremeno izvršavati poslove održavanja crpnih postrojenja i provjeravati potrošnju energije u procesu njihova rada te za te namjene osigurati potreban novac.

Na osnovi mjerodavnih projektno-izvedbenih elemenata melioracijskih kanala i cijena za poslove njihova redovitog održavanja prikazani su u tablici 2. i na slici 8. aktualni pokazatelji o potrebnim iznosima slivne vodne naknade za poslove održavanja hidromelioracijskih sustava gravitacijske površinske odvodnje (bez crpnih postrojenja).

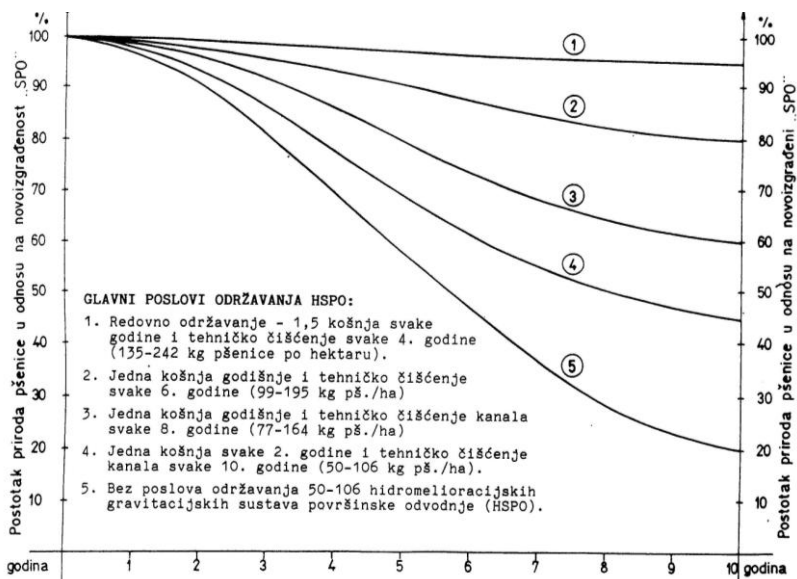
Prema pokazateljima u tablici 2. posebno treba utvrditi iznose slivne vodne naknade za najčešće dimenzije i razmake melioracijskih kanala III. i IV. reda, a to su:

MK-III. reda: dubina od 2,00 do 2,60 m, površina od 9,20 do 11,36 m²/m, razmak od 800 do 1200m i površina od 92,0 do 113,6 m²/ha

MK-IV. reda: dubina od 1,50 do 2,10 m, površina od 7,40 do 9,56 m²/m, razmak od 225 do 300 m i 246,4 do 424,5 m²/ha.

Prosječno potrebni iznos slivne naknade za poslove redovitog održavanja hidromelioracijskih gravitacijskih sustava površinske odvodnje jest od 156 kuna do 213 kuna, po hektaru odnosno od 25,64 do 35,00 €/ha – što odgovara ekvivalentnoj vrijednosti pšenice od 1,56 do 2,13 dt/ha. Imajući na umu prosječan urod pšenice na hidromelioriranim poljoprivrednim zemljištima od 54,6 dt/ha, vidljivo je da je potreban iznos slivne naknade od 2,85 do 3,90% ekvivalentne vrijednosti uroda pšenice (po cijeni pšenice od 115 kuna/dt odnosno 16,40 €/dt; € = 7,00 kuna).

Od 1995. do 2000. g. prosječan iznos zaduženja minimalne slivne naknade za poljoprivredno zemljište je od 75 do 100 kuna po hektaru, a ostvarenje je od 29,2 do 36,8%. Zbog toga je izostalo redovito održavanje melioracijskih kanala, čije je stanje prikazano na slici 8, a posljedica toga su sve učestalije poplave melioracijskih površina na kojima su ljudska i prirodna dobra. Viši stupanj prihoda ostvaren je od slivne vodne naknade koju plaćaju ostali obveznici po Zakonu o financiranju vodnog gospodarstva – za gospodarski i stambeni prostor (od 34 do 76% od zaduženja slivne vodne naknade).



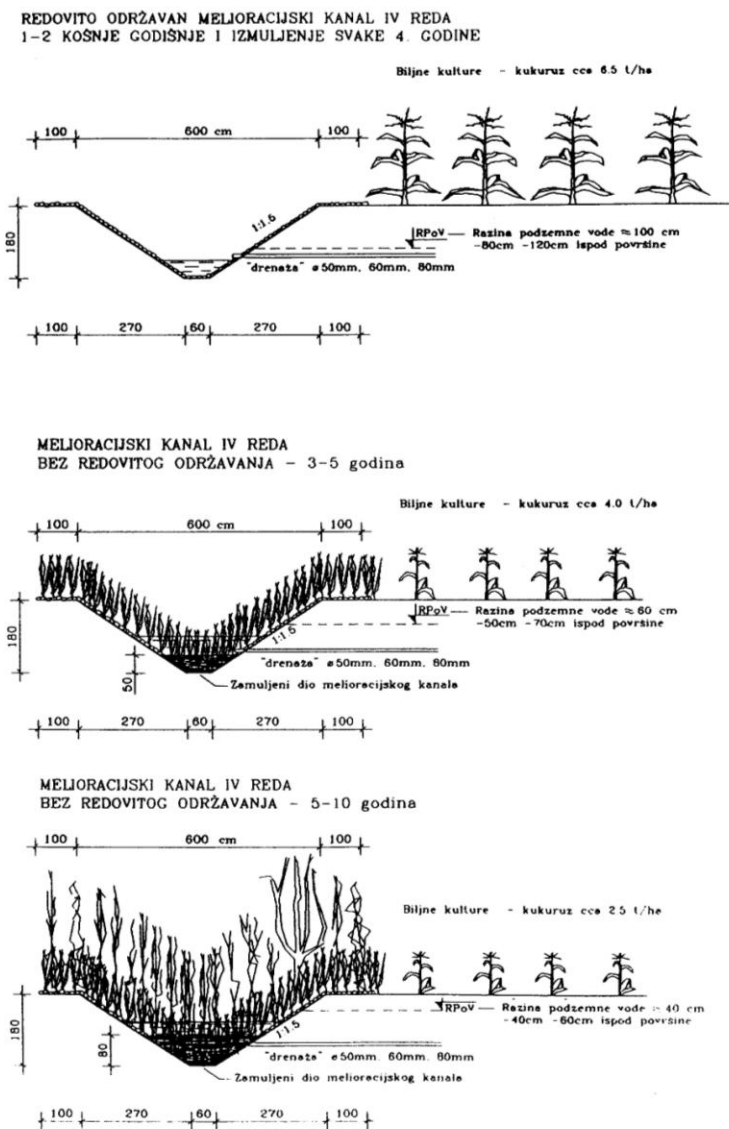
Slika 5: Utjecaj stupnja održavanja sustava površinskog odvodnjavanja (HSPO) na prirodnu pšenice

Iz provedenih analiza za poslove redovitog održavanja melioracijskih kanala III. i IV. reda potpuno (na 724.749 ha) i dijelom izgrađenih (na 324.662 ha) hidromelioracijskih sustava površinske gravitacijske odvodnje godišnje je potrebno osigurati novac od slivne vodne naknade u iznosu od 32.851.090 € odnosno 229.957.650 kuna (60,7% od ukupnih potreba za poslove održavanja svih objekata 378.793.200 kuna). U sklopu toga treba uzeti u obzir da su posebna sredstva u iznosu 64.394.850 kuna (17,0%) potrebna za poslove održavanja i rada (prvenstveno potrošnja energije) 75 crpnih stanica ukupnog kapaciteta 320,9 m³/s za odvodnju 276.000 ha nizinskih hidromelioriranih poljoprivrednih zemljišta, gdje zbog topografskih i hidroloških razloga nije moguća gravitacijska odvodnja suvišnih voda. Također je dio slivne vodne naknade u iznosu 84.440.700 kuna (22,3%) potreban za poslove tehničkog održavanja lokalnih vodotoka odnosno dijela glavnih recipijenata pojedinih melioracijskih područja. Za mjere i radove koji se provode radi smanjenja djelovanja erozijskih procesa na slivu i bujičnih vodotoka također treba osigurati odgovarajući dio iz povećane slivne vodne naknade – ovisno o stupnju erozijskih procesa i potrebi zaštite prirodnih i ljudskih dobara.

Za sve poslove redovitog održavanja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje (na 1.118.884 ha) potrebno je godišnje osigurati 378.793.200 kuna (100%). Od 1975. do 2000. g. ostvareno je od slivne naknade 156.752.000 do 238.400.000 kuna godišnje – što je od 41,4 do 58,9% ukupno potrebnih sredstava. Posljedice zbog neosiguranih sredstava, a onda i zbog neredovitog održavanja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje je pogoršanje vodnog režima u melioracijskim kanalima odnosno sve češće štete od poplava na prirodnim i ljudskim dobrima i to u najvećoj mjeri na nizinskim područjima pojedinih slivnih područja.

Poseban i sve veći problem je financiranje troškova održavanja i rada 75 crpnih stanica za umjetnu (mehaničku) odvodnju melioracijskih nizinskih površina – kada nema mogućnosti gravitacijske odvodnje. Stalni rast troškova energije (električne ili tekuće gorivo i mazivo) u procesu rada crpnih stanica u sve većoj mjeri utječu na

cjelokupne troškove održavanja i korištenja hidromelioracijskih sustava. A istovremeno je prisutan problem smanjenja realnog iznosa sredstava slivne naknade kao i sredstava iz državnog proračuna za poslove održavanja i funkcioniranja zaštitnih hidrotehničkih objekata.



Slika 6: Utjecaj stupnja održavanja melioracijskih kanala na vodni režim i prirodu kukuruza

Manji dio ostvarenih prihoda od slivne vodne naknade se koristi za izradu planova te studijskih i projektnih rješenja kao i za poslove nadzora u procesu obavljanja poslova redovnog održavanja (5—7%). A dio sredstava se koristi za interventne poslove uređenja bujičnih vodotoka (8—15% na pojedinim slivnim područjima). Posebna financijska sredstva treba osigurati za potrebe obnove ratnim djelovanjem oštećenih

hidromelioracijskih objekata površinske i podzemne odvodnje. A zbog nedostatnih sredstava slivne vodne naknade, od 1991. do 2000. g. nisu izvršavani potrebni poslovi redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava što je dovelo do njihovog sve nižeg stupnja funkcioniranja. Za njihovo dovođenje u projektno-izvedbenu funkciju potrebno je osigurati znatno veća sredstva od iznosa koji je ostvaren putem dijela uplaćene slivne vodne naknade. Za poslove redovitog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava potrebna je dosljedna provedba Zakona o financiranju vodnog gospodarstva i Zakona o vodama. Za poljoprivredne posjede manje od 3,0 ha površine Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva treba osigurati posebna financijska sredstva (približno 56,000.000 kn godišnje) za dio poslova redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje. To se odnosi i na poljoprivredna domaćinstva odnosno vlasnike zemljišta koji su stariji od 65 godina. **Sve učestalije štete od poplava zbog lošeg stanja hidromelioracijskih objekata i sustava potvrđuju potrebu ubrzanog rješavanja problema odnosno osiguranje neophodnih financijskih sredstava za poslove redovnog održavanja i potrebu efikasnog funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava.**

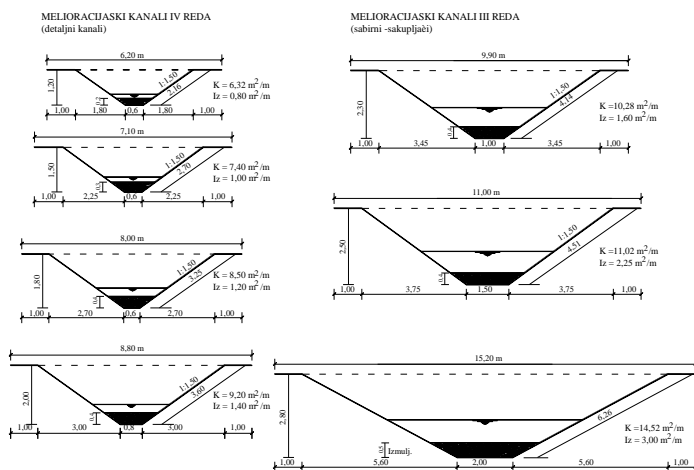
Tablica 2: Ukupna vrijednost radova [€/ha] i ekvivalentan iznos pšenice [dt/ha] za poslove redovitog održavanja hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje

MK-III. reda		MK-IV. reda		Ukupna vrijednost radova i ekvivalentan iznos pšenice za MK-III.r., razmaka 1000m, 10m/ha, b=1,00m; MK-IV.r., razmaka 350-200m, b=0,60m						
dubina [m]	površina [m ² /m]	dubina [m]	površina [m ² /m]	350m 28,6 m/ha	325m 30,8 m/ha	300m 33,3 m/ha	275m 36,4 m/ha	250m 40,0 m/ha	225m 44,4 m/ha	200m 50,0 m/ha
1,80	8,48	1,30	6,68	22,30 1,36	23,41 1,43	24,69 1,51	26,55 1,60	28,07 1,71	30,21 1,84	33,24 2,03
1,90	8,84	1,40	7,04	22,72 1,38	23,86 1,45	25,16 1,53	26,76 1,63	28,62 1,74	30,81 1,80	33,79 2,06
2,00	9,20	1,50	7,40	23,14 1,41	24,31 1,48	25,64 1,56	27,27 1,66	29,17 1,78	31,40 1,91	34,45 2,10
2,10	9,56	1,60	7,76	23,58 1,44	24,76 1,51	26,11 1,59	27,78 1,69	29,72 1,81	32,00 1,95	35,12 2,14
2,20	9,92	1,70	8,12	24,00 1,46	25,21 1,54	25,59 1,62	28,29 1,73	30,27 1,85	32,60 1,99	35,77 2,18
2,30	10,28	1,80	8,48	24,43 1,49	25,65 1,56	27,08 1,65	28,85 1,76	31,15 1,88	33,20 2,03	36,44 2,22
2,40	10,64	1,90	8,84	24,85 1,51	26,11 1,59	27,55 1,68	29,31 1,79	31,37 1,91	33,80 2,06	37,09 2,26
2,50	11,00	2,00	9,20	25,27 1,54	26,55 1,62	28,03 1,71	29,82 1,82	31,88 1,95	34,40 2,10	37,75 2,30
2,60	11,36	2,10	9,56	25,71 1,57	27,01 1,65	28,50 1,74	30,33 1,85	32,47 1,90	35,00 2,13	38,41 2,34
2,70	11,72	2,20	9,92	26,12 1,59	27,45 1,67	28,98 1,77	30,85 1,88	33,03 2,02	35,60 2,17	39,09 2,38
2,80	12,08	2,30	10,28	26,55 1,62	27,90 1,70	29,45 1,80	31,36 1,91	33,06 2,05	36,19 2,21	39,74 2,42

Mjerodavni podaci: MK-III.r.: l=1000m, K=10,0m/ha, b=1,00m, m=1,50, pokos 3,25–5,05m. MK-IV.r.: l=350–200m, K=28,6–50,0m/ha, b=0,60m, m=1,50, pokos 2,35–4,15m. Jednokratna košnja pokosa i bankina kanala: 0,018 €/m² (računato 1,5 × godišnje) – 36%. Jednokratna košnja dna kanala: 0,074 €/m² (računato 1,5 puta godišnje) 12%. Izmuljenje – čišćenje dna

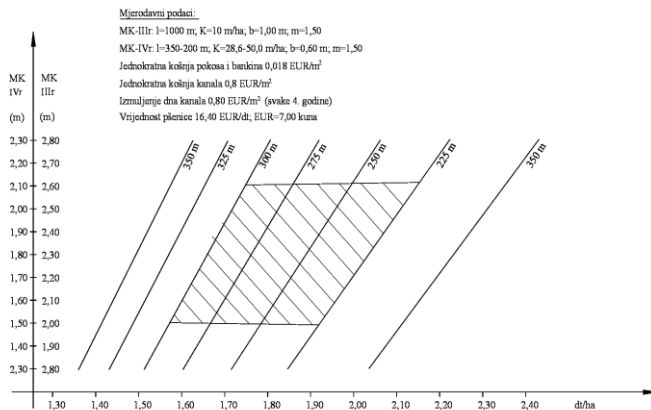
kanala $0,80 \text{ €/m}^2$ (računato svake 4 godine) 40%. Ostali radovi 12,0%. Vrijednost pšenice $16,40 \text{ €/dt}$, odnosno 115 kn/dt . $\text{€} = 7,00 \text{ kuna}$ (% učešća pojedinih poslova održavanja).

Pored problema nedostatnih sredstava minimalnog iznosa slivne vodne naknade, od 1. srpnja 1998. g. prisutan je i problem stalnog smanjenja realnog iznosa sredstava za poslove održavanja državnih voda kao i dogradnje te održavanje zaštitnih hidrotehničkih objekata na njima. To je posljedica odluke Zastupničkog doma Hrvatskog državnog sabora od 19. lipnja 1998. g. kojom je ukinut vodni doprinos. Po Zakonu o financiranju vodnog gospodarstva (NN br. 107/95 i 19/96) sredstva vodnog doprinosa su bila namijenjena za poslove dogradnje i održavanja hidrotehničkih objekata na državnim vodama (detaljnije definirano u čl. 3.—8. Zakona o financiranju vodnog gospodarstva). Nažalost »Odlukom Zastupničkog doma Hrvatskog državnog sabora« i izmjenom Zakona o financiranju vodnog gospodarstva, kojom se 'vodni doprinos' zamjenjuje 'državnim proračunom' doveo je do stalnog smanjenja sredstava (za 50% u 2001. g. u odnosu na 1996. g.) za potrebe dogradnje i održavanja zaštitnih i odvodnih hidrotehničkih objekata na državnim vodama, a to su i glavni vodotoci odnosno recipijenti slivnih područja u Hrvatskoj. **Posljedica toga je smanjenje stupnja zaštite od štetnog djelovanja voda kao posljedica neizvršavanja poslova redovnog održavanja zaštitnih hidrotehničkih objekata (nasipi, regulacijske građevine, obodni i odteretni kanali).** A dogradnja i redovito održavanje zaštitnih hidrotehničkih objekata je preduvjet za dogradnju i održavanje kao i efikasno funkcioniranje hidromelioracijskih objekata i sustava podzemne odvodnje.



Slika 7:
Karakteristični poprečni profili melioracijskih kanala IV i III reda s osnovnim podacima za košnju pokosa i bankina (K), izmuljenje dna (Iz) i dužinom pokosa stranica

Slika 8:
 Ekvivalentna
 vrijednost pšenice
 za poslove redovnog
 održavanja
 hidromelioracijskih
 sustava površinske
 gravitacijske odvodnje



5. Ratne štete na hidrotehničkim zaštitnim i hidromelioracijskim objektima i sustavima za odvodnju u Hrvatskoj 1991. i 1992. g.

Uz problem nedovoljnog stupnja izgrađenosti, ratnim djelovanjem tzv. JNA i raznih srbočetničkih vojnih formacija u 1991. i 1992. g. razoren je i oštećen veći broj hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odvodnje kao i natapanja. Od 1991. do 1995. odnosno 1997. godine bilo je privremeno okupirano 296.510 ha površina s potpuno i dijelom izgrađenim hidromelioracijskim objektima i sustavima površinske odvodnje (28,3% od ukupnih 1.049.411 ha). U sklopu tih površina bilo je i 52.380 ha dreniranih poljoprivrednih zemljišta (35,2% od ukupno 148.653 ha). Na dijelu navedenih kao i na dijelu ostalih poljoprivrednih površina učinjene su ratne štete sa sljedećim posljedicama:

- smanjen prirodni i regulirani protjecajni profil pojedinih glavnih vodotoka te izvedbeni profil većeg broja melioracijskih kanala III. i IV. reda,
- oštećeni dijelovi nasipa i smanjen stupanj njihova zaštitnog djelovanja,
- oštećene brane i ustave na glavnim vodotocima,
- razoren i oštećen veći broj tipskih cijevnih i pločastih propusta kao i ostalih hidromelioracijskih objekata na melioracijskim kanalima,
- razoreno i oštećeno 18 crpnih stanica ukupnoga kapaciteta 96,9 m³/s, što je 29,7% od ukupnoga kapaciteta svih 78 crpnih stanica (Q = 326,4 m³/s) za melioracijsku odvodnju 276.000 ha najvećim dijelom poljoprivrednih, ali i ostalih zemljišta u Hrvatskoj (pod naseljima, prometnicama).

Potpuno je uništena najveća crpna stanica »Dvor« (kapaciteta 20,0 m³/s) za umjetnu odvodnju 20.000 ha prirodno vrlo plodnih poljoprivrednih površina na dijelu slivnog područja rijeke Vuke. Ostale su crpne stanice u većoj i manjoj mjeri oštećene na slivnim područjima rijeke Save (županije: Sisačko-moslavačka, Brodsko-posavska) te Drave i Dunava (županije: Osječko-baranjska i Vukovarsko-srijemska) kao i na slivu rijeke Cetine i Zrmanje. Procjena izravnih ratnih šteta na zaštitnim hidrotehničkim i odvodnim hidromelioracijskim objektima izvršena je po važećoj standardnoj kalkulaciji za radove u vodnom gospodarstvu – odobrena od nadležne državne komisije (NN br. 54/93). Najveći iznosi ratnih šteta na zaštitnim i odvodnim hidrotehničkim objektima učinjeni su u sljedećim županijama: Brodsko-posavska, Sisačko-moslavačka, Vukovarsko-srijemska i Zadarsko-kninska – ukupno 70.689.230 € što je 79,1% od sveukupnog iznosa 89.366.670 € za cijelu Hrvatsku. Na hidromelioracijskim objektima za natapanje najveće su ratne štete učinjene na Zadarsko-kninskoj te Vukovarsko-srijemskoj i Osječko-baranjskoj županiji.

Međutim, osim problema izravnih ratnih šteta u 1991. i 1992. g. – od 1991. do 2000. su u sve manjoj mjeri izvršavani i poslovi redovita održavanja što je dovelo i do nižeg stupnja funkcioniranja kako zaštitnih hidrotehničkih objekata tako i hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju i natapanje. Posljedica je toga pogoršanje zračnog i vodnog režima poljoprivrednih zemljišta. Istodobno je došlo i do povećanja troškova u procesu pripreme zemljišta kao i samog uzgoja pojedinih biljnih kultura – uz smanjenje njihovih priroda s obzirom na prethodno stanje od 1975. do 1990. g. Također je važan i zabrinjavajući podatak da od 1991. do 2000. g. nije bilo aktivnosti odnosno izgradnje novih hidromelioracijskih sustava u Hrvatskoj, a bez toga nema povećanja i razvitka poljoprivredne proizvodnje.

6. Osnovni pokazatelji i značenje komasacija poljoprivrednog zemljišta za hidromelioracije u Hrvatskoj do 1990.=2000. g.

6.1. Komasaacija i hidromelioracija zemljišta od 1956. do 1990. g.

U Osijeku je u svibnju 1991. g. održano Prvo hrvatsko znanstveno-stručno savjetovanje »Opća uloga komasacije poljoprivrednog zemljišta i njezin utjecaj na povećanje poljoprivredne proizvodnje«. U velikom broju radova skupa dani su osnovni pokazatelji o izvršenju poslova na komasaciji zemljišta u Hrvatskoj od 1956. do 1990. godine kao preduvjeta za dogradnju postojećih i izgradnju novih hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju i natapanje. Provedba komasacija i hidromelioracija vrlo je važna za cjelovito uređenje poljoprivrednog zemljišta kao sastavnog dijela programa proizvodnje hrane. Stvaranjem većih poljoprivrednih parcela pravilnog oblika putem komasacije zemljišta ostvaruju se i kvalitetnija rješenja hidromelioracijskih sustava površinske i podzemne odvodnje te natapanja. Provedbom komasacija i hidromelioracija zemljišta stvaraju se uvjeti za racionalniju uporabu poljoprivrednih strojeva i vozila u procesu pripreme zemljišta kao i samog uzgoja biljnih kultura. Kako kod nas tako i u državama s razvijenom poljoprivredom potvrđeno je da se visoki i stabilni prirodni biljnih kultura s nižim troškovima proizvodnje ostvaruju u prvom redu na površinama s većim i pravilno oblikovanim poljoprivrednim parcelama koje se ostvaruju provedbom komasacija te kvalitetno izgrađenim i održanim hidromelioracijskim objektima i sustavima.

Na žalost, kako u sastavu bivše države Jugoslavije (do 1990.) tako i nakon stvaranja samostalne države Hrvatske radovi na komasaciji i hidromelioracijama zemljišta nisu izvršavani prema zahtjevima optimalnog razvoja poljoprivredne proizvodnje. Usprkos vrlo povoljnim prirodnim obilježjima i uvjetima, u Hrvatskoj ne zadovoljava stupanj provedbe komasacije zemljišta te izgradnje i održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju i natapanje. A to je osnovni preduvjet za primjenu i provedbu suvremenih agrotehničkih mjera i radova potrebnih za optimalni razvoj biljnih kultura radi ostvarenja njihovih visokih i stabilnih priroda – kao sastavnog dijela programa razvitka poljoprivrede u Hrvatskoj.

Tablica 3: *Osnovni pokazatelji o komasaciji i hidromelioraciji zemljišta u Hrvatskoj od 1956. do 1990. godine*

Godina	Hrvatska (ha)		Slavonija i Baranja (ha)	
	Komasacija	Hidromelioracije	Komasacija	Hidromelioracije
1956.—1975.	460.608	423.760 (92%)	350.000	350.000 (100%)
1976.—1990.	218.829	207.888 (95%)	140.484	140.484 (100%)
Ukupno 1956.—'90.	679.437	631.648 (93%)	490.484	490.484 (100%)

Ukupno je poljoprivrednih površina u Hrvatskoj 3.225.176 ha, od toga su melioracijske na 1.673.792 ha – na kojima je potrebna izgradnja hidromelioracijskih objekata i sustava za površinsku odvodnju. Iz podataka u tablici 3. vidljivo je da su komasacije zemljišta provedene na 21,1% poljoprivrednih odnosno 40,6% melioracijskih površina – najvećim dijelom na nizinskim odnosno melioracijskim površinama slivnih područja Drave, Dunava i Save. Provedbom komasacija zemljišta na 679.437 ha smanjen je broj katastarskih čestica sa 1.803.548 na 674.960 odnosno za 167,2% – ili na 37,4% od prethodnog broja. To je bitno kako za oblikovanje parcela tako i za racionalniju uporabu poljoprivrednih strojeva i vozila kao i za kvalitetnije rješenje hidromelioracijskih sustava. Od 1956. do 1990. g. komasacije zemljišta su provedene u 362 komasacijskih gromada odnosno 399 katastarskih općina. Prije komasacije zemljišta prosječna površina čestice (parcele) je bila 0,39 ha, a prosječni broj čestica po domaćinstvu 8,7. Poslije komasacija zemljišta prosječna površina čestice (parcele) je 1,04 ha, a broj katastarskih čestica po domaćinstvu 3,3.

Provedbom komasacije zemljišta povećane su površine u društvenom posjedu za 94.053 ha sa pravilno oblikovanim parcelama prosječne površine od 15 do 36 ha. Istodobno su na tim površinama dograđeni postojeći i izgrađeni novi hidromelioracijski objekti i sustavi površinske odvodnje te novi hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje. U Slavoniji i Baranji komasacije zemljišta provedene su na 490.484 ha, što je 72,5% od ukupnih poljoprivrednih zemljišta 676.353 ha odnosno 72,2% od ukupno provedenih komasacija u Hrvatskoj.

U sklopu provedbe komasacije zemljišta važan je podatak da su od 1976. do 1990. g. hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje dograđeni na 144.914 ha (što je 27,9% od ukupno 518.830 ha), a izgrađeni novi na 265.497 ha (što je 36,6% od ukupno 724.749 ha). Od ukupno dograđenih i izgrađenih hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje na 410.411 ha od 1976. do 1990. g. u Slavoniji i Baranji je 320.120 ha (78%). U istom razdoblju hidromelioracijski sustavi podzemne odvodnje u Hrvatskoj su izgrađeni na 160.465 ha, od toga u Slavoniji i Baranji na 121.953 ha (76%). Za potrebe funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava izvođeni su i radovi na dogradnji postojećih i izgradnji novih hidrotehničkih objekata za zaštitu od štetnog djelovanja poplavnih voda rijeka i dijela brdskih vodotoka. To je važno kako za zaštitu poljoprivrednih tako i za zaštitu ostalih površina – pod naseljima, prometnicama, gospodarskim i ostalim objektima. Na žalost od 1991. do 2000. g. nije bilo provedbe komasacije zemljišta u Hrvatskoj.

6.2. Značenje komasacija za hidromelioracije i uređenje poljoprivrednih zemljišta

Pod komasacijom zemljišta podrazumijeva se provedba agrarno-tehničkih mjera u svrhu stvaranja pravilno oblikovanih parcela većih površina u odnosu na prethodno stanje ('male parcele, nepravilni oblik'). Glavna je svrha komasacije zemljišta smanjenje broja parcela iste ukupne površine koje su u vlasništvu kako pojedinih privatnih tako i društvenih posjednika odnosno vlasnika i korisnika zemljišta. Provedbom komasacija rješava se i problem imovinskih odnosa, odnosno vlasništva zemljišta s većeg na manji broj (ili jednoj) lokaciji. Iako su se u Hrvatskoj komasacije zemljišta provodile ponajprije zbog spajanja poljoprivrednih površina u društvenom posjedu, istodobno su se rješavali i problemi vlasništva te oblikovanja parcela većih površina, odnosno smanjenja broja parcela iste ukupne površine u privatnom posjedu. To obuhvaća i rješavanje namjene korištenja površina za: poljoprivredu, naselja, prometnice, gospodarske objekte kao i

površine pod šumskom vegetacijom ili za to namijenjene. Oblikovanjem poljoprivrednih parcela većih površina stvaraju se uvjeti za racionalnu primjenu i provedbu suvremenih agrotehničkih mjera i radova u procesu uzgoja biljnih kultura. Na površinama s provedenom komasacijom i hidromelioracijama zemljišta stvaraju se uvjeti za racionalniju uporabu poljoprivrednih strojeva i vozila te za smanjenje njihovih troškova od pripreme zemljišta i sjetve do žetve i berbe biljnih kultura. Posebno je značenje u potrošnji manje energije strojeva i vozila što se koriste u procesu pripreme zemljišta te odgovarajućih aktivnosti i radova od sjetve i sadnje do žetve i berbe uroda odgovarajućih biljnih kultura.

Značenje komasacije zemljišta za projektiranje te izgradnju i održavanje hidromelioracijskih objekata i sustava potvrđuje se ponajprije u sljedećim pokazateljima:

- 1) Optimalno usklađivanje topografskih, hidroloških, klimatskih i pedoloških obilježja melioracijskih područja s izborom najboljih projektnih i izvedbenih elemenata melioracijskih kanala i odgovarajućih hidrotehničkih objekata – slika 1.
- 2) Stvaranje poljoprivrednih parcela većih površina i pravilnijeg oblikovanja s obzirom na zahtjeve efikasnije odvodnje i racionalnijega korištenja poljoprivrednih strojeva – slika 1.
- 3) Oblikovanje pravilnije putne mreže u skladu sa zahtjevima racionalnijega korištenja vozila i strojeva u procesu proizvodnje poljoprivrednih kultura – slika 1.
- 4) Smanjivanje vrsta i broja hidrotehničkih i ostalih objekata na kanalskoj i putnoj mreži melioriranih zemljišnih površina – slika 1.
- 5) Smanjivanje troškova građenja i održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava s obzirom na izbor njihovih kvalitetnijih projektnih rješenja poljoprivrednih i ostalih zemljišta – pod naseljima i prometnicama.
- 6) Smanjivanje troškova u procesu rješavanja imovinsko-pravnih odnosa na lokaciji izgradnje melioracijskih kanala i ostalih hidromelioracijskih objekata (s obzirom na broj, oblik i veličinu poljoprivrednih parcela) kao i za potrebe naselja, prometnica te gospodarskih i ostalih objekata.

Nažalost u samostalnoj Hrvatskoj nadležne državne institucije u manjoj mjeri, nego u bivšoj državi, shvaćaju značenje i potrebu komasacija i hidromelioracija zemljišta za razvoj poljoprivrede kao strateške grane odnosno djelatnosti u sastavu cjelokupnog i dugoročnog razvoja gospodarstva. To potvrđuje i podatak da je u 2001. g. u Hrvatsku uvezeno hrane u vrijednosti od jedne milijarde USD. Istovremeno Ministarstvo poljoprivrede i šumarstva zajedno s Ministarstvom financija ne prihvaća prijedlog da iz sredstava proračuna godišnje izdvoji i osigura 378.793.000 kuna (46.764.570 USD) za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje. A to je samo 4,7% od iznosa koji je u 2001. g. dat za uvoz hrane iz drugih država u Hrvatsku. Posebno treba iz državnog proračuna osigurati financijska sredstva za izvršenje poslova koji su neophodni za njihovo dovođenje u projektno-izvedbeno stanje. A sadašnje stanje i stupanj (ne)funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava je posljedica kako ratnih djelovanja tako i nedostatka poslovne politike za poljoprivredne i vodnogospodrske djelatnosti. Sastavni dio toga je i potreba dosljedne provedbe Zakona o vodama, Zakona o financiranju vodnog gospodarstva, Zakona o poljoprivrednim zemljištima. Ali za sadašnje stanje odgovorne su i nadležne državne institucije, a u prvom redu Vlada RH s nadležnim ministarstvima kao i Županijske skupštine, ali i Sabor Republike Hrvatske.

7. Osnovni pokazatelji o sjetvenim površinama te prirodnima pšenice i kukuruza u Hrvatskoj od 1976. do 2000. g.

7.1. Osnovni pokazatelji na slikama od r.b. 9. do r.b. 17.

U uvodu je navedeno da je osnovna zadaća hidromelioracijskih objekata i sustava u stvaranju i održavanju vodnog i zračnog režima zemljišta prema zahtjevima najpovoljnijeg razvoja biljnih kultura. U skladu s tim izvršena je sistematizacija podataka o zasijanim i žetvenim površinama te ostvarenim prirodnima pšenice i kukuruza kao glavnih žitarica od 1976. do 2000. godine. *S obzirom da su najveće površine sa izvršenim (re)komasacijama i hidromelioracijama zemljišta u Slavoniji i Baranji, osnovni numerički podaci i grafički pokazatelji su posebno dati za to područje u cilju usporedbe s pokazateljima za cijelu Hrvatsku.* U sklopu toga treba imati na umu da su na površinama u posjedu (ili korištenju) pravnih osoba (društveni posjed) potpuno izgrađeni hidromelioracijski sustavi površinske i (ili) kombinirane odvodnje. Na površinama obiteljskog gospodarstva (privatni posjed) izgrađeni su u potpunosti hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje na površinama gdje je provedena (re)komasacija zemljišta, a na ostalim područjima izgrađeni su dijelom hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje. Na privatnom posjedu su izgrađeni hidromelioracijski sustavi kombinirane odvodnje na 1.360 ha (samo 0,9% od ukupnih 148.653 ha).

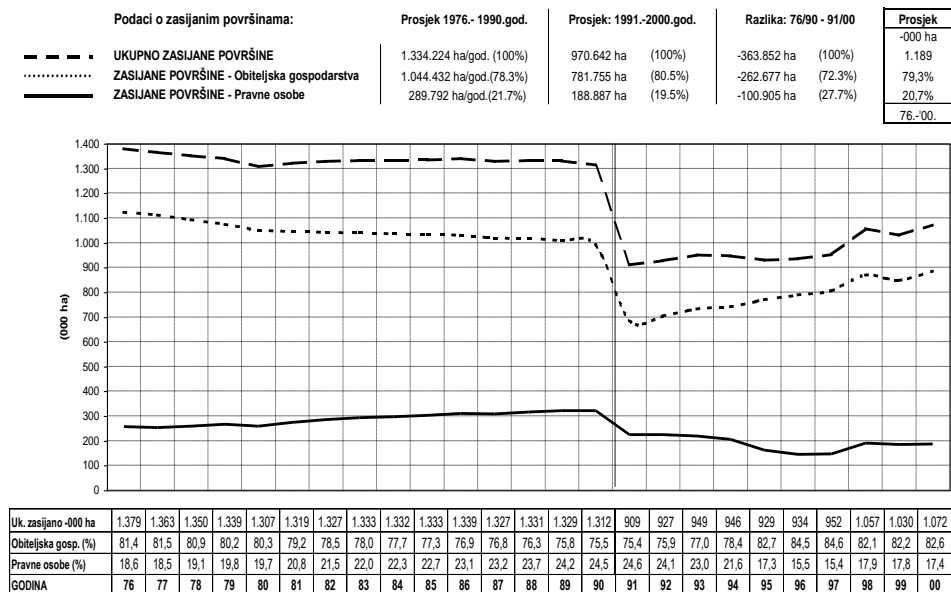
U skladu s tim daju se i osnovni opisni pokazatelji za razdoblje od 1976. do 1990. g.; od 1991. do 2000. g. i od 1976. do 2000. g., zbog različitih uvjeta poljoprivredne proizvodnje do i poslije domovinskog rata u Hrvatskoj što je prikazano na slikama od r.b. 9. do 17.

Prosjeck ukupno zasijanih površina u Hrvatskoj od 1976. do 1990. g. je 1.334.224 ha, a od 1991. do 2000. g. 970.642 ha odnosno 363.852 ha manje! To je prvenstveno posljedica privremene okupiranosti dijela Hrvatske (od 1991. do 1995. odnosno do 1997. g.), od čega su 296.500 ha poljoprivredna zemljišta s potpuno i dijelom izgrađenim hidromelioracijskim sustavima površinske odvodnje. *Smanjenje zasijanih površina je uslijedilo i zbog slijedećih razloga: neodržavanje hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje kao i zaštitnih hidrotehničkih objekata – što je dovelo do znatnog smanjenja ili prestanka njihovog funkcioniranja, negativnih posljedica 'procesa pretvorbe' većeg dijela poljoprivrednih poduzeća (pravne osobe), pogoršanja stanja u poljoprivrednoj proizvodnji (problem ulaznih troškova te cijena proizvodnje i na tržištu), nedostatak poslovne politike u poljoprivrednim djelatnostima (od strane Vlade RH), nesređeni imovinsko-pravni odnosi vlasnika i korisnika poljoprivrednog zemljišta (problemi gruntovnica i katastra), sve veći broj staračkih domaćinstava sa malim površinama poljoprivrednih posjeda, neriješen tržišni otkup poljoprivrednih proizvoda, neprovođenje Zakona o vodama, Zakona o financiranju vodnog gospodarstva, Zakona o poljoprivrednom zemljištu.*

Na slici 9 kako po pojedinim godinama tako i razdoblju 1976.–1990.–2000. g. vidljivo je i smanjenje zasijanih površina u posjedu obiteljskih gospodarstava i pravnih osoba.

Smanjenje zasijanih i žetvenih površina od 1991. do 2000. u odnosu na razdoblje 1976.–1990. je rezultiralo iz razloga koji su navedeni i za ukupno zasijane površine u Hrvatskoj – prikazane na slici 9. Zabrinjavajuće je smanjenje žetvenih površina pšenice

za 104.461 ha, a od toga na površinama obiteljskih gospodarstava za 65.283 ha (62,5%), a pravnih osoba za 39.178 ha (37,5%).

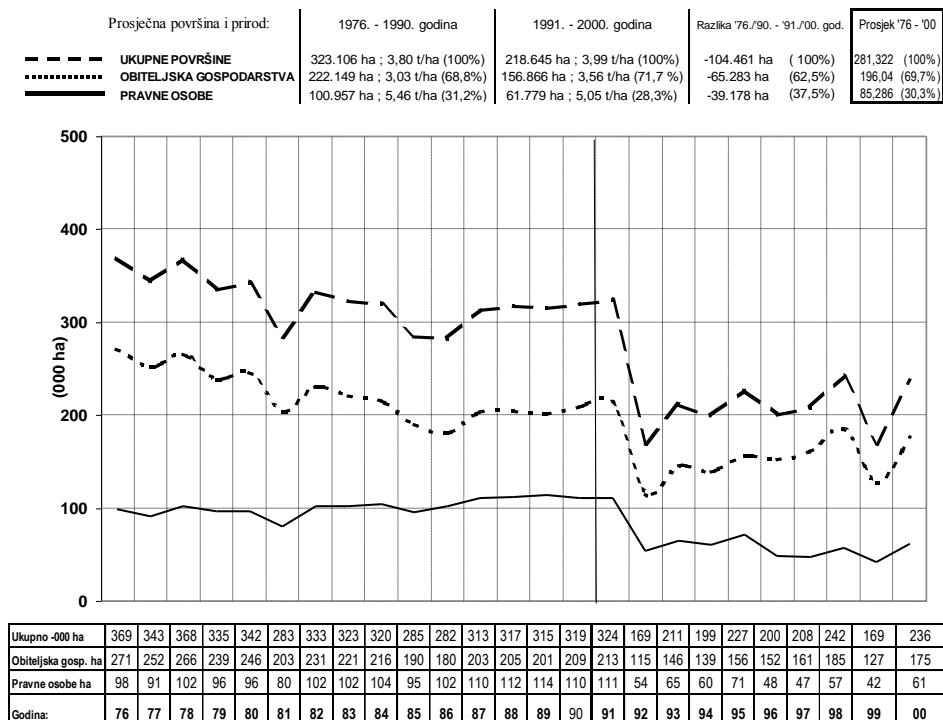


Slika 9. Pregled ukupno zasijanih površina u Hrvatskoj od 1976. do 2000. g.

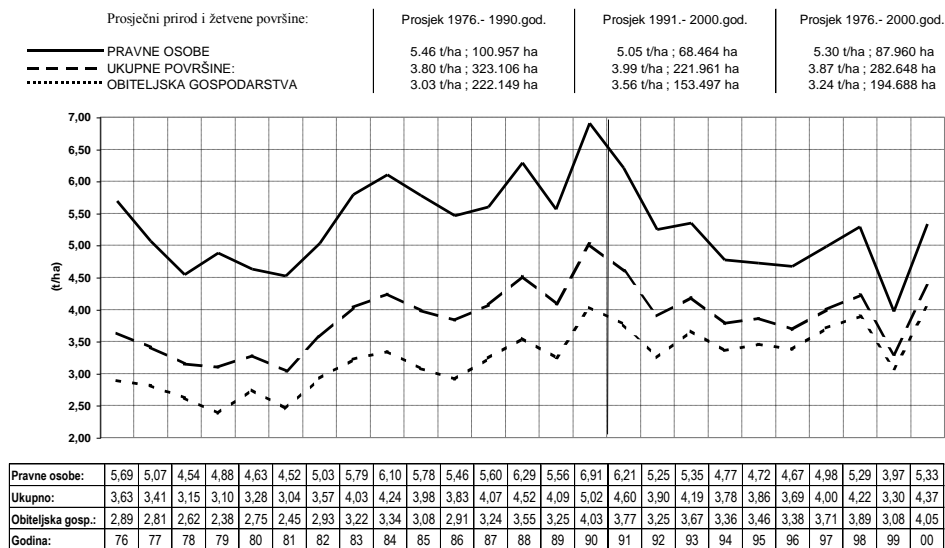
Oscilacije ostvarenih priroda pšenice po pojedinim godinama su prvenstveno uvjetovani klimatskim i hidrološkim pojavama melioracijskih područja te stupnju održavanja i funkcioniranja hidromelioracijskih sustava površinske i/ili kombinirane odvodnje melioracijskih površina. Na ostvarene prirode ima utjecaja i korištenje gnojiva te primjena odgovarajućih agrotehničkih mjera u procesu uzgoja pšenice. Međutim bitno je imati na umu znatno veće ostvarenje priroda pšenice na površinama u posjedu pravnih osoba gdje su u potpunosti izgrađeni hidromelioracijski sustavi površinske i podzemne odvodnje. U odnosu na površine obiteljskih gospodarstava prosječni prirodni pšenice na površinama u posjedu pravnih osoba su veći za 80,2% za razdoblje od 1976. do 1990. g., a za 41,9% za razdoblje od 1991. do 2000. g.

Kao i kod ukupno zasijanih površina tako je i za kukuruz vidljivo smanjenje zasijanih površina za razdoblje od 1991. do 2000. g. u odnosu na razdoblje od 1976. do 1990. g. i to za 118.232 ha (30,8%) – iz istih razloga (ratne posljedice i neodržavanje hidromelioracijskih sustava).

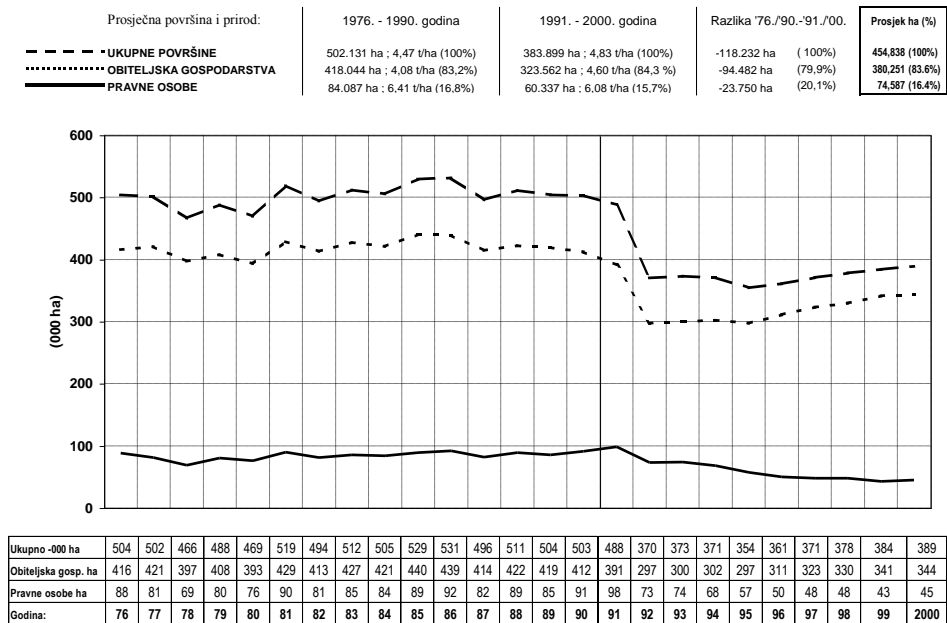
Pored klimatskih i hidroloških pojava na oscilacije ostvarenih priroda kukuruza veliki utjecaj ima stupanj održavanja i funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske kao i kombinirane odvodnje. U razdoblju njihovog kvalitetnijeg održavanja (1976.—1990. g.) ostvareni su prirodni kukuruza na površinama u posjedu pravnih osoba za 57,1% veći u odnosu na površine u posjedu obiteljskih gospodarstava. Od 1991. do 2000. g. prisutan je sve niži stupanj održavanja i funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava pa je došlo i do manje razlike u prirodima kukuruza ostvarenih na površinama u posjedu pravnih osoba i obiteljskih gospodarstava. A to je dijelom posljedica i korištenja manjih količina gnojiva kao i smanjenje primjene odgovarajućih agrotehničkih mjera na površinama u posjedu pravnih osoba.



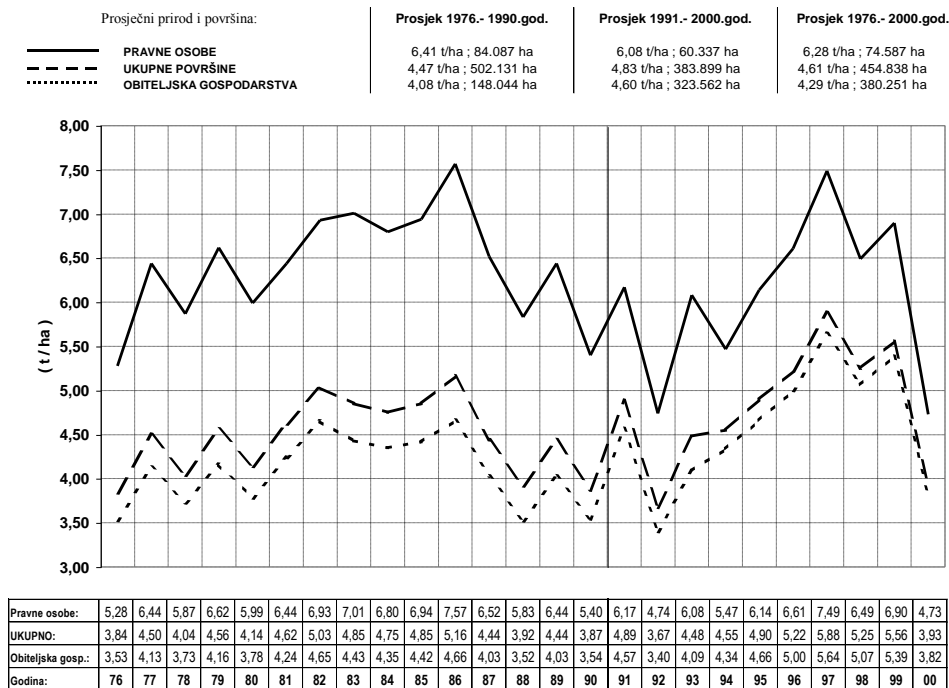
Slika 10: Žetvene površine pšenice u Hrvatskoj od 1976. do 2000. g.



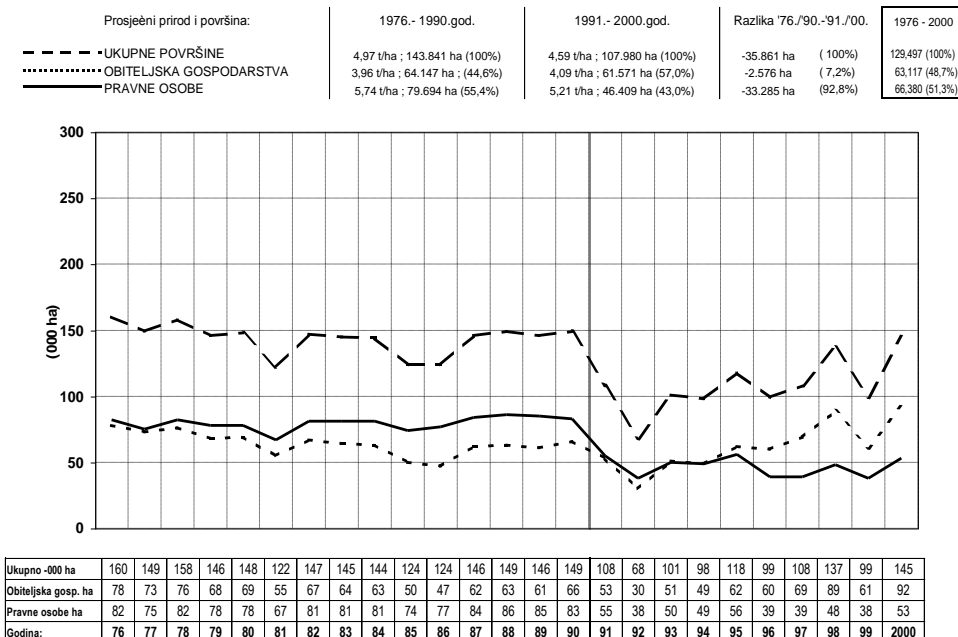
Slika 11: Prosječni prirod i pšenice u Hrvatskoj od 1976. do 2000. g.



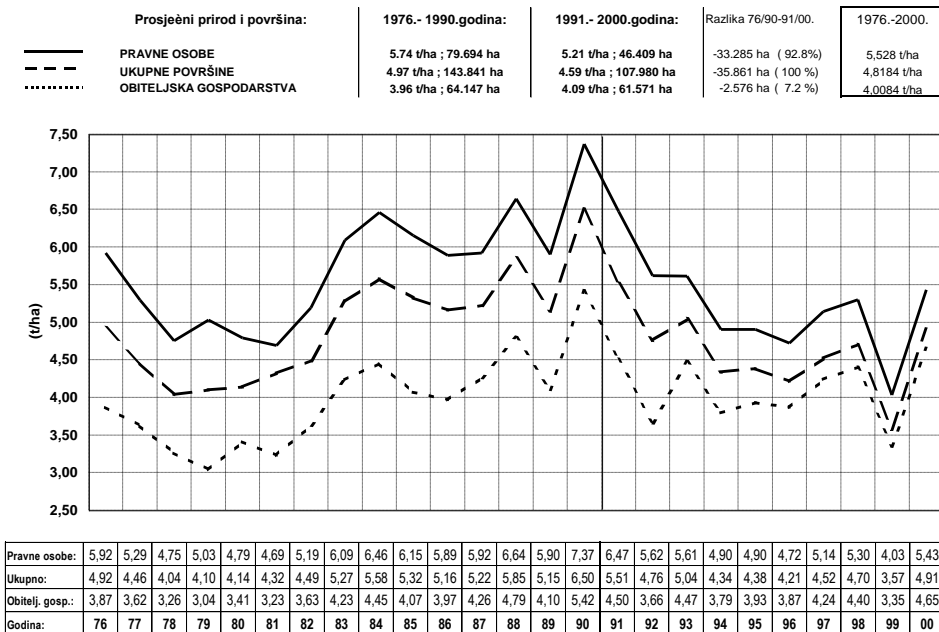
Slika 12: Žetvene površine kukuruza u Hrvatskoj od 1976. do 2000. g.



Slika 13: Prosječni prirod kukuruza u Hrvatskoj od 1976. do 2000. g.



Slika 14: Žetvene površine pšenice u Slavoniji i Baranji od 1976. do 2000. g.



Slika 15: Prosječni prirod pšenice u Slavoniji i Baranji od 1976. do 2000. g.

Od 1956. do 1990. g. u Slavoniji i Baranji su izvršene (re)komasacije zemljišta na 490.484 ha površine. Na tom istom području izgrađeni su u potpunosti hidromelioracijski sustavi površinske odvodnje, a od 1975. do 1990. i hidromelioracijski sustavi podzemne odnosno kombinirane odvodnje na 92.737 ha (76,3%) te dijelom na 14.989 ha (55,2%). Iz navedenih razloga dati su posebni podaci za prirod pšenice i kukuruza u Slavoniji i Baranji. *Također je bitan podatak da je od ukupnih melioriranih površina Hrvatske u posjedu pravnih osoba na području Slavonije i Baranje bilo 74%.* Osnovni pokazatelji na slici 14 su slijedeći:

- Žetvene površine pšenice su smanjene za 35.861 ha (33,2%).
- Po godinama žetvene površine pšenice su bile od 68.000 ha (u 1992.) do 160.000 ha u 1976. g.
- Prosjek žetvenih površina je u većoj mjeri smanjen na posjedu pravnih osoba.

Najveći prirodni na površinama pravnih osoba ostvareni su u 1990. g. – 7,37 t/ha, a najmanji u 1999. – samo 4,03 t/ha. Prosječni prirodni pšenice na površinama pravnih osoba ostvareni su 5,74 t/ha od 1976. do 1990. g. – što je za 45,0% više od priroda na površinama obiteljskih gospodarstava. Od 1991. do 2000. g. na površinama pravnih osoba ostvareni su prosječni prirodni 5,21 t/ha – što je za 10,2% manje od razdoblja 1976.—1990. g. U 1990. godini u Slavoniji i Baranji je bilo 149.260 ha žetvenih površina pšenice – što znači da je s prosječnim prirodnom 6,50 t/ha proizvedeno 970.190 t pšenice, a to je 60,6% od cjelokupne proizvodnje pšenice Hrvatske u istoj godini (na 319.000 ha žetvenih površina Hrvatske).

Od 1991. do 2000. g. prosjek žetvenih površina kukuruza je bio 156.442 ha što je za 30,4% manje u odnosu na razdoblje 1976.—1990. g. – kada je bilo 204.015 ha. U odnosu na ukupne žetvene površine kukuruza Hrvatske, od 1976. do 1990. g. Slavonija i Baranja sudjeluju sa 40,6%, a od 1991. do 2000. g. sa 40,8%, ali je u istom razdoblju bilo manje žetvenih površina za 118.232 ha odnosno za 47.577 ha (40,2%). To je posljedica privremene okupiranosti dijela područja kao i sve nižeg stupnja održavanja i funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava za površinsku odvodnju, a dijelom i kombiniranu odvodnju.

Od 1976. do 1990. g. na žetvenim površinama pravnih osoba prosječni prirod kukuruza je bio 6,87 t/ha, a najviše u 1984. g. – 8,53 t/ha, dok je najmanji bio u 1976. g. – 5,46 t/ha. U istom razdoblju na žetvenim površinama obiteljskih gospodarstava ostvaren je prosječni prirod kukuruza 5,23 t/ha – što je za 31,4% manje od priroda na površinama pravnih osoba. Vidljivo je smanjenje priroda kukuruza u razdoblju od 1991. do 2000. g. za 10,3% u odnosu na razdoblje od 1976. do 1990. g. *Također je važno imati na umu da su prosječni prirodni kukuruza od 1976. do 1990. g. u Slavoniji i Baranji bili 5,68 t/ha – što je za 27,1% više od prosjeka za cijelu Hrvatsku (4,47 t/ha).* Pored utjecaja klimatskih i hidroloških utjecaja pojedinih melioracijskih područja te primjene odgovarajućih agrotehničkih mjera smanjenje priroda kukuruza na površinama pravnih osoba je posljedica sve nižeg stupnja održavanja i funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i kombinirane odvodnje.

7.2. Mjerodavni pokazatelji prirodni pšenice i kukuruza u Hrvatskoj te Slavoniji i Baranji od 1976. do 2001. g.

Glavni razlozi oscilacije te ostvarenja minimalnih, srednjih i maksimalnih priroda pšenice i kukuruza su prvenstveno rezultat i posljedica slijedećeg:

- klimatske i hidrološke pojave na melioracijskim područjima Hrvatske,
- stupanj (ne)izgrađenosti hidromelioracijskih objekata i sustava površinske i podzemne odnosno kombinirane odvodnje,

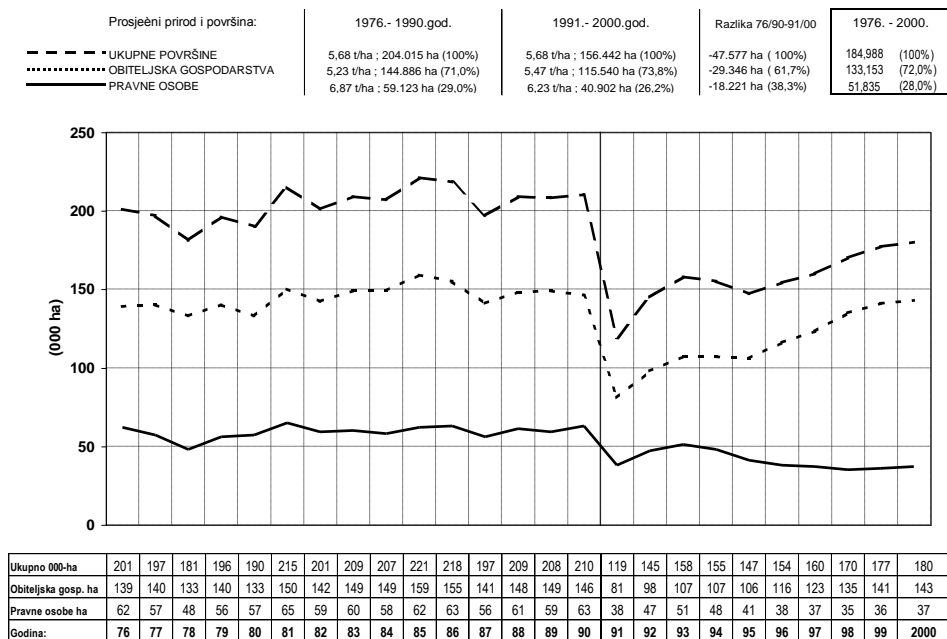
- stupanj (ne)održavanja i funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje,
- posljedice ratnih oštećenja i razaranja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje,
- sporosti procesa obnove oštećenih i razorenih hidromelioracijskih objekata i sustava,
- posljedice pogoršanja privređivanja i materijalnog stanja u procesu uzgoja i proizvodnje biljnih kultura,
- neriješeni odnosi na tržištu poljoprivrednih proizvoda – prvenstveno zbog uvoza hrane bez kontrole nadležnih državnih institucija (a iz država gdje postoji gospodarska politika u poljoprivredi),
- prekid aktivnosti na provedbi (re)komasacije zemljišta,
- prekid aktivnosti na dogradnji postojećih i izgradnji novih hidromelioracijskih objekata i sustava za površinsku i podzemnu odnosno kombiniranu odvodnju,
- negativne posljedice pretvorbe poljoprivrednih poduzeća u društvenom odnosno državnom vlasništvu (‘raspad’ poljoprivrednih poduzeća – kombinata),
- ne provođenje Zakona o vodama, Zakona o vodnom gospodarstvu i Zakona o poljoprivrednom zemljištu,
- nedostatak državne poslovne politike u poljoprivrednim i vodnogospodarskim djelatnostima u Hrvatskoj – loš odnos države prema najvrijednijim resursima Hrvatske: voda i zemlja,
- stalno smanjenje realnog iznosa slivne vodne naknade za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju,
- stalno smanjenje financijskih sredstava za poslove dogradnje i održavanja zaštitnih hidrotehničkih objekata.

Iz navedenih razloga prisutno je pogoršanje stanja odnosno smanjenje stupnja funkcioniranja hidromelioracijskih objekata i sustava, a posljedica toga je i smanjenje priroda biljnih kultura na melioracijskim površinama. Za poslove redovnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava površinske odvodnje godišnje je potrebno 46.764.570 USD — što je samo 4,7% od iznosa vrijednosti uvežene hrane u 2001. g. — a to je milijardu USD prema podacima nadležnih državnih institucija Hrvatske. Zbog ratnih šteta (1991. i 1992.) i nedovoljnog održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju (od 1991. do 2001. g.) potrebna su dodatna državna sredstva za njihovo dovođenje na projektno-izvedbene elemente. A to je sastavni dio programa razvoja poljoprivrede odnosno proizvodnje hrane u Hrvatskoj — i to kako za vlastite potrebe tako i za potrebe turizma i izvoza u druge zemlje.

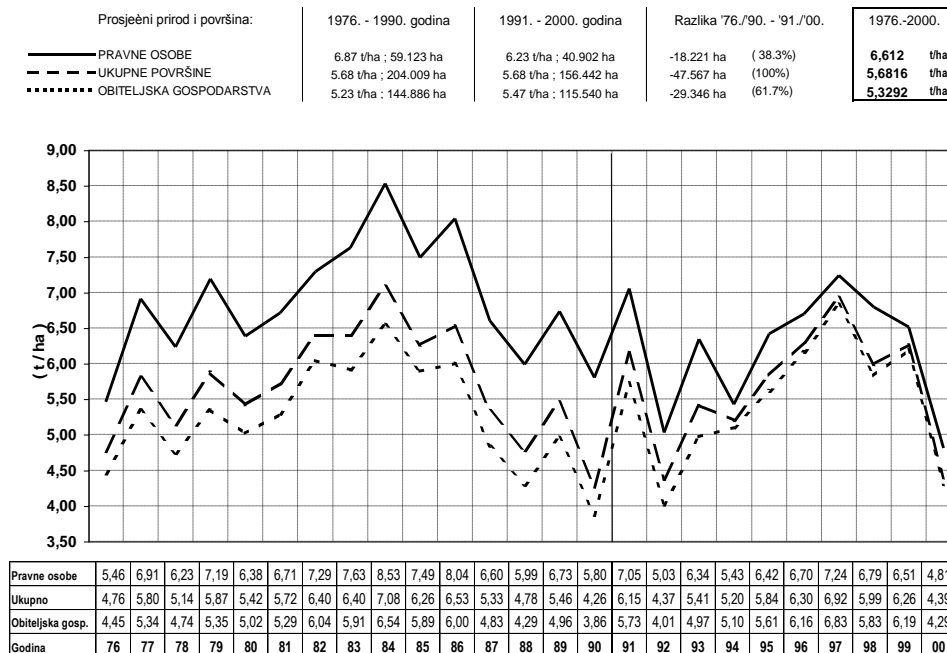
8. Hidromelioracijski objekti i sustavi za navodnjavanje

U odnosu na prirodne pogodnosti i potrebe poljoprivredne proizvodnje najniži stupanj izgrađenosti i najlošije stanje je sa hidromelioracijskim objektima i sustavima za navodnjavanje. Prema prirodnim obilježjima u Hrvatskoj je 514.600 ha melioracijskih površina pogodno za natapanje. To se odnosi na područja sa pogodnim topografskim i pedološkim obilježjima, ali s nedovoljnim količinama oborina i nepovoljnim klimatskim obilježjima u vegetacijskom razdoblju razvoja biljnih kultura. Na tim područjima postoji višak oborina u razdoblju prije sjetve ili u predvegetacijskom razdoblju razvoja pojedinih biljnih kultura. Zbog toga je u prvom redu potrebna izgradnja brana s akumulacijama za potrebe zadržavanja voda koje se mogu koristiti za natapanje

poljoprivrednih zemljišta – u razdoblju kada je deficit vlage za potrebe



Slika 16: Žetvene površine kukuruza u Slavoniji i Baranji od 1976. do 2000. g.



Slika 17: *Prosječni prirodni kukuruza u Slavoniji i Baranji od 1976. do 2000. g.*

optimalnog razvoja biljnih kultura. A na dijelu melioracijskih površina moguć je dovod vode sa zahvatom iz prirodnih vodotoka – s obzirom na njihova hidrološka obilježja.

Nažalost i pored većeg broja izrađenih studijskih i projektnih rješenja sustava za navodnjavanje, zanemarive su površine poljoprivrednih zemljišta koje se natapaju. Sastavni dio toga su i izgrađeni višenamjenski vodnogospodarski objekti i sustavi za potrebe zaštite od štetnog djelovanja voda (obrana od poplava), korištenje voda (za proizvodnju energije, navodnjavanje, tehnološka voda) i zaštitu voda. Prema podacima za 1990. g. u Hrvatskoj je bilo izgrađeno hidromelioracijskih objekata i sustava za navodnjavanje 5790 ha poljoprivrednih zemljišta u posjedu poljoprivrednih poduzeća odnosno pravnih osoba na slijedećim slivnim odnosno dijelovima melioracijskih područja: Donja Neretva — 2815 ha; Ravni kotari (Zadar, Biograd) — 1845 ha; Donja Drava — 830 ha; Sava — 240 ha i Istra — 60 ha. Nažalost veći dio hidromelioracijskih objekata i sustava za navodnjavanje je oštećen ili uništen ratnim djelovanjem raznih srbo-četničkih vojnih formacija i bivše 'JNA'. Najveće ratne štete su učinjene na hidromelioracijskim objektima i sustavima za navodnjavanje melioracijskih površina Ravni kotara (površine bivšeg Poljoprivrednog kombinara »Zadar«) i Baranje (površine PK »Belje«). I natapni sustav voćnjaka »Borinci« (kod Vinkovaca) također je oštećen i nije u funkciji (220 ha) kao i natapni sustavi na dijelu površina VUPIK (Vukovar).

Prema podacima za 1990. g. na površinama u privatnom posjedu (obiteljska gospodarstva) natapalo se 7970 ha poljoprivrednih zemljišta. To se odnosi na površine od 0,5 ha do 2,0 ha koje su navodnjavane pojedinačno izgrađenim hidrotehničkim objektima i razvodnom mrežom cjevovoda i to prvenstveno na melioracijskim površinama Dalmacije (ukupno 4450 ha, 55,8% od ukupnih 7970 ha). *Iz navedenih podataka vidljivo je da se u 1990. g. natapalo samo 13.760 ha poljoprivrednih zemljišta što je samo 2,7% od prirodno povoljnih melioracijskih površina za natapanje u Hrvatskoj.* Zbog neriješenih imovinsko-pravnih odnosa i negativnih posljedica pretvorbe poljoprivrednog poduzeća PIK »Neretva« (Opuzen) u sve lošijem stanju su hidrotehnički objekti i natapne površine na slivu Donje Neretve (a u 1990. g. natapalo se 2815 ha). *Iako je izgrađen odgovarajući broj višenamjenskih brana i akumulacija (na slivu Cetine, Drave, Ričice, nisu izgrađeni planirani zahvati vode kao i dovodni kanali i cjevovodi te mreža kanala ili cjevovoda za natapanje. To se odnosi na prirodno vrlo plodna zemljišta, ali deficitarna vlagom u vegetacijskom razdoblju razvoja biljnih kultura.* Prema provedenim analizama prosječne godišnje norme za natapanje poljoprivrednih zemljišta su po slivnim područjima slijedeće: Sava — 3000 m³/ha; Drava i Dunav — 3160 m³/ha; Istra i Primorje s otocima — 3850 m³/ha i Dalmacija s otocima — 4330 ha. Nažalost i pored povoljnih hidroloških i topografskih obilježja u Hrvatskoj se u 2001. g. natapalo samo 6500 ha — što je samo 1,3% od prirodno povoljnih poljoprivrednih zemljišta. *I pored visoke cijene izgradnje hidrotehničkih objekata i sustava za navodnjavanje u praksi se potvrdila njihova opravdanost s obzirom na ostvarenje znatno viših priroda biljnih kultura u odnosu na površine bez njih. To je potvrđeno i u državama sa lošijim topografskim, klimatskim, hidrološkim i pedološkim obilježjima poljoprivrednih površina u odnosu na Hrvatsku.*

Kako u sastavu bivše države tako i u samostalnoj Hrvatskoj naše strateške gospodarske djelatnosti su bile i ostale poljoprivreda i turizam. Nažalost i nadalje je prisutan nedostatak državne poslovne politike za razvoj vodnogospodarskih i poljoprivrednih djelatnosti. Nedopustivo i neopravdan je uvoz hrane i to kako za vlastite tako i za potrebe turizma. A u sklopu toga treba sagledati i vrednovati značenje izgradnje novih te dogradnje i održavanja postojećih hidromelioracijskih

objekata i sustava i to za površinsku i podzemnu odvodnju, a u još većoj mjeri za navodnjavanje. To je preduvjet za proizvodnju hrane i to kako za vlastite potrebe tako i za potrebe turizma u Hrvatskoj. Svjetska iskustva su potvrdila da su razvijene države koje imaju razvijenu proizvodnju hrane i energije za vlastite potrebe, ali i za potrebe izvoza. A u tim državama su izgrađeni hidrotehnički objekti i sustavi za zaštitu od štetnog djelovanja voda kao i za odvodnju površinskih i podzemnih voda, ali i za navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta. Sastavni dio toga je i izvršavanje poslova redovnog održavanja u cilju zadržavanja njihovih projektno-izvedbenih elemenata. To je preduvjet za stvaranje i održavanje vodnog i zračnog režima poljoprivrednog zemljišta prema zahtjevima optimalnog razvoja i ostvarenja visokih priroda biljnih kultura, odnosno proizvodnje hrane u Hrvatskoj.

Popis literature

1. Bagić, A.; Holjević, D.; Kos, Z.; Marušić, J.; Romić, D.; Tomić, F.: Nacionalno izvješće o ulozi vode u proizvodnji hrane i razvoju sela, Nacionalni odbor Hrvatskog društva za odvodnju i navodnjavanje, Zagreb, 1999., str. 1–42.
2. Gereš, D.: Gospodarska bilanca voda u Republici Hrvatskoj, Građevni godišnjak '98, HSGI, Zagreb, 1998., str. 223–268.
3. Hrvatska gospodarska komora i Državni zavod za statistiku: Podaci o zasijanim i žetvenim površinama i prirodima biljnih kultura, 1976.–1990.–1996., Zagreb.
4. Hrvatska gospodarska komora: Podaci o zasijanim i žetvenim površinama i prirodima glavnih biljnih kultura u Hrvatskoj od 1996. do 2001. g., Zagreb, 2001. g.
5. Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo: Vodnogospodarska osnova Hrvatske, Sustavi melioracijske odvodnje, Podaci vodnogospodarskih odjela i ispostava Hrvatskih voda — postojeće stanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju u Hrvatskoj, Zagreb, 2001. i 2002.
6. Kos, Z.: Osnovni principi planiranja vodoprivrednih sustava — posebno odvodnih sustava, Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. kolo, knjiga 3, Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske (DONH), Zagreb, 1985., str. 7–30.
7. Kos, Z.; Marušić, J.: Projektiranje, propisi i standardi kod navodnjavanja, Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. kolo, knjiga 2, DONH, Zagreb, 1984., str. 241–80.
8. Mađar, S.; Marušić, J.; Tomić, F.: Hidrotehničke melioracije u Hrvatskoj i stupanj urednosti poljoprivrednog zemljišta u Hrvatskoj, Nacionalno izvješće Republike Hrvatske za Svjetski skup o hrani, Zagreb, Rim, 1996., str. 1–14 i 1–15.
9. Marušić, J.: Analiza građenja hidromelioracijskih sustava u Hrvatskoj od 1975. do 1990. g., Građevinar, 44, Zagreb, 1992., str. 445–452.
10. Marušić, J.: Analiza potrebnih sredstava za redovno održavanje hidromelioracijskih sustava, Zbornik radova stručno-znanstvenog savjetovanja "Veliki odvodni sustavi", DONH, Zagreb, 1985., str. 286–323.
11. Marušić, J.: Eksploatacija hidromelioracijskih sustava za potrebe poljoprivredne proizvodnje, Savjetovanje "Potencijalne mogućnosti korištenja tla u cilju intenziviranja ratarske proizvodnje za potrebe zemlje i izvoza", Dubrovnik, 1987., str. 195–207.
12. Marušić, J.: Experience and effects of installation of pipe drainage on agricultural land in Yugoslavia, International Commission on irrigation and drainage, Dubrovnik, 1988, Volume 3, p. 66–78.
13. Marušić, J.: Komasačije i hidromelioracije zemljišta — preduvjet dugoročnog i stabilnog razvitka poljoprivrede, Geodetski list, Zagreb, 2000., str. 105–120.
14. Marušić, J.: Mjerodavni troškovi izgradnje i potrebna naknada za održavanje sustava površinske odvodnje, Drugi kongres o vodama, knjiga III, Ljubljana, 1986., str. 1214–1224.

15. Marušić, J.: Održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju u Hrvatskoj, Građevni godišnjak, 1997., Zagreb, str. 329–372.
16. Marušić, J.: Održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju u Hrvatskoj, Građevni godišnjak '97, HSGI, Zagreb, 1997., str. 329–372.
17. Marušić, J.: Održavanje melioracijskih kanala i vodnog režima poljoprivrednih zemljišta, 2. Hrvatska konferencija o vodama, Dubrovnik, 1999., str. 673–680.
18. Marušić, J.: Organizacija građenja hidromelioracijskih sustava za odvodnju, Priručnik za hidrotehničke melioracije, knjiga 5, DONH, Zagreb, 1989., str. 7–18.
19. Marušić, J.: Postojeći i planirani razvoj hidromelioracija u Hrvatskoj of 1986. do 2005. g., Seminar iz regulacija i melioracija, autorizirana predavanja, DGIT i DONH Zagreb, 1990., str. 1–46.
20. Marušić, J.: Potreba i značenje hidromelioracijskih sustava podzemne odvodnje u Hrvatskoj, Prva hrvatska konferencija o vodama, Održivi razvoj i upravljanje vodama, Dubrovnik, 1995., str. 449–461.
21. Marušić, J.: Ratne štete, obnova i održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju, Savjetovanje "Poljoprivreda i gospodarenje vodama", Bizovačke Toplice, 1994., str. 317–336.
22. Marušić, J.: Utjecaj oborina na projektne elemente hidromelioracijskih sustava za odvodnju, Znanstveni skup "Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama", Zbornik radova, HAZU, Zagreb, 1998., str. 93–102.
23. Marušić, J.: Značenje i troškovi građenja i održavanja hidromelioracijskih objekata i sustava za odvodnju, Sabor hrvatskih graditelja 2000., Cavtat, 2000., str. 741–754.
24. Marušić, J.; Mađar, S.; Tomić, F.: Hidromelioracijski sustavi za odvodnju, sjetvene površine i prirodi pšenice i kukuruza u Hrvatskoj od 1976. do 1996. g., Hrvatske vode, 6, 22, Zagreb, 1998., str. 1–20.
25. Racz, Z.; Gereš, D.; Hak, N.; Marušić, J.: Aktualna pitanja integralnog gospodarenja i zaštite tla i voda u poljoprivrednoj proizvodnji Hrvatske, IX. Kongres hrvatskog tloznanstvenog društva, Gospodarenje i zaštita tla za buduće generacije, Brijuni, 2001., Hrvatske vode, 10, 38, Zagreb, 2001., str. 1–22.
26. Racz, Z.; Vidaček, Ž.; Čamdžić, S.; Marušić, J.: Racionalno korištenje dreniranih površina u intenzivnoj ratarskoj proizvodnji, Savjetovanje "Dostignuća i perspektiva ratarsko–stočarske proizvodnje u tržnim uvjetima", Pula, 1991., Poljoprivredne aktualnosti, 39, 3–4, str. 405–420.
27. Razni autori: Studije i idejni projekti za navodnjavanje poljoprivrednih zemljišta na slivnim područjima: Baranje, Bosuta, Cetine, Karašice i Vučice, Mirne, Orljave, Vrane i Ravnih kotara, Vuke i dr., Zagreb, Osijek, Rijeka, Split, 1985.—1995.
28. Tadić, L.: Analiza indikatora relevantnih za održivo gospodarenje vodama sliva Karašice i Vučice, disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2001., str. 1–122.
29. Tadić, L.; Marušić, J.: Efekti podzemne odvodnje na slivu Karašice i Vučice, Građevinar, 48, Zagreb, 1996., str. 719–726.
30. Tomić, F.; Buntić, Z.; Marušić, J.: Uređenje poljoprivrednih površina u Hrvatskoj, Hrvatske vode, 1(1), Zagreb, 1993., str. 51–60.
31. Tomić, F.; Marušić, J.: Hidrotehničke melioracije — preduvjet razvitka hrvatske poljoprivrede, Savjetovanje "Strategija dugoročnog razvitka hrvatske poljoprivrede", Zagreb, 1993., str. 180–189.
32. Tomić, F.; Marušić, J.: Stanje i perspektive melioracija u Hrvatskoj, Savjetovanje "Poljoprivreda i gospodarenje vodama", Bizovačke Toplice, 1994., str. 41–52.
33. Tomić, F.; Marušić, J.: Uloga melioracija u razvoju agrara Hrvatske, Poljoprivredne aktualnosti, 30, Zagreb, 1994., str. 413–420.
34. Vidaček, Ž.: Gospodarenje melioracijskim sustavima odvodnje i natapanja, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Zagreb, 1998., str. 1–168.
35. Zakon o vodama i Zakon o financiranju vodnog gospodarstva, N.N. 107, Zagreb, 1995., str. 2910–2936–2943.

4

SUŠE, OKOLIŠ I POLJOPRIVREDNA PROIZVODNJA

Prof. dr. sc. Ognjen Bonacci
Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu

1. Definiranje pojmova suhoće, suše i suhих (sušnih) područja	99
2. Zemljopisno određivanje sušnih područja	101
3. Različiti pristupi definiranju suša	105
4. Suša i tlo	106
5. Suša i vegetacijski pokrov	109
6. Ograničenost resursa sušnih područja	111
7. Hidrološka svojstva suhих područja	116
8. Indeksi suše	122
9. Sustavna analiza regionalne suše	125
10. Suša i poljoprivredna proizvodnja	131
Popis korištene literature	

1. Definiranje pojmova suhoće, suše i suhих (sušnih) područja

Između pojmova suhoće i suše postoji značajna razlika. Stručnjaci upozoravaju da ih se nikako ne smije miješati a još manje izjednačavati. Suhoća (aridity) je dugotrajan klimatski fenomen čime se u osnovi razlikuje od kratkotrajnog fenomena suše (drought). Činjenica je da oba spomenuta fenomena uzrokuju stvaranje manjih ili većih suhих ili sušnih područja (dryland).

Termin dryland mogao bi se na hrvatski jezik prevesti kao suho ili sušno područje iako niti drugačije objašnjenje ne bi bilo neprihvatljivo. Kao najprikladnija čini se slijedeća definicija ovog pojma: Radi se o okolišu koji je stalno, sezonski ili povremeno podvrgnut značajnom nedostatku vlage. Procijenjeno je da oko 36 % kontinentalne površine planeta, što približno iznosi 45 milijuna km² može biti svrstano pod pojam suhog područja. Na tom prostoru živi od 15 % do 21 % stanovništva Zemlje. Regionalno se suha područja nalaze na polarnim, umjerenim, subtropskim i tropskim zemljopisnim širinama (Mainquet, 1999.).

Nastavno će se s nekoliko osnovnih činjenica i primjera pokušati potkrijepiti odnos ljudi i vode i suhих područja na našem planetu. U osnovi leži paradoks da je 70 % Zemlje pokriveno vodom od koje manje od 2 % predstavlja slatku vodu pogodnu za izravno korištenje od strane čovjeka. Navedeni paradoks potencira se činjenicom da i tu neveliku količinu slatke vode neophodne za život prije svega ljudi sami nemilice i vrlo sustavno zagađuju. Kako bi popravio to što je sam uglavnom nepažnjom i lošim gospodarenjem upropastio, čovjek pročišćava

zagađenu vodu trošeći ogromnu energiju, koristeći sve složenije tehnologije i kemijske procese, stvarajući usput ostatak s kojim uglavnom ne zna što bi započeo i gdje bi ga neopasno odložio. Kao najveći nonsens sklon je nekritički se hvaliti svojim uspjesima u pročišćavanju, od njega samog zagađenih vode, zanemarujući pri tome u potpunosti cijenu koju je za to platio.

Desalinizacija bočate ili morske vode skup je postupak koji zahtijeva potrošnju velikih količina energije. U najnovije vrijeme blago zaslanjena voda koristi se za natapanje određenih biljaka uz napomenu da je pri procesu navodnjavanja potrebno vrlo strogo voditi računa o postupcima odslanjivanja i načinima dovođenja vode.

Crpljenje dubokih fosilnih podzemnih voda koje se ne mogu obnoviti, vrlo je često i odvija se u raznim dijelovima Zemlje. Podsjetimo se samo na Libiju u kojoj je upravo pred završetkom jedan takav projekt (Bonacci i Roje-Bonacci, 1998.). Mnogo je češća pojava koja je danas gotovo postala pravilo u cijelom svijetu, precrpljivanje podzemnih vodonosnika. Pri tome se misli na postupak da se iz vodonosnika iscrpi više vode nego što se oborinama može nadoknaditi. Takvo crpljenje podzemne vode može imati i ima katastrofalne posljedice, koje se kreću od velikih slijeganje i ulegnuća površine terena, naglih propadanja velikih površina tla do prodora morske vode u područja iz kojih je iscrpljena podzemna voda. Primjeri Mexico City-a, San Joaquin Vally u Californiji, Denvera u Coloradu, kolapsa velikih vrtača na Floridi itd. samo su najdrastičniji primjeri ali se čini da čovjek iz njih nije izvukao nikakav zaključak. Korištenje neobnovljivih rezervi podzemnih voda nastavlja se sve intenzivnije.

Izgradnja velikih akumulacija posebno u vrućim i pustinjским područjima neophodna je ali je prilično neučinkovita. Gubici vode na isparavanju i procjeđivanju tako su veliki da dovode u pitanje učinkovitost ovih građevina. Primjera radi navodi se da prosječno god. iz akumulacije stvorene na Nilu izgradnjom Asuanske brane, ispari prosječno god. $11,35 \times 10^9 \text{ m}^3$ vode što se procjenjuje na prosječan protok od $360 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fahmy, 2001.).

Umjetno prihranjivanje podzemnih voda i kasnija iskoristivost istih podzemnih voda još uvijek nisu dovoljno niti istraženi niti pouzdani.

Prevođenje vode iz sliva u sliv na velike udaljenosti skup je postupak koji zahtjeva osim golemih investicijskih sredstava i značajne troškove održavanja a s zakonskih i ekoloških gledišta krajnje je problematičan.

Urbanizacija, sječa šuma, prenamjena korištenja zemljišta, i sl. značajno mijenja prirodne procese otjecanja uzrokujući pojave naglih poplava na malim, srednjim i velikim slivovima. Svjedoci smo povećane čestine pojava poplava i njihovih sve težih posljedica. Nerijetko se dešava da razdoblje poplava bude smijenjeno razdobljem dugotrajnih i sve češćih suša na prostorima na kojima su one prije bile rijetke. Hidrološka ravnoteža poremećena je djelovanjem čovjeka. To se sve snažnije osjeća na svim dijelovima našeg planeta. Klimatske promjene i/ili varijacije klime utječu na globalno zagrijavanje Zemlje uzrokujući da se suha područja sve brže i sve nekontroliranije šire.

Sve što je prethodno izneseno izravno upućuje na dva vrlo pesimistična zaključka. Prvi je da čovjek danas nema učinkovitih rješenja za ublažavanje posljedica suša te da je vrlo neizvjesno da li će ih ikada naći. Drugi zaključak je da se suha područja na Zemlji šire a da se suše sve češće javljaju doslovno posvuda. Ako ništa drugo vrijeme je zamisliti se nad budućnošću posebno onom vezanom s vodom i razvojem ljudske civilizacije.

Za shvaćanje težina problema navodi se da su minimalne godišnje rezerve upotrebljivih slatkih voda na Zemlji procijenjene na iznos od $40\,000 \text{ km}^3$. Današnja po-

trošnja prešla je iznos od 5000 km³ ili 12,5 % s tim da se do 2020. godine procjenjuje da će porasti na 20 000 km³ ili 50 % od spomenutog minimalnog godišnjeg iznosa. Kod toga treba znati da se za potrebe poljoprivredne proizvodnje troši oko 70 % slatke vode. Njena raspodjela krajnje je neravnomjerna što s može ilustrirati činjenicom da jedan stanovnik SAD-a potroši 70 puta više vode od stanovnika Ghane.

Pojam suho područje (dryland) u sebi sadrži slijedeća tri termina: suhoću (aridity), sušu (drought) i razvoj ljudskog društva (human development). Time se izbjegava riječ pustinja (desert) koja je mnogo užeg značenja i odnosi se samo na područja koja su trajno podvrgnuta značajnom nedostatku vode pa su zbog toga na tim prostorima razvijeni posebni pustinjski ekosustavi.

Za površnog poznavaoca stvari pustinje i suha područja predstavljaju nešto bezvrijednog u svakom smislu. No stvarnosti je potpuno drugačija. U suštini radi se o ekološki izvanredno vrijednim prostorima čije izučavanje može bitno pomoći čovjeku da uspješnije organizira svoj život u oskudnim uvjetima nedostatka vode. O tome svjedoče brojne i stare civilizacije koje su se upravo razvile u takovim prostorima stvorivši skladnu prirodnu ravnotežu odnosa svojih potreba i okoliša oskudnog vodom. Novo vrijeme posebno u posljednjih dvjestotinjak godina, povremeno zbog bahatog uvjerenja čovjeka da je postao vladarom prirode, bacilo je u zaborav vrijedna dostignuća drevnih civilizacija. Povećanje broja stanovnika na Zemlji i sve veće potrebe za vodom, koje barem čiste ima sve manje na raspolaganju, prisilile su znanstvenike a potom i one koji se bave upravljanjem vodnim resursima da se vrate izučavanju klasičnih načina korištenja vode u uvjetima njenih ograničenih količina. Pri tome će za učinkovitost i uspješnost ovog poduhvata bitnu ulogu igrati i nove tehnologije. Na određeni način lokalizirano natapanje, ponovno korištenje vode za navodnjavanje i neke druge tehnologije, rezultat su upravo takvog novog pristupa nastalog na spajanju starih iskustava s novim tehnologijama. Međutim, čini se da se od starih civilizacija može još mnogo štošta naučiti i iskoristiti. Definitivna je činjenica da čovječanstvo ulazi u vrijeme kad će se s vodom morati upravljati znatno pažljivije jer je jednostavno neće biti dovoljno za one potrebe i načine na koje se danas koristi, prije svega u tzv. razvijenom svijetu, s posebnim naglaskom na jugozapadnu obalu SAD-a (savezna država California ali i neke druge)

2. Zemljopisno određivanje sušnih područja

Geografi su još početkom dvadesetog stoljeća uveli termin 'suhih dijagonala' kojim su pokušali opisati suhe i pustinjske prostore na Zemlji. Na sjevernoj hemisferi postoje dvije takve dijagonale: 1) Sahara—Arabija—Tar; 2) California—Sonora—sjeverni Meksiko. Na južnoj hemisferi spominju se tri takve dijagonale: 1) Namibija—Kalahari; 2) Južno američka dijagonala koja se prostire od ekvatora (uključujući Galapagos) preko Anda u Antafagasti uzduž istočnog dijela Kordiljera sve do Patagonije; 3) Australaska dijagonala u kojoj suha područja zauzimaju oko 5 milijuna km² ili oko 75 % kontinenta.

Na pet navedenih suhij dijagonala kao i na ostalim manjim sušnim područjima na Zemlji, moguće je razlikovati slijedećih četiri stupnja sušnosti: 1) Hiperaridno; 2) Aridno ili pustinjsko; 3) Poluaridno ili Sahelsko; 4) Subhumidno sušno ili Sudanski saheljsko.

U hiperaridnim sušnim područjima padne u prosjeku od 10 do 50 mm oborine godišnje s međugodišnjim koeficijentom varijacije većim od 40 %. Radi se o područjima širokih, kontinentalnih pustinja kao što su središnji dio Sahare i arapskog poluotoka, priobalne pustinje Perua i Čilea te Namibijska pustinja. Količine oborina

nedovoljne su za poljoprivrednu proizvodnju osim u prirodnim ili umjetnim oazama. U aridnim ili pustinjским područjima prosječna godišnja oborina kreće se od 50 do 100 mm a koeficijent varijacije iznosi 30 % do 40 %. Oborine se javljaju tijekom samo nekoliko mjeseci godišnje. Oborine su također nedovoljne za poljoprivrednu proizvodnju. Spomenuti oborinski režim javlja se u nekoliko kontinentalnih pustinja kao što su one na prostorima jugozapadnog dijela SAD-a, pustinja Kalahari i pustinje u središnjem dijelu Australije. Isti režim oborina pojavljuje se i na rubovima najvećih kontinentalnih pustinja. U poluaridnim ili Sahelskim područjima prosječna godišnja oborina iznosi 150 do 500 mm uz koeficijent varijacije od 20 % do 30 %. Poljoprivredna proizvodnja zasnovana na korištenju prirodnog oborinskog režima moguća je ali je krajnje riskantna jer nerijetko nedovoljne i tijekom godine loše raspoređene oborine rezultiraju katastrofalnim podbačajem uzgoja kulturnog bilja. Subhumidno sušno ili Sudansko sahelско područje godišnje prima 500 do 800 mm oborina raspoređenih tijekom kišne sezone koja traje šest mjeseci. Suša se ovdje pojavljuje kao sezonski fenomen te kao takva može jako utjecati na smanjenje poljoprivredne proizvodnje.

Manje se poznato da se pustinje javljaju i na polarnim zemljopisnim širinama. Općenito se može reći da se one nalaze sjeverno od 75. stupnja i južno od 80. stupnja geografske širine. Polarna područja se klasificiraju u slična pustinjским zbog male količine oborina i niskih temperatura kod kojih je sadržaj vlage u zraku neznan. Mjerenjima je ustanovljeno da na Antarktiku godišnje padne manje od 50 mm oborine dok u Arktičkom pojasu godišnje oborine ne prelaze 150 mm. Na ovim prostorima na uvjete slične pustinjским prije svega utječe činjenica da je najveći dio godine voda akumulirana u obliku leda čime je onemogućen razvoj bilo kakve vrste vegetacije.

Jedna od bitnih posljedica postojanja pustinjских područja, kako onih u hladnim tako i onih u vrućim područjima Zemlje je niska gustoća stanovnika na njima. Primjera radi navodi se da na sjevernom području Kanade živi oko 17 000 Eskima na teritoriju koji zauzima oko 2 milijuna km². Brojni znanstvenici smatraju da sva sušna područja na Zemlji treba tretirati jednako bez obzira da li se ona nalaze na ekvatoru ili u polarnom području.

Kod vrućih, tropskih pustinja na stalni nedostatak vode bitan utjecaj vrši intenzivna sunčana radijacija praćena visokom temperaturama zraka i ekstremnim količinama evapotranspiracije. Godišnji broj sati sijanja sunca prelazi vrijednost od 3250 sati. Napominje se da teoretski insolacija može doseći 4100 sati u području tropa. Temperatura zraka tijekom dana nerijetko prelazi 50°C a iznad pijeska i kamenja izmjerena je u Sahari temperatura od 78°C. Noću temperatura zraka može pasti i ispod 0°C. Razlike temperature zraka između dana i noći prelaze 30°C tim da se na površini stijena i pijeska ova razlika može popeti i do 60°C.

Prostor koji obuhvaća najprostranija pustinja na svijetu ona Saharsko-Arapska, proteže se od Atlantskog oceana do Perzijskog zaljeva u dužini od 7500 km s površinom od 12 milijuna km². Pustinjска područja u Australiji i Aziji ne mogu se svrstati u pustinje onog tipa koji se javlja u Sahari i na Arapskom poluotoku. Bez obzira na činjenicu da tu padne od 100 do 400 mm oborina godišnje, u usporedbi s manje od 50 mm u Sahari, i ova područja spadaju u izrazito suha a time i krajnje negostoljubiva za život i to ne samo ljudi.

U oblikovanju pustinja i suhih područja značajnu ulogu imaju jaki vjetrovi koji nose velike količine pijeska ili sitnih čestica tla. Ovakva se pojava naziva pješčanom olujom i/ili suhom maglom. Pješčane se oluje javljaju relativno često što zavisi o geografskom lokalitetu. U pustinjском dijelu srednje Azije one prosječno pušu 25 dana godišnje a tijekom jedne takve oluje, koja je puhala osam sati, izmjereno je da je nanoseno 20 do 30 m³ prašine na površinu od jednog hektara. Ovakvi nanosi uglavnom neplodnog

materijala sprječavaju ili uništavaju poljoprivrednu proizvodnju u regiji a vrlo često i utječu na širenje pustinja.

3. Različiti pristupi definiranju suša

Specijalizirana UNESCO-ova organizacije FAO (Food and Agriculture Organization) detaljno se bavi problematikom proizvodnje hrane u sušnim područjima. Vezano s time njeni su stručnjaci stvorili posebne definicije i klasifikacije suhoća i suša o čemu će nastavno biti govora.

Kao prvo oni pojam suhoće (aridity) strogo razlikuju od pojma suše (drought). Suhoća predstavlja stalni deficit oborina vezan sa snažnom sunčevom radijacijom, visokim temperaturama zraka, niskom vlagom zraka i snažnom evapotranspiracijom. Suša nastaje kao rezultat povremenih nedostataka oborina u odnosu na uobičajene prosječne oborine. Područja se po suhoći klasificiraju na osnovi odnosa P/PET pri čemu je s P označena godišnja oborina izražena u mm a s PET godišnja potencijalna evapotranspiracija također izražena u mm. Ovaj se odnos naziva bioklimatskim indeksom suhoće. Kod hiperaridnih područja $(P/PET) < 0,03$. Radi se o ekstremnim oblicima pustinja bez vegetacije, osim pojave nekih efemernih i kserofitnih grmolikih biljaka u koritima povremenih riječnih tokova (vada). Ova su područja nastanjena isključivo u oazama. Kod sušnih zona bioklimatski indeks suhoće kreće se od 0,03 do 0,20. Radi se o neplodnim područjima pokrivenim samo i eventualno rijetkom travom i jednogodišnjom vegetacijom. Na ovim prostorima moguć je nomadski način života a poljoprivredna proizvodnja zasnovana na korištenju samo oborina nije moguća. Kod polusušnih područja bioklimatski indeks suhoće veći je od 0,20 a manji od 0,50. Radi se o području stepa i tropskih šikara (bush) na kojima prevladavaju višegodišnje biljke. Na njima je moguća ekstenzivan ispaša stoke. Četvrto po redu je subhumidno područje s bioklimatskim indeksom suhoće većim od 0,50 i manjim od 0,75. Radi se o prostorima tropskih savana katkada pokrivenim grmolikom šikarom a povremeno i stablima svojstvenim za šume navikle na česte suše. Stalna poljoprivredna proizvodnja bez natapanja, dakle zasnovana samo na oborinama, moguća je u ovim prostorima ali za one poljoprivredne kulture koje su otporne i prilagođene sezonskim sušama.

Stručnjaci se slažu da je prethodno iznesena podjela suša prejednostavna te da je problematika bitno složenija i istančanija te se mijenja vrlo dinamično kako u prostoru tako i u vremenu. Očigledno je naime da suhoće i suše nije moguće isključivo opisati preko dva pokazatelja a to su godišnje oborine i godišnje potencijalne evapotranspiracije. Razumljivo je da brojni drugi čimbenici utječu na suhoću i sušu a to su prije svega unutrašnja raspodjela i međuodnos oborina, temperatura zraka, vjetrova i vlage u zraku. Vrlo su značajni čimbenici i morfologija terena, sastav tla i prirodne vegetacije, erozijski procesi, način obrade zemljišta itd.

Suša predstavlja ekstremni klimatski događaj koji može preći u prirodnu katastrofu te se po svojim negativnim posljedicama nerijetko svrstava uz poplave, potrese, erupcije vulkana, velike šumske požare itd. Njen utjecaj na okoliš ali istodobno i na socioekonomska i politička kretanja vodi ka razaranju postignute ravnoteže. Suša izaziva krize u sustavu proizvodnje, posebno opadanje poljoprivredne proizvodnje, što u konačnici može uzrokovati teške socijalne posljedice. Jedna od najozbiljnijih, najočiglednijih i najtežih posljedica suše je stvaranje suhih ili sušnih područja. Ovaj proces posebno je ubrzan u drugoj polovici dvadesetog stoljeća kada je došlo do međudjelovanja naglog demografskog razvoja, negativnog utjecaja rada čovjeka te promjena i/ili varijabiliteta klime u globalnom mjerilu cijele Zemlje. Kao primjer moguće je navesti područje Sahela u kojem je stanovništvo u vrlo kratkom vremenskom

razdoblju naraslo na 30 milijuna što ovaj polupustinjski prostor nije bio u mogućnosti opskrbiti dovoljnom količinom hrane.

Iz prethodno iznesenog jasno i izravno proizlazi da se intenzitet suše treba procijeniti s obzirom na posljedice koje je izazvala. Još do pred desetak godina posljedice suše procjenjivale su se isključivo prema štetama koje su izazvale na poljoprivrednu i drugu vrstu proizvodnje vezane samo sa ljudskim djelatnostima. Danas se ovom problemu pristupa mnogo složenije te se računavaju ili barem pokušavaju procijeniti svekolike štete koje su suše uzrokovale na najšire shvaćeni pojam ekosustava.

Suše ni po čemu nisu vezane samo uz pustinje ili topla područja. Što više, one se sve češće i sa sve razornijim posljedicama javljaju i u razvijenim zemljama umjerenog i općenito govoreći humidnog klimatskog pojasa. Primjera radi navodi se da je u posljednjih dvadesetak godina gotovo cijela Francuska doživjela tri sušna razdoblja i to 1976. i 1985. godine a potom je u četverogodišnjem razdoblju 1988.—1992. deficit oborina bio vrlo velik. Tek su obilne jesensko-zimske oborine 1993. i 1994. prihranile rezerve podzemnih voda na razinu od prije 1976. godine. Na suhoću i sušu treba gledati kao na relativne veličine u kojima bitnu ulogu igraju ljudske potrebe za vodom. Kako će one neminovno i značajno rasti, vrlo je očigledno da će se suše javljati sve češće.

Za kvantificiranje suše bitno je poznavati deficit oborina i deficit otjecanja u odnosu na srednje višegodišnje vrijednosti. Međutim, ovi podaci nisu jedini presudni. Potrebno je poznavati dužinu i početak vlažne sezone. Preporuča se da se za početak kišne sezone uzme onaj dan kad je tijekom 24 sata palo najmanje 20 mm kiše. Za kvantificiranje suše neophodno je poznavati i njeno trajanje kao i intenzitet.

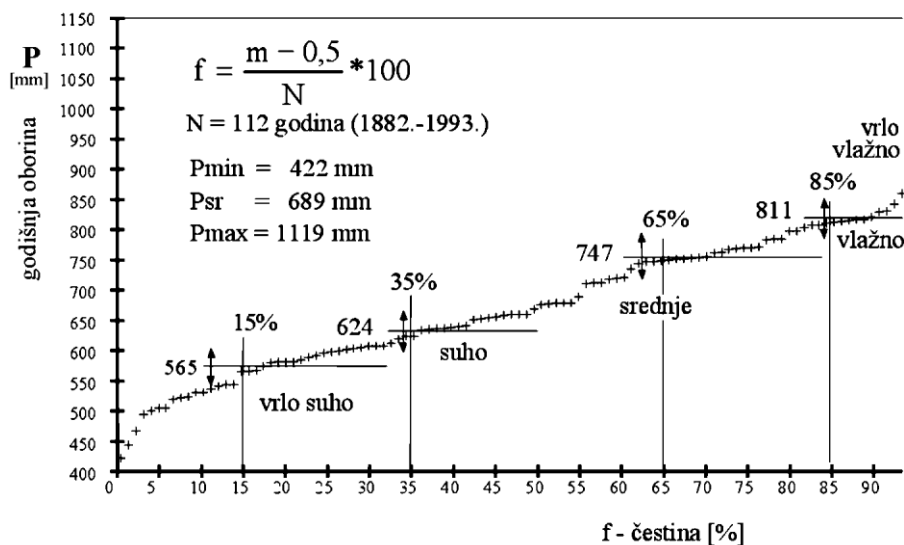
Moguće je razlikovati slijedećih šest vrsti suša. Kod prve se radi o deficitu otjecanja koji traje nekoliko tjedana ili mjeseci tijekom vegetacijskog razdoblja (klijanje je posebno kritično). Kao posljedica javlja se značajno smanjeni urod kulturnog bilja. Druga vrsta suše veže se uz dugotrajnu pojavu protoka u otvorenim koritima nižih od normalnih (srednjih). Kod vodotoka koji uobičajeno presušuju tijekom godine ova se vrsta suše odražava dužim trajanjem presušivanja od višegodišnjih prosjeka. Ova vrsta suše može ugroziti opskrbu vodom naselja i gradova u koliko se iz njih ili njihovih podzemnih vodonosnika voda koristi za piće, industrijske ili poljoprivredne svrhe. Treća vrsta suše nastaje kada se javlja deficiti u vrijednostima godišnjeg otjecanja na vodotocima koji su pregrađeni velikim branama i na kojima se izgrađene velike akumulacije. Ova vrsta suše utječe na smanjenje proizvodnje hidroenergije u koliko su akumulacije izrađene s tom svrhom. Četvrta vrsta suše vezana je s izostankom velikih poplavnih valova koji na brojnim rijekama posebno u zemljama u razvoju, u plodne i široke riječne doline donose prirodno gnojivo, vlagu i hranjivo za ekosustave. U slučaju odsustva velikih poplavnih hidrograma dolazi do pojave suša koje značajno utječu na smanjenje poljoprivredne proizvodnje. Smanjenje rezervi podzemne vode peti je vrlo česti i opasni vid suše. Do smanjenja ovih rezervi može doći i pod utjecajem pretjeranog crpljena što je danas u cijelom svijetu više pravilo nego iznimka. Do ovog vida suše dolazi zbog toga što se ušlo u crpljenje statičkih rezervi podzemne vode a oborine koje padnu na sliv nisu dovoljne da nadoknade iscrpljene količine. Suše koje traju nekoliko godine smatraju se šestom i najekstremnijom vrstom s obzirom na posljedice koje izazivaju apsolutno u svim vidovima ljudskih djelatnosti i ekoloških sustava. One uobičajeno zahvaćaju velika prostranstva i ostavljaju dugotrajne posljedice.

Vjerojatno najveći problem vezan sa sušama predstavlja činjenica da znanost ne može odrediti razloge zbog čega se one javljaju. Nepoznavanje globalnih ili širih razloga pojave suša onemogućava učinkovitu borbu protiv njih a prognozu suša čini krajnje problematičnom, u suštini nemogućom.

Kao najjednostavniji pristup određivanju sušnih i vlažnih razdoblja na slici 1 dana je empirijska krivulja raspodjele god. oborina Osijeka u razdoblju 1882.—1993. Na njoj su

godišnje oborine klasificirane u pet razreda kako slijedi: 1) Vrlo suho ($f \leq 15\%$); 2) Suho ($15\% < f \leq 35\%$); 3) Srednje ($35\% < f \leq 65\%$); 4) Vlažno ($65\% < f \leq 85\%$); 5) Vrlo vlažno ($f > 85\%$). Radi se o postupku koji je moguće pripisati bilo kojoj vrsti suše (meteorološkoj, hidrološkoj itd.) u ovisnosti od parametra u analizi.

S obzirom na to koja se znanstvena ili stručna grana bavi problematikom suša, postoje njene različite definicije i značajno različiti pristupi njenog analiziranja. U nastavku će biti iznesena četiri najčešća pristupa tretiranja suša od strane meteorologa, hidrologa, pedologa i poljoprivrednika.



Slika 1: Klasifikacija godišnjih oborina Osijeka (1882.—1993.) u pet razreda prema suhoći (vlažnosti)

Suša je u osnovici meteorološki fenomen koji se prvenstveno javlja kada su u nekom području oborine niže od prosjeka tijekom određenog vremena koje u principu mora biti duže od nekoliko mjeseci a može se protegnuti na nekoliko godina. Precizno definirati deficit oborina i vezati ga s kvantificiranjem suše je vrlo složen posao. Posljedice suše ne zavise isključivo o deficitu oborine. To se prije svega odnosi na poljoprivrednu proizvodnju. Tijekom jedne, sa stanovišta oborina vrlo sušne godine, moguće je da uopće ne dođe do podbačaja poljoprivredne proizvodnje u koliko oborine padnu tijekom vegetacijskog razdoblja a posebno u njegovim kritičnim fazama kao što su klijanje i cvjetanje, te neke druge razvojne etape biljaka kada je voda neophodna za njihov razvoj. Prema tome bitnu ulogu igra i raspodjela oborina tijekom vremena (godine) a ne samo njena količina. Očigledno je da se pojam prosječne oborine ne može vezati s pojmom prosječne žetve ili poljoprivredne proizvodnje kao što niti pojam deficita oborine izravno ne znači sušu u smislu poljoprivredne proizvodnje.

Sušu je uobičajeno stupnjevat u slijedeća tri mjerila s obzirom na prostor obuhvata: lokalnu, regionalnu i subkontinentalnu. Na području Europe ona je lokalna do regionalna ali u Africi a manjim dijelom i u Aziji poprima subkontinentalne dimenzije. Tzv. Sahelska suša trajala je od 1968. do 1985. a zahvatila je prostor od Mauritanije do Etiopije s tim da je bila kritična u slijedeća dva razdoblja: 1972.—1973. i 1983.—1984.

Suše se u principu ponavljaju s tim da se to najčešće i najpravilnije dešava u Africi. Znanost još nije otkrila i objasnila zakonitosti mehanizma nastajanja i ponavljanja suša.

Hidrolozi sušu najčešće procjenjuju s obzirom na smanjenje protoka u otvorenim vodotocima, razine vode u umjetnim i prirodnim jezerima kao i razine podzemne vode u odnosu na njihove prosječne vrijednosti (Boulanger, 1990.). O hidrološkoj suši detaljno je na hrvatskom jeziku pisao Bonacci (1993b.). Ovaj rad kao i 11 drugih vezanih sa sušama objavljeni su u okviru Zbornika radova Okruglog stola o suši održanog 28. XI. 1993. u Zagrebu u organizaciji Hrvatskog hidrološkog društva (1993.). Kako se ista materija ne bi ovdje ponavljala, čitaoc se upućuje na spomenutu literaturu.

Pedolozi i znanstvenici koji se bave izučavanjem tla sušu procjenjuju i određuju vezano sa smanjenjem infiltracijskih svojstava tla, čime se pojačava sušni karakter određenog područja. Pokusima (Albergel i sur., 1992.) u području Sahela i Sudansko-Sahelske regije, ustanovljeno je da infiltracijska svojstva tla zavise isključivo o uvjetima koji vladaju u površinskoj zoni tla te da na njih nikakav utjecaj nemaju ostali čimbenici kao što su intenzitet oborina i njihov raspored tijekom vremena te vlaga u tlu i količina infiltrirane oborine.

Zbog utjecaja suše travnati i grmoliki pokrov u prirodi se smanjuje, aktivnosti životinjskog svijeta zamiru ili gotovo nestaju a gola površina tla biva izložena snažnim utjecajima eolske i vodene erozije. Sve navedeno uzrokuje nagla pogoršanja općeg stanja okoliša koja su ponekad nepopravljiva barem u vremenskom mjerilu trajanja ljudskog života. Ova vrsta suše naziva se i edafičkom (edaphic). Uzrokovana je posljedicama meteorološke suše ali izravno zavisi i o načinu korištenja i obrade zemljišta. Poznato je da s povećanjem sadržaja vlage do određene mjere, u tlu raste kohezivna veza između čestica te one stoga teže mogu biti odnesene. Erodibilnost tla smanjuje se sa kvadratom povećanja količine vlage u tlu.

Agrotehnička (poljoprivredna) suša definira se u odnosu na potrebe biljaka za vodom. Javlja se onda kada su vodni resursi neophodni za poljoprivrednu proizvodnju nedostadni. Posljedice kratkotrajne suše koja se javlja poslije nekoliko kišom bogatih godina uobičajeno nisu toliko negativne kao u slučaju kad se suša pojavi poslije nekoliko beskišnih (u odnosu na prosjek) godina.

Meteorološka suša izaziva stres kod razvoja biljaka. Agrotehnička suša detaljnije određuje odnos nedostatka vode i razvoja prije svega kulturnih biljaka. Pri njenom određivanju neophodno je uzeti u obzir potrebe za vodom koje su uzrokovane ljudskim djelatnostima a odnose se na deficit vlage u tlu tijekom razdoblja razvoja biljke (vegetacijskog razdoblja). Suša u tom razdoblju uzrokuje poremećaje u poljoprivrednoj proizvodnji što može kao posljedicu imati čak i masovne socijalne, ekonomske, demografske i političke pritiske.

Kao primjer će se navesti da je 2001. godine u Afganistanu bila treća sušna godina u nizu. U razdoblju 1999.—2001. pala je trećina do polovina od prosječnih godišnjih oborina na prostoru površine oko 350 000 km², što predstavlja više od polovice ukupne površine ove zemlje koja iznosi 652 089 km² i ima 26,8 milijuna stanovnika. Spomenuta suša uz ratna razaranja koja traju posljednjih dvadesetak godina, a koja su uzrokovala uništenje oko polovice sustava za navodnjavanje u zemlji, izravno su utjecala da je iz Afganistana u spomenutom razdoblju izbjeglo oko 7,5 milijuna stanovnika.

Kada se razmatra poljoprivredna suša nije dovoljno raspolagati sa godišnjim iznosom oborina. Bitan utjecaj na poljoprivrednu proizvodnju vrši raspodjela oborina tijekom godine. Nerijetko se dešava da u sušnim godinama uz za poljoprivrednu proizvodnju povoljnu raspodjelu oborina tijekom vegetacijskog razdoblja nema nikakvih negativnih posljedica suše. S druge strane poznati su i takvi slučajevi da se javljaju posljedice poljoprivredne suše u meteorološki vlažnim godinama u kojima godišnje oborine mogu biti znatno veće od prosječnih na nekom području. Uzrok tome je

nepravilna raspodjela oborina tijekom godine, tj. njen izraziti manjak u vegetacijskom razdoblju posebno u kritičnim trenutcima klijanja, cvjetanja itd.

4. Suša i tlo

Dugoročno i globalno gledano, najveći rizik koji suša unosi u okoliš odnosi se na izazivanje ekološke neravnoteže u prostoru u kojem se ista javlja. Nestanak jedne vrste, obično one najosjetljivije na nedostatak oborina i vlage, vrlo često i vrlo brzo izaziva lančane posljedice u razaranju hranidbenog lanca, što u konačnici uzrokuje značajno smanjenje biološke raznolikosti i osiromašenje okoliša u svim njegovim vidovima.

Posljedice suše najočiglednije i najdrastičnije se odražavaju na pogoršanje svojstava površinskog sloja tla. Tlo predstavlja rezultat istovremenog djelovanja između površinskih stijena, topografije, meteorologije (oborina, temperature zraka i vjetra) te bioloških čimbenika. Pretvorba površinskog sloja stijena u plodno tlo a potom u tlo sušnog područja, postepen je i dugotrajan proces. U sušnim područjima, dakle tamo gdje je nedostatak vode stalno prisutan, proces pedogeneze je polagan, debljina tla malena a isto je bogato komponentama pijeska, šljunka i soli. Organske materije i humus vrlo su rijetki, što značajno utječe na formiranje specifičnih kemijskih i fizičkih svojstava tala u sušnim područjima.

Tla sušnih područja tvore posebne geološke oblike. Posebno u Australiji ali nerijetko u ostalim dijelovima svijeta javljaju se tzv. poligonalna tla. Radi se o 1 do 3 m visokim, međusobno razdvojenim humcima, oblikovanim na inače ravnim terenima. Vrlo često ovi su humci okruženi oblucima šljunka.

Pustinjska područja kao i ona neplodna u koje spadaju prostori golog Dinarskog krša, pokriveni su tvrdim pokrovnim slojem, koji može biti formiran od vapnenca, gipsa ili silicija. Vapnenačka kora pokriva oko 13 % kontinentalnih površina. Svojevrsna je sušnim područjima na koja prosječno padne 400 do 600 mm oborine godišnje a javlja se na europskom dijelu Mediterana, na Srednjem Istoku, polusušnom dijelu Indije, u južnim dijelovima SAD-a te na jugu i srednjem zapadu Australije. Vezano s prostorom Dinarskog krša Hrvatske treba naglasiti da na njegovom velikom dijelu a posebno južnije od sliva Like i Gacke, ali velikim dijelom i na prostoru Velebita, sa stanovišta količine godišnjih oborina nije moguće govoriti o sušnim područjima. Međutim, sve ostale karakteristike a posebno goli, krševiti tereni, tj. nepostojanje plodnog tla a time i vegetacije, svrstavaju ove prostore u sušna područja. Dobrim dijelom tome pridonose nepovoljni raspored oborina i temperatura zraka a mjestimično i snažni vjetrovi (prije svega bura), koji eolskom erozijom odnose tanki sloj površinskog plodnog tla onemogućavajući razvoj biljaka.

Stabilnost tla, tj. njegova otpornost na odnošenje eolskom ili vodnom erozijom izravno zavisi o količini organske materije i humusa u njemu. Ako dođe do nestanka humusa, što može biti izazvano čestim i dubokim oranjem ili pretjeranom ispašom, čestice tla gube kohezijska svojstva te bivaju vjetrom iznesena tijekom pješčanih (prašinastih) oluja. Pokazalo se da je erozija tla znatno povećana na područjima gdje se za oranje zemljišta koriste plugovi s više diskova. Primijećeno je posebno u Europi, da je erozija tla povećana ako se njihova obrada vrši dubokim oranjem te se uz to ne primjenjuje tzv. zelena gnojidba.

Uz sve nepobitne prednosti suvremene i intenzivne agrotehničke obrade zemljišta, ona je uzrokovala brojne i značajne probleme vezane prije svega sa povećanjem

erodibilnosti tla o čemu je prethodno bilo govora. To se dešava prvenstveno stoga jer je takovim načinom obrade zemljišta došlo do nesrazmjera sa prirodnim procesima koje su općenito gledano bili vrlo spori i uravnoteženi. Takovo je tlo osjetljivo i lako ranjivo. Stoga tu treba biti osobito pažljiv u izboru kulturnih biljaka koje se na njemu mogu uzgajati a da se pritom ne poveća njegova erodibilnost. Vrsta i količina navodnjavanja mogu također i to vrlo brzo i štetno utjecati na osiromašenje hranjivih sastojaka tla.

Intenzitet evaporacije u kombinaciji s razinom podzemne vode, mineralnim svojstvima tla ali i načinom navodnjavanja, mogu značajno i vrlo intenzivno utjecati na promjenu svojstava tla, misli se prvenstveno na onu u negativnom smislu. Nerijetko se dešava da se gips, kamena sol te sulfati i karbonati natrija i magnezija odlažu u gornjem (površinskom) sloju tla, mijenjajući mu tako strukturu i tvoreći tvrdi pokrov na kojem nije moguć uzgoj kulturnog bilja. Usporedo se rijetko javlja i zaslanjivanje tla prvenstveno zbog lošeg rješenja odvodnje. U sušnim područjima ovo je postao jedan od najaktuelnijih problema kojeg pokušavaju riješiti čak tri specijalizirane organizacije Ujedinjenih Naroda (UN): 1) Food and Agriculture Organisation (FAO); 2) United Nations Environment Program (UNEP); 3) United Nations Development Programme (UNDP).

5. Suša i vegetacijski pokrov

Istraživanja su pokazala da se prvi izolirani grmoliki oblici vegetacije javljaju na prostorima gdje prosječno godišnje padne oko 100 mm do 150 mm oborine što zavisi o temperaturama zraka ali i o rasporedu oborina tijekom godine. Nastavno će biti govora isključivo o svojstvima vegetacijskog pokrova koji ima značenje za ljudske djelatnosti. Važno je naglasiti da potencijalne mogućnosti razvoja vegetacije na područjima gdje prosječno godišnje padne od 350 mm do 400 mm oborine zavise od prirodnih svojstava tla te da na tim prostorima uzgoj kulturnog bilja nije moguć bez navodnjavanja. Način korištenja zemljišta ovdje je od ogromnog značenja kako za mogući uzgoj kulturnog bilja tako i za njegovu zaštitu od erozije. Kako se na ovim područjima vrlo često i jedino vrši uzgoj stoke, veliku opasnost predstavlja nekontrolirana i pretjerana ispaša.

Nasuprot općem mišljenju, pustinje nisu u cijelosti i uvijek gole. Najčešće vegetacijski pokrov predstavlja trava i grmoliko bilje koje pokriva oko 59 % površine. Na svim zemljopisnim širinama od tropskih do umjerenih, sušna područja posjeduju tzv. otvoreni vegetacijski pokrov. Pod pojmom otvorenog vegetacijskog pokrova podrazumijeva se takav sklop biljaka (stabla, grmlja i trave) unutar kojeg postoje goli prostori. Uzroci diskontinuiteta vegetacijskog pokrova su dvojaki. Prvi je vezan s nedovoljnom opskrbljenošću vlagom uzrokovanom nedovoljnom količinom oborina i njenom nepovoljnom raspodjelom, što je sve povezano s nedostatnom infiltracijom vode u tlo. Spomenuta infiltracija kontrolirana je strukturom površine terena te raspodjelom oborina iznad nagnutih terena i ravnica. Drugi razlog predstavljaju niske temperature koje nepovoljno utječu na korištenje vode iz tla od strane biljaka uzrokujući kombinaciju suše i hladnoće, tj. sušu u hladnim područjima.

Nepravilna raspodjela biljaka utječe na promjenu fizičkih i kemijskih svojstava tla i pogoršava njegovu prostornu heterogenost. Tla su bogatija ako su pokrivena vegetacijom nego ako su gola. Brojni istraživači su ustanovili da se u tlima pokrivenim biljkama nalaze veće koncentracije zamjenjivih kationa (natrija i kalija), organskog ugljika i dušika. Raspadanje organske materije ubrzano je u okolici biljaka zbog hlada, veće vlažnosti i bioloških aktivnosti.

Promjenjivost dinamike odnosa vode na i u tlu, različitost koja je vidljiva u prostoru posebno u raspoloživosti vode za rast biljaka vodi ka heterogenosti vegetacijskog

pokrova i djelovanju različitih komponenti fitocenoz. Fitocenoze se definiraju kao vrste vegetacijskih zajednica organiziranih u prostoru. One su rezultat djelovanja niza promjenjivih parametara koji uzrokuju brojne karakteristične odgovore a koji dopuštaju identifikaciju struktura. Mozaički izgled vegetacijskog pokrova na sušnim prostorima rezultat je postojanja različitih uvjeta na malim dijelovima površina zbog čega se i vegetacija na njima nalazi u raznim fazama razvoja ali i u stanju nestabilne ravnoteže.

Floret i Pontavir (1982.) dijele biljke u dvije grupe u odnosu na njihovu prilagodljivost suhoći i suši. Prve su aridno-pasivne vrste kod kojih je fotosintetičko tkivo neaktivno tijekom sušne sezone. Kod jednogodišnjih biljaka vegetacijski je ciklus ograničen na sezonu u kojoj se javljaju oborine. Sjemenke su im otporne na isušivanje tijekom sušnog razdoblja. Trajna vegetacija gubi lišće tijekom sušne sezone te brzo ponovo pokreće svoje rezerve s početkom nove kišne sezone. Druge su aridno-aktivne vrste koje imaju na raspolaganju rezerve vode koje im dozvoljavaju funkcioniranje u smanjenom iznosu tijekom suše te im osiguravaju održavanje cjelokupne biomase tijekom cijele godine. Tu prije svega spadaju otporne vrste čije je svojstvo mali broj stomata i mali listovi, najčešće oblikovani kao trnje. Postoje kao stabla, grmovi i jednogodišnje biljke.

U odnosu na procese klijanja i korištenja vode, flora suhih područja dobro je prilagođena na sušu. Jednogodišnje biljke proizvode velike količine sjemena sposobnog da dugo bude u latentnom stanju te da daje plod upravo prije kraja kišne sezone. Trajna vegetacija je prilagođena suši preko svog korijenovog sustava, koji se razlikuje među vrstama i zavisi o debljini pokretnog sloja. Postoje dvije vrste korijena: površinski i dubinski. Prvi je razvijen tako da sakuplja uglavnom površinsku vodu a dubinski iskorištava vodu iz podzemnih vodonosnika. Jedna od najvažnijih prilagodbi korijenovog sustava na sušu je njegova doslovno golema dužina što rezultira činjenicom postojanja malog broja jedinki na velikom prostoru. Reprodukcijska trajna vegetacije vrši se preko sjemena ili izboja ili na oba načina.

Djelatnosti čovjeka u sušnim područjima na različite načine i s različitim intenzitetom utječu na vegetacijski pokrov u sušnim ali i u drugim područjima.

Većina se stručnjaka slaže da nekontrolirana sječa šuma i to prvenstveno za potrebe domicilnog stanovništva predstavlja najmasovniji i najrazorniji uzrok nestanka vegetacije prije svega u sušnim područjima. Sa sječom jednog stabla dolazi do nestanka uvjeta za razvoj biocenoze na širem prostoru. Prema FAO-u šume su definirane kao područja površine veće od 10 ha na kojem stabla (drvolika vegetacija viša od 7 m) pokriva više od 10 % terena. Ista organizacija je procijenila da 1990. godine šume pokrivaju 1715 milijuna hektara kopna na Zemlji. Od toga se 246 milijuna ili 14 % nalazi u sušnim područjima. Većina ovih šuma se nalazi na ravničarskim terenima čija nadmorska visina ne prelazi 800 mm.

Najmasovnija sječa šuma dešava se u područjima oko seoskih naselja čime se ubrzano osiromašuje okoliš baš na onim prostorima gdje bi trebao biti sačuvan. Besmislica je da ovo osiromašenje uzrokuju upravo oni koji izravno pate od njegovih posljedica. U većini slučajeva radi se o najsiromašnijim dijelovima Zemlje koji nisu opskrbljeni električnom energijom, čime se izravno utječe na povećani intenzitet sječe šuma za korištenje drva u domaćinstvima. Šansa za smanjivanje sječe šuma je u izgradnji solarnih sustava za korištenje sunčeve energije. Na taj način postiže se veći broj pozitivnih ciljeva od kojih su slijedeća četiri najbitnija: 1) nezavisnost od konvencionalne energije; 2) smanjenje sječe šume; 3) smanjenje potreba teškog rada žena i djece na sakupljanju i donošenju drva za loženje; 4) smanjenje zagađivanja zraka dimom koji je vrlo opasan za pluća. Međutim, čini se da je ipak najbitnije spriječiti

pretjeranu sječu šuma kako bi se održala biološka raznolikost prostora i spriječila drastična erozija kao izravna posljedica sječe. Osnovna prepreka masovnoj primjeni solarne energije leži u činjenici što se radi o krajnje siromašnim područjima gdje stanovništvo ima tako nizak dohodak da nije u mogućnosti ni instalirati niti održavati ovakve sustave.

Drugi razlog slabljenja vegetacijskog pokrova leži u planiranim i slučajnim (nesretnim slučajevima) šumskim požarima. Ovi požari unište humusni pokrov koji pomaže zadržavanju vode, minerala i mikrobioloških organizama u gornjem sloju tla što je od velikog značaja za podržavanje i omogućavanje razvoja vegetacije.

Treći razlog je vezan s pretjeranom i nekontroliranom sječom grana. Do ovog procesa dolazi u predjelima gdje se uzgaja stoka. Tijekom sušne sezone nestane trave bitne za prehranu stoke. Pastiri tada pribjegavaju masovnoj sječi grana na kojima se nalazi zeleno lišće, pogodno za prehranu stoke. Nerijetko se dešava da se s istom svrhom posiječe cijelo stablo ili cijela krošnja, čime se nanosi nenadoknativa šteta.

Četvrti razlog masovnog nestanka vegetacijskog pokrova na nekom prostorima vezan je s procesima krčenja terena za potrebe povećane poljoprivredne proizvodnje. U većini nerazvijenih zemalja ali dijelom i u zemljama u razvoju pa čak i u razvijenim zemljama dešavaju se procesi da se poljoprivredno zemljište neodgovarajuće obrađuje a prije svega nedovoljno gnoji. Rezultat toga je da zemljište poslije 5 do 10 godina postane iscrpljeno i neplodno te se obično privremeno napušta s gledišta poljoprivredne proizvodnje. Narijetko se, posebno u nerazvijenim zemljama, dešava da se cijela sela zbog toga presele te da se isti proces kontinuirano nastavlja.

Općenito se može reći da se sušna područja značajno razlikuju u odnosu na stupanj deficita vode koji utječe na postojanje ili nedostatak vegetacijskog pokrova. Dodatni čimbenik koji utječe na razvoj vegetacije je temperatura zraka. U hladnim, sušnim područjima mraz predstavlja ograničavajući čimbenik za rast biljaka i pedogenezu.

Osjetljivost i ranjivost vegetacijskog pokrova sušnih područja rezultat je njegove slabe otpornosti i stabilnosti. To je odraz njihove zavisnosti o oborinama ali i njihovog kapaciteta za opstanak kada se pojave uvjeti povoljni za razvoj.

Mnogi znanstvenici, posebno posljednjih desetak godina, smatraju da je loše stanje vegetacijskog pokrova sušnih područja znatno više rezultat ponovljenih suša koje su uzrokovale degradaciju cijelog ekosustava, nego nepovoljnog djelovanja rada čovjeka. S današnjim stanjem znanja i podloga nije moguće donijeti pouzdane zaključke u tom smislu. Razlog tome leži i u činjenici što je antropogene učinke vrlo teško realno odvojiti od prirodnih.

Prostorni položaj sušnih područja, njihova svojstva i njihova siromašna tla kao i slab vegetacijski pokrov, dovoljan su razlog da ih se svrsta u područja visokog rizika. To prije svega znači da se za korištenje njihovih resursa trebaju primjenjivati posebna ograničenja.

6. Ograničenost resursa sušnih područja

Na sušnim područjima razvijeni su posebni ekosustavi prilagođeni siromašnim tlima, nedostatku vode i vrlo često ekstremnim klimatskim uvjetima. Kao rezultat brojnih nepovoljnih utjecaja ovaj okoliš raspolaže ograničenim biološkom resursima koji su osim toga i jako osjetljivi, tj. lako ranjivi. Zbog toga je ovdje koncept održivog razvoja,

o kojem se danas mnogo govori i kojem se teži, posebno teško i teorijski odrediti a kamo li ostvariti u praksi.

U sušnim područjima, kao i u ostalim prostorima, ograničenja mogu biti fizička (priroda) ali i ljudska (financijska, ekonomska, socijalna, zakonska, religijska, kulturološka i politička). Nastavno će biti govora samo o hidrološkim ograničenjima te nešto malo i o ograničenjima koja uzrokuje eolska erozija. Već je i laiku jasno da je organizacija života i postizanje ciljeva održivog razvoja izvanredno težak zadatak na područjima koja pate od nedostatka i lošeg rasporeda oborina a uz to su izložena čestim udarima snažnih vjetrova. Život na takovim prostorima nije ni malo lagan i ne pruža velike šanse njegovim stanovnicima.

Ako se na okoliš gleda kao na okvir za život, prije svega ljudi, tada je za njegov održivi razvoj neophodno prvenstveno ustanoviti inventar njegovih resursa koji čovjeku mogu poslužiti za ispunjavanje njegovih potreba i zahtjeva. Na čovjeka se ondje gleda kao na razumno i odgovorno biće koje će voditi računa o prirodnoj ravnoteži, o biološkoj raznolikosti, tj. o okolišu u cjelini a ne isključivo o svakom lakom, brzom i kratkotrajnom profitu. Nažalost, svjedoci smo da se u praksi vrlo često (prečesto) postupa suprotno te da lijepe i plemenite riječi izgovorene a govornicama (političkim i znanstvenim) nemaju nikakvih pozitivnih rezultata u primjeni. Radi se o procesu prisutnom u cijelom svijetu a moglo bi se reći da je on intenzivniji u njegovom bogatom i razvijenom dijelu nego u onom siromašnom. Međutim, globalizacija i moćni međunarodni kapital danas upravljaju apsolutno cijelim svijetom, ostavljajući svima ostalima vrlo malo prostora za djelovanje.

Prostorna raspodjela stanovništva na zemlji a time i njegovo djelovanje, drastično su se izmijenili u posljednjih nekoliko desetaka godina uz napomenu da se ovaj proces ne smiruje nego bitno ubrzava. Misli se prije svega na koncentraciju ljudi u gradovima i posebno megapolisima. U sušnim područjima ovaj je proces posebno drastičan jer su manji, srednji, veći i veliki gradovi jedan od drugog odvojeni prostranim i najčešće pustim područjima (nerijetko pravim pustinjama). Pustoća ovih prostora rezultat je povremenog gubitka plodnosti tla ili ekonomskih slabosti koje onemogućavaju njegovo korištenje. To je razlogom da je nekadašnja prostorno homogena geografije danas zamijenjena geografijom mrežnog (točkastog) tipa u koju su uključene pustinje u smislu prostora na kojima je čovjek vrlo rijetko nastanjen.

Koncept resursa okoliša zavisi o ekosustavu, tj. o klimi, geografskim svojstvima (reljefu, hidrografiji, insolaciji, odnosu vodenih i kopnenih površina, itd.), o povijesnom razvoju, kulturnom blagu i drugo. Prirodni i ljudski resursi sušnih područja mogu biti klasificirani u odnosu na njihovu složenost prema slijedeće četiri podjele:

- 1) stalni resursi;
- 2) obnovljivi resursi;
- 3) neobnovljivi resursi;
- 4) ljudski resursi.

Stalni resursi mogu biti degradirani pogrešnim upravljanjem. Radi se o solarnoj energiji, energiji vjetrova, gravitaciji, energiji valova i geotermalnoj energiji. Izvanredna količina insolacije u pustinjama nažalost je bezvrijedna (pa i štetna) za razvoj vegetacije od koje niti ostali ekosustavi ne mogu profitirati u dovoljnoj mjeri.

Obnovljive resurse razmatra se prvenstveno unutar vremenske skale trajanja ljudskog života. Njima bi se trebalo upravljati na taj način da intenzitet djelatnosti čovjeka i prirodnih degradacijskih procesa ne pređe njihove kapacitete obnavljanja. Pod ove

resurse ubrajaju se: zrak, slatka i slana voda, tla te flora i fauna. Ovi resursi su obnovljivi u povijesno vremenskom mjerilu, ali nisu neograničeni u planetarnom mjerilu.

Neobnovljivi resursi na Zemlji se ili u nekom njenom području nalaze u ograničenim količinama ili se obnavljaju znatno sporije u usporedbi s količinama koje se troše. Među njih spada većina mineralnih resursa s posebnim naglaskom na tzv. fosilne podzemne vode. Radi se o vodama koje su se infiltrirale u vodonosnike tisućama i desecima tisuća godina. Najpoznatiji i jedan od najvećih takvih vodonosnika je tzv. kontinentalni umetnuti horizont u Sahari iz kojeg se upravo sada u prostoru Libije vade velike količine vode. U ovom trenutku crpi se oko $50 \text{ m}^3/\text{s}$ vode a u planu je crpiti čak do $65 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ljudski su resursi suštinski povezani s prirodom čovjeka. Znanje, institucije i sustav upravljanja koji koristi tri su najbitnije kategorije ovih posljednje navedenih resursa. Na sušnim područjima gustoća stanovništva je niska a kreće se od 1 do 10 stanovnika na m^2 u polusušnim područjima južno od Sahare. Najčešće se radi o nomadima koji često mijenjaju prostor na kojem obitavaju. Svojstva ljudskih resursa znatno se razlikuju od svojstava ostalih spomenutih resursa a mogu se rasporediti u slijedeće četiri skupine: 1) mogućnost izvanredno brzog širenja u prostoru; 2) svojstvo snažnog razlikovanja; 3) veliki potencijal množenja; 4) kapacitet do danas nepoznat u povijesti živih bića, brzog povezivanja i organiziranja.

Navedena svojstva ljudskih resursa a posebno demografska ekspanzija tijekom dvadesetog stoljeća, imali su i negativnih posljedica koje su se najviše odrazile upravo na degradiranje okoliša u sušnim područjima, što je uzrokovalo nestašicu hrane, glad a time i smrt, raseljavanje i smanjenje broja stanovnika na tim područjima.

Općenito se može zaključiti da sušna područja na Zemlji raspolažu s većim količinama stabilnih resursa, prije svega vjetra i sunčane energije, od ostalih prostora. Međutim oba im spomenuta resursa donose brojne poteškoće u organizaciji proizvodnje i života. Razlog tome je što su oni značajno utjecali na smanjenje količina i ranjivost obnovljivih resursa a prije svega vode, tla, faune i flore. Vezano na neobnovljive resurse, sušna područja su također u nepovoljnom položaju. Čak i tamo gdje na raspolaganju stoje velike količine minerala, njihovo vađenje i transport do središta prerade teško je i skupo. Fosilne vode, s kojima ovi prostori raspolažu, u značajnim iznosima skupe su za opskrbu vodom jer se nalaze na velikim dubinama. Kada ove vode jednom budu iskorištene nastupit će potpuna blokada razvoja. Ljudski resursi u sušnim su područjima manji nego u ostalim dijelovima Zemlje. Globalno zagrijavanje u tom smislu i dalje utječe na smanjenje broja stanovnika.

Prethodno provedena analiza navodi na zaključak, da sušna područja pružaju čovječanstvu brojne resurse usprkos istovremenom postojanju znatnih ograničenja. Ljudskom duhu to je uvijek predstavljalo izazov koji je on do sada uglavnom uspješno rješavao.

Voda zajedno sa svjetlosti, zrakom i temperaturom, predstavlja osnovicu života. Suvremena društva organizirana su tako da za svoj socijalni i ekonomski razvoj trebaju doslovno goleme količine vode. Ta činjenica stavlja sušna područja u tešku situaciju upravo zbog nedostatka vode i njenog nepovoljnog rasporeda u prostoru i vremenu. Nedostatak površinskih kao i lakše dostupnih podzemnih voda odlučujući je čimbenik ograničenja razvoja ovih prostora.

7. Hidrološka svojstva suhih područja

Specifična hidrološka svojstva suhih područja moguće je sažeti u slijedećih sedam tvrdnji (Thornes, 1994): 1) Oborine su vrlo intenzivne, njihov godišnji iznos je malen a one padaju u neregularnim razmacima s izrazito nepravilnim počecima kišne sezone i visokim varijabilitetom između godine.; 2) Kada kiša padne na dijelom golo i zbijeno tlo to utječe na smanjenje infiltracije te povećanje isparavanja, tj. gubitaka; 3) Infiltracija snažno zavisi o svojstvima površinskog sloja tla. Posebno nepovoljni za veličinu kapaciteta infiltracije su gole stijene te stjenovita i solju bogata pjeskovita tla a na nju utječe i površinska hrapavost. Negativan utjecaj ima stvaranje površinske kore od algi kao i prekrivanje tla pokoricom uslijed sušenja ili drugih razloga. Na povećanje kapaciteta infiltracije utječe određena vrsta vegetacije i njen sklop te prisustvo organskih otpadaka u tlu; 4) Gubici isparavanjem zavise o pritisku vode u tlu, njenom pedološkom profilu, te atmosferskim i klimatskim čimbenicima. Thornes (1994.) je procijenio da isparavanje vode iz površinskog sloja tla u vrućim, pustinjским krajevima može iznositi od 1500 do 2000 mm godišnje. Na dubini od 2 m opada na 100 mm godišnje a na dubinama većim od 3 m postaje zanemarivo; 5) Kratkotrajno preplavlivanje terena javlja se ubrzo nakon intenzivnih oborina; 6) Površinsko otjecanje traje kratko a zavisi o veličini oborine i o gubicima vode unutar aluvija; 7) Podzemne vode ponašaju se po istovjetnim principima kao i u umjerenom klimatskom pojasu s tim da je otjecanje podzemne vode dominantno u odnosu na otjecanje površinske vode.

Glavne poteškoće preživljavanju u suhim područjima stvara nedostatak oborina. Otkrivanje a potom i iskorištavanje prvenstveno podzemnih voda vrlo je teško. Najčešće se raspolaže s malim količinama dostatnim za piće i kućanske potrebe a nedovoljnim za navodnjavanje. Poteškoće vezane s oborinama ne leže samo u njihovim nedostatnim iznosima već i u dugim razmacima između kišnih epizoda te njihovom velikom vremenskom i prostornom varijabilnošću. Nerijetko se dešava da kiše u pustinjским područjima ne padaju nekoliko godina a da jedna kišna epizoda bude tako snažna da izazove poplavu. Takav se slučaj desio u Kairu i u studenom 2001. u gradu Alžiru a nerijetko se dešava u brojnim gradovima pustinjskog dijela SAD-a.

Nedostatne količine oborina uzrokovane su rijetkim oblikovanjima i pojavljivanjima fronti ali i postojanjem topografskih prepreka koje onemogućavaju prodor vlažnih zračnih masa na sušna područja. Ostali razlozi su dinamičko, termalno i orografsko slijeganje (uleknuće). Dinamičko slijeganje uzrokovano je zračnom strujom koja ide sa zapada na istok na visini od 12 km, a koja pritišće i drži hladni zrak na višim zemljopisnim širinama pri površini terena, uzrokujući istovremeno dinamične tropske anticiklone, koje stacioniraju iznad pustinja. Termalno slijeganje rezultat je činjenice da iznad hladnih površina zrak postaje gušći i stoga pada na površinu terena, čime se može objasniti topla zimska anticiklona iznad Sibira. Orografska slijeganje uzrokovano je površinskim, morfološkim oblicima a prije svega planinskim lancima. Na zavjetrinskoj strani orografskih prepreka, zrak se spušta postajući suh zbog tzv. učinka fena. U nekom slučajevima to uzrokuje stvaranje pustinjских područja u planinskim predjelima. Primjeri za to se nalaze u zapadnim područjima SAD-a i Peruu.

Sharon (1972.) opisuje jedan posebni fenomen koji se javlja u hiperaridnim područjima Izraela, gdje godišnje prosječno padna manje od 50 mm oborine. Ustanovljeno je da područje Nahel-Yeal, površine nekoliko stotina kilometara kvadratnih, dobiva oko 50 % do 60 % oborina lokalnog porijekla. Ove oborine se oblikuju i padaju iz oblačnih sustava konvekcijских ćelija promjera od oko 5 km koje su međusobno jasno odvojene u prostoru. Čelije su nepravilno raspoređene i pokrivaju samo oko 20 % površine neba

svaki dan. Najizraženije se javljaju krajem ljeta i tijekom jeseni, zimi je raspodjela kiša jednolikija.

U sušnim Saharskim područjima postoje dvije vrsta oborina. Prve su oborine malog i srednjeg intenziteta koje traju nekoliko sati te su jednoliko raspodijeljene u prostor. Druga vrsta oborina odnosi se na one koje su jako intenzivne a traju nekoliko minuta te su oblikovane u ćelijama.

Na oblikovanje sušnih područja i suša snažan utjecaj ima velika i nepredvidiva varijabilnost oborina u prostoru i vremenu. Primjer za to su pustinje u tropskim područjima gdje padaju relativno značajne količine oborina čija je godišnja varijabilnost veća od 40 %. U području Sahare varijabilnost godišnjih oborina kreće se od 80 % do 150 %. Veliki varijabilitet pojave oborina utječe negativno ne samo na razvoj vegetacije već i na pojačanje erozije koja je ključna za proces dezertifikacije (opustošenja).

Margat (1992.) je vodne resurse površinskih i podzemnih voda u sušnim područjima podijelio u tri klase. U prvu klasu smješteni su površinski vodni resursi i podzemne vode vezane uz njih. U drugu klasu ubraja pretežno obnovljive vodne resurse koji imaju potencijal za eksploataciju dovoljan za namirenje stalnih potreba za vodom u nekom području. U treću klasu spadaju neobnovljivi vodni podzemni resursi. U našim krajevima ovoj podjeli trebalo bi pridodati i pojmove statičkih i dinamičkih rezervi podzemnih voda. Pod pojmom statičkih rezervi podrazumijevaju se one podzemne vode koje se nalaze ispod razine izvora, tj. mjesta istjecanja i na koje se u visinskom smislu nastavljaju dinamičke rezerve. Sa stanovišta održivog korištenja podzemnih voda bilo bi optimalno koristiti samo dinamičke rezerve ili obnovljivi dio statičkih rezervi podzemnih voda. Obnovljivi dio statičkih rezervi promjenjiv je iz godine u godinu i zavisi o količini godišnjih oborina, njihovom rasporedu tijekom godine a posebno o varijabilitetu intenziteta. Velike količine oborina pale u jednom intenzivnom pljuskju tijekom vruće, ljetne sezone, s ukupnom količinom koja može biti reda veličine prosječna godišnje oborine, vrlo malo utječe na povećanje rezervi podzemnih voda. Gubici na evaporaciji i površinskom otjecanju su u tom slučaju izrazito veliki. Za obnavljanje rezervi podzemnih voda mnogo su bitnije oborine koje podnu u hladnom razdoblju kad su koeficijenti otjecanja značajniji. Kao dobar primjer navodi se da je na izvoru Gradole (Bonacci, 2001.) tijekom 1990. izmjeren srednji godišnji protok od $1,430 \text{ m}^3/\text{s}$ a da je na slivu pala godišnja oborina od 1003,7 mm. Nasuprot toj godini 1994. godine palo je 828,1 mm kiše ili 175,6 mm manje (oko 20 % manje) a srednji godišnji protok je bio $2,285 \text{ m}^3/\text{s}$ ili $0,855 \text{ m}^3/\text{s}$ više (oko 40 % više). Razlog leži isključivo u činjenici različite raspodjele oborina tijekom godine. U po oborinama sušnoj ali po protocima (dakle i punjenju rezervi podzemnih voda) vlažnoj 1994. godini, glavina oborina je pala tijekom hladnog razdoblja. U po oborinama vlažnoj ali po protocima vrlo sušnoj 1990. godini većina kiše je pala u ljetnom razdoblju u obliku intenzivnih pljuskova. Tada su koeficijenti otjecanja izrazito niski i kreću se od 0,01 do 0,2. U zimskom razdoblju njihove vrijednosti prelaze iznos od 0,9.

Površinsko otjecanje u sušnim predjelima karakterizirano je kratkotrajnošću, nepravilnošću, velikom brzinama, nepostojanjem jasno izraženih granica sliva, pojavom plavljenja nejasno izraženih obala, tečenjem pod površinom u aluvijalnim ili epikrškim slojevima. U sušnim područjima prevladavaju tzv. alohtoni otvoreni tokovi čija su osnovna svojstva da stalno iz svojih korita gube vodu procjeđivanjem u podzemlje, tj. razina podzemne vode je stalno ili velikim dijelom godine ispod razine dna korita. Prema tome ovi vodotoci oblikuju se u izvorskom dijelu sliva gubeći postepeno vodu u nizvodnom toku u kojem nikako ili vrlo rijetko primaju pritoke koji su najčešće bujični tokovi. Najpoznatiji alohtoni vodotoci su Nil i Jordan. Međutim, treba naglasiti da i neki naši krški

vodotoci ako ne u cjelini ali ono barem na nekim svojim dijelovima mogu biti karakterizirani kao alohtoni. Misli se prije svega na Zrmanju a potom i na dijelove Krke, Like i Gacke. Radi se o tzv. visećim dionicama rijeka na kojima u koritu postoje brojni mali ponori kroz koje se voda infiltrira u krško podzemlje do razine podzemnih voda koja može biti desetak metara ispod razine dna korita vodotoka. U našim se uvjetima nerijetko dešava da se vode koje poniru na spomenutim visećim dionicama vrata u nizvodnom dijelu istog ili nekog drugog vodotoka. Gubici iz pojedinih dionica vodotoka najveći su tijekom sušnog vrućeg razdoblja kada su potrebe za vodom najveće. Kod alohtonih tokova koji prolaze kroz sušna područja, gubici vode na isparavanju su veliki posebno tijekom ljeta.

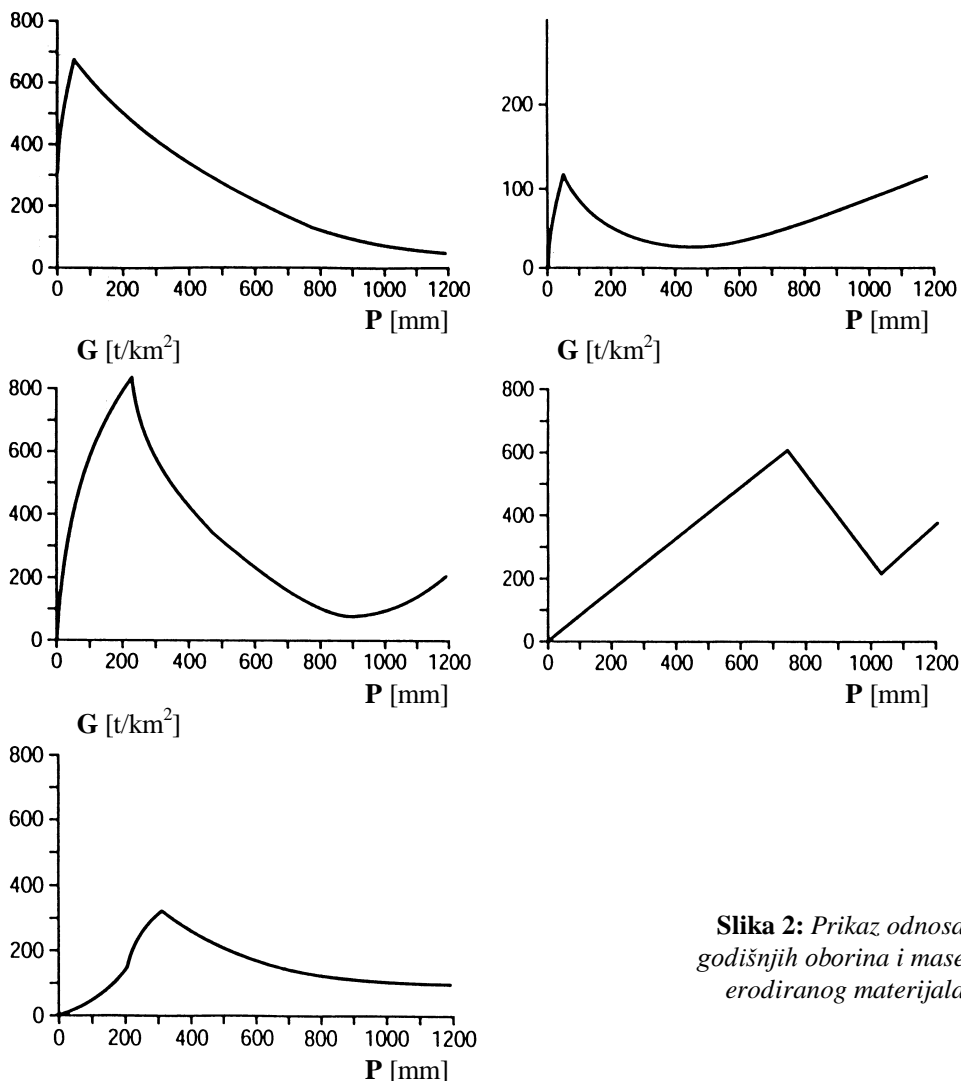
Pri oblikovanju površinskog otjecanja, dakle otvorenih vodotoka, a time i za procese prihranjivanja podzemnih voda u sušnim područjima, ključnu ulogu igra otjecanje vode niz kosine. Ovaj je proces bitan stoga jer vrlo rijetko postoje izražene izvorske zone ili pojedinačni jaki izvori kod vodotoka u sušnim područjima. Međutim, tečenje po kosinama, kako ono površinsko, tako i ono podpovršinsko, osim uloge oblikovanja i prihranjivanja površinskih vodotoka, utječe na oblikovanje erozijskih procesa posebno izraženih na kultiviranim poljoprivrednim površinama. Paradoksalna je činjenica da tečenje po kosinama kao i ono u glavnim riječnim koritima, predstavljaju osnovne sile koje pospješuju eroziju. Mainguet (1999.) je na slici 2 dala pet prikaza odnosa godišnjih oborina (ucrtanih na apscisi) i mase erodiranog materijala (ucrtane na ordinati). Godišnje oborine date su u mm a količina erodiranog materijala u t/god. Radi se o rezultatima dobivenim od strane različitih istraživača na raznim sušnim područjima u svijetu. Uočljivo je da su neke zakonitosti od općeg značenja. Uvijek se javlja neka godišnja oborina kod koje se postiže maksimalni iznos erodiranog materijala. Razlog tome prvenstveno leži u činjenici što je s povećanjem godišnjih oborina vezana i potencijalna mogućnost razvoja vegetacije koja vrlo učinkovito sprječava eroziju na širim prostorima i u globalnom smislu.

U sušnim područjima (važno je naglasiti relativno rijetko), pojavljuju se i oblikuju stalna i povremena tijela vode (jezera, močvare, jezercica, lokve itd.). Zbog male čestine ona predstavljaju posebno vrijedne prostore koji vrše niz različitih funkcija ključnih u sušnim područjima. Kao prvo preko njih se prihranjuju podzemni vodonosnici. Ovi prostori služe za retencioniranje poplavnih hidrograma čime se značajno ublažavaju posljedice rijetkih ali vrlo destruktivnih poplava u sušnim područjima. Zbog smanjenja brzine tečenja u ovim se prostorima smanjuju erozijski procesi te dolazi do taloženja nanosa ali i hranjiva u masi vode. Kao rezultat postojanja vlage i hranjiva ovi su prostori mjesta na kojima je omogućen život brojnim biljnim i životinjskim vrstama. Ona predstavljaju prostore na kojima je često na maloj površini koncentrirana ekstremno velika biološka raznolikost što im daje posebnu vrijednost. Kako su ona nerijetko izolirana, tj. jako udaljena od ostalih sličnih prostora na njima se razvijaju endemske biljne i životinjske vrste.

Podzemne vode predstavljaju najstabilniju i najrasprostranjeniju bazu slatkih voda te su kao takove i najintenzivnije korišteni resurs na Zemlji. Procije njeno je (Guillemin

G [t/km²]

G [t/km²]



Slika 2: Prikaz odnosa godišnjih oborina i mase erodiranog materijala

i Roux, 1992.) da se u svijetu godišnje crpi oko 700×10^9 m³ podzemnih voda što predstavlja više od 20 % svih slatkih voda koje čovjek koristi za sve svoje djelatnosti. Treba naglasiti da je ta vrijednost znatno veća u sušnim područjima gdje su sve pa i podzemne vode rjeđe a uz to se javljaju znatno nepravilnije, kako u prostoru tako i u vremenu.

U izrazito sušnim kao uostalom i u drugim područjima, podzemne se vode dijele na autohtone i alohtone. Autohtone nastaju prihranjivanjem infiltracijom kroz korita stalnih ili povremenih vodotoka, jezera ili močvara a u manjoj mjeri su podzemni vodonosnici formirani infiltracijom oborinskih voda. Prihranjivanje vodonosnika oborinskim vodama značajno zavisi o tome u kojem razdoblju godine i s kakvim intenzitetom padaju oborine na nekom području. Vezano s tim podsjeća se čitaoc na prethodno navedeni primjer krškog izvora Gradole u Istri koji se prihranjuje iz krškog vodonosnika. Prihranjivanje vodonosnika zavisi osim toga i o litološkoj strukturi podloge vodotoka, stanju njegovih obala ali i o trajanju i prostoru obuhvata poplava. Alohtone podzemne vode imaju svoje

izvorno porijeklo u prostorima koji mogu biti manje ili više (čak i stotinama kilometara) udaljeni od lokacije vodonosnika. Radi se najčešće o dugotrajnim procesima koji mogu obuhvatiti razdoblja trajanja stotinu pa i više godina.

Loup (1974.) je vodonosnike podzemnih voda podijelio na slijedeće tri vrste: 1) vodonosnici u aluvijalnim slojevima; 2) lateralni vodonosnici prihranjivani stalnim vodotocima te stoga locirani ispod njihovih korita; 3) duboki vodonosnici. Vodonosnici u aluvijalnim slojevima nazivaju se i podzemnim tokovima a rezultat su infiltracije vode tijekom poplava na cijelom plavljenom području koje se općenito poklapa s prostorom na kojem se nalaze aluvijalni talozi. Za korištenje ovakvih podzemnih voda u sušnim područjima nerijetko se grade podzemne brane kojima se one zaustavljaju, podiže im se razina te se sprječava njihovo nizvodno otjecanje, najčešće u more. Lateralni vodonosnici slični su po svom postanku prethodno spomenutim vodonosnicima, oblikovanim u aluvijalnim naslagama. Takovi vodonosnici se javljaju ispod propusnih dionica krških vodotoka ali na pr. i ispod rijeka kao što je Nil. Duboki vodonosnici među koje spadaju i vodonosnici koji sadrže fosilne vode zahvaćene su u geološkim slojevima raspucalih i propusnih stijena koji se nalaze između nepropusnih formacija. Nerijetko se radi arteškim podzemnim vodama.

Resursi podzemnih voda kontrolirani su bilancom riječnih voda koja zavisi o oborinama, koeficijentima otjecanja i infiltracije, površinskom i podzemnom tečenju, evapotranspiraciji, variranju rezervi vode u snijegu i ledenjacima, spuštanju i podizanju razine vode u jezerima i močvarama ali i u drugim čimbenicima koji su vezani s geološkim, klimatskim, pedološkim i ostalim procesima. Općenito se može reći da bilanciranje podzemnih voda predstavlja krajnje složen i upitan zadatak koji nije moguće riješiti bez detaljnih i skupih terenskih mjerenja u koja moraju biti uključena mjerenja razine podzemnih voda u brojnim piezometrima.

Postupak bilanciranja podzemnih voda u slučaju dubokih i arteških voda ali ne samo kod njih, osloženjen je činjenicom da je jedinica njihovog hidrološkog ciklusa znatno duža od jedne godine, dakle od razdoblja na koje su prilagođeni svi pristupi, modeli i metode klasične hidrologije a koji uglavnom daju zadovoljavajuće rezultate kod analize plitkih lateralnih vodonosnika.

U najsušnijim područjima Zemlje punjenje podzemnih vodonosnika vrši se vremenski diskontinuirano. Uzrok tome leži u velikim i nepredvidivim varijacijama pojave oborina koje moraju imati dovoljne iznose vodenog taloga da se na ovim prostorima može oblikovati kratkotrajno plavljenje terena. Intenzitet oborina treba premašiti iznos kapaciteta infiltracije koji je inače vrlo visok.

Hidrološki procesi u sušnim područjima pod snažnim su i stalnim utjecajem degradiranja površinskog sloja tla zbog djelovanja eolske i vodne erozije. Kod ovih analiza treba strogo odvojiti pojmove erodibilnosti tla i erozijske snage vode i vjetra. Erodibilnost tla funkcija je njegovog infiltracijskog potencijala ali i stupnja vlage u njemu. Vezana je izravno i sa stanjem vegetacijskog pokrova. Bez njega erodibilnost tla višestruko se povećava. Erozijska snaga a s njom izravno vezani učinci vode i vjetra predstavljaju njihova agresivna djelovanja na otkidanje i transport čestica tla. Ona zavisi o kinetičkoj energiji vode i vjetra. Kinetička energija kišne kapi predstavlja umnožak njene mase i brzine a učinci erozije zavise o trajanju, čestini i ukupnoj količini kiše. Na eroziju bitan utjecaj ima oblik površine terena a prije svega njegov pad kao i način korištenja zemljišta. Komisija FAO-a i UNEP-a prihvatila je 1978. Fourierov indeks

agresivnosti kiša F kao jednostavan i indikativan pokazatelj pogodan za procjenu potencijalne mogućnosti degradiranja tla.

Definicijski izraz Fourierovog indeksa F glasi:

$$F = \left(\sum_{i=1}^{12} P_i^2 \right) / \left(\sum_{i=1}^{12} P_i \right) \quad (1)$$

pri čemu P_i predstavlja mjesečnu količinu oborina palu u i-tom mjesecu. Pomoću ovog jednostavnog i nerijetko kritiziranog ali i mnogo češće korištenog indeksa moguće je vršiti usporedbe potencijalne mogućnosti degradiranja tla oborinama tijekom raznih godina na istom području ili za istu godinu na raznim područjima.

Vezano s procesom erozije, kako one izazvane vodom tako i one uzrokovane vjetrom, ne treba imati prevelike iluzije u mogućnosti da je čovjek svojim djelovanjem sposoban učinkovito kontrolirati ovaj masovni prirodni proces. Čovjek tek i to manjim dijelom može usporiti eroziju ali bitno više svojim djelovanjem može utjecati na njeno ubrzavanje. Istraživanja na prostoru ekvatorijalne Afrike pokazala su da je, na dvije bliske, po strukturi tla istovjetne, eksperimentalne površine od kojih je jedna bila potpuno prirodna a na drugoj su bile poduzete sve poznate protuerozijske mjere, razlika u količini vodom erodiranog materijala iznosila tek oko 20 %. Proces erozije prirodan je proces koji čovjek ne može spriječiti kako u globalnom tako i u lokalnom smislu, ali ga nažalost (posebno u lokalnom mjerilu) može značajno ubrzati stvarajući ekosustavu a time i sebi samom krajnje ozbiljne probleme.

Najbolju zaštitu od erozije predstavlja vegetacijski pokrov. On ujedno bitno utječe na raspodjelu hranjiva i vlage u pedološkom sloju tla. Upravo vezano s upravljanjem vegetacijskim pokrovom, bez obzira bile to prirodne šume ili kultivirane poljoprivredne površine, čovjek najizravnije i u najvećem prostoru obuhvata utječe na proces erozije. Konačna je istina da je njegov utjecaj gledajući u globalnom mjerilu cijele Zemlje znatno više negativan. Protuerozijske mjere koje on vrši obuhvaćaju mnogo manji prostor i bitno su slabije po svojim učincima od negativnih učinaka koje izaziva pretjeranom sječom šuma, masovnom urbanizacijom, neodgovarajućom izgradnjom itd.

Eolska erozija djeluje koordinirano s vodom erozijom degradirajući vrijednosti terena s kojih odnosi površinske slojeve tla. Međutim, njeni su negativni učinci mnogo veći i teži na prostorima na kojima se erodirani materijal deponira. FAO je ustanovio da na sušnim područjima Afrike najveće negativne učinke izaziva eolska erozija. Primjera radi navodi se da je samo 16 % ovih područja ugroženo vodom erozijom, 25 % pati od zaslanjivanja a čak 45 % je pod stalnim i negativnim utjecajem eolske erozije. Sa stanovišta bilance voda, vjetar izrazito povećava količinu evapotranspiracije, čime otežava mogućnost razvoja vegetacije te povećava deficit vlage u tlu i na cijelom području.

8. Indeksi suše

Osnovni problem identifikacije i kvantifikacije suše nalaze se u nedostatku pouzdane metode kojom bi se izvršila usporedba suša koje su se pojavile u različitim razdobljima i na raznim lokalitetima. Jedan od načina da se to učini je korištenje indeksa suše kojima se nastoje ustanoviti i karakterizirati njihove prostorne i vremenske zakonitosti. Praktična korist od ovakvih indeksa najčešća je za potrebe poljoprivrede kada je

neophodno donositi odluke vezano s natapanjem, uzgojem, upravljanjem poljoprivrednim zalihama te za pružanje pomoći poljoprivrednim proizvođačima i zajednicama da im se ublaže posljedice suše.

Postoje brojni indeksi koji se međusobno dosta razlikuju i koji manje ili više odgovaraju nekim klimatskim područjima ili lokalnim situacijama vezanim s morfologijom terena, svojstvima tla, vegetacijskim pokrovom itd. Nastavno će biti izneseno nekoliko indeksa suše koji se koriste u praksi različitih zemalja i raznih znanstvenih i/ili inženjerskih disciplina.

Sa stanovišta hidrologije kao odgovarajući pristup kvantificiranju suše nameće se računanje bilance voda nekog sliva ili drugog prostora čijim se vodnim resursima želi upravljati. Razmatranje stanja vodne bilance koristi se za procjenu vjerojatnosti nedostatka određenih količina vode potrebnih za razne privredne djelatnosti a može biti povezano i s pouzdanosću i kritičnim sniženjem rezervi voda u prirodnim ili umjetnim rezervoarima. Sve ove analize ma kako složene bile, zasnivaju se na jednostavnoj jednadžbi bilance voda u razmatranom području tijekom odabranog vremenskog razdoblja koja glasi:

$$\sum_{i=1}^n U_i + \sum_{j=1}^m I_j = \pm \Delta V \quad (2)$$

pri čemu su sa U_i označeni različiti ulazi vode ($i \in 1, 2, \dots, n$) a sa I_j različiti izlazi vode ($j \in 1, 2, \dots, m$) iz prostora dok je s ΔV označena promjena zapremnine vode u razmatranom prostoru na kraju intervala vremena.

Smanjenje zaliha vode u području do određenih vrijednosti predstavlja kvantitativni pokazatelj razine suše te se vrlo često vezuje s postupcima borbe protiv nje, tj. za ublažavanje njenih posljedica. Radi se o optimiziranju preostalim i za sve potrebe nedovoljnim, vodnim resursima. Gledajući izraz za bilancu voda (2), na prvi pogled bi se moglo zaključiti da je on jednostavan i da je isto takovo i njegovo praktično korištenje. Nažalost to ni iz bliza ne odgovara istini. Dok ulazne količine vode u neki prostor mogu bar donekle zadovoljavajuće biti kontrolirane, izlaze vode bitno je teže odrediti i/ili programirati. Treći element, a to su promjene rezervi vode u tlu najnepouzdanije se može odrediti. U izlaze vode uključeni su prirodni gubici vode ali i potrebe za vodom koje tijekom sušnog razdoblja mogu značajno varirati stvarajući time dodatne probleme procesu optimiziranja i upravljanja preostalim vodnim resursima.

Jedan od osnovnih problema koji bitno utječu na moguću točnost vršenja bilance voda je izbor vremenskog razdoblja, tj. vremenske jedinice bilanciranja. Radi se o tzv. vremenskom učinku mjerila. Chapman (1985.) smatra da vremenska jedinica za koju se radi bilanca voda nekog područja treba biti određena u zavisnosti o vremenu zadržavanja vode u prirodnim i/ili umjetnim rezervoarima iz kojih se dano područje može snabdijevati. On za korištenje nudi sljedeći izraz:

$$T = V/Q \quad (3)$$

kod kojeg je s T označeno vrijeme zadržavanja vode u rezervoarima, s V je označena njihova zapremnina a s Q količina dotoka ili istjecanja (tj. potrebe za vodom). U praksi se najčešće susrećemo s činjenicom da ni zapremnina rezervoara kao ni varijabilne količine dotoka ili istjecanja nisu poznate tako da za vršenje proračuna bilance voda ostaje jedina mogućnost koristiti oborine. Međutim, izraz (3) vrlo je važan stoga jer on jasno ukazuje na činjenicu da je vremenska jedinica vodne bilance to kraća što je zapremnina rezervoara manja te što su potrebe za vodom veće. Na ovaj se problem može gledati i tako da se

zaključiti da što je prostor obuhvata, tj. područje za koje se želi vršiti bilanciranje voda manje da su vrlo vjerojatno i zapremnine njegovih prirodnih i umjetnih rezervoara manji. Time i vremenska jedinica bilanciranja mora biti manja.

Palmer (1965.) je razvio danas u svijetu najčešće korišteni indeks suše. Iako ga je autor definirao na podacima od polusušnih do subhumidnih krajeva SAD-a (od središnje Iowa-e do zapadnog Kansas-a) on se danas koristi na cijelom području SAD-a ali i u cijelom svijetu. Osnovni ograničavajući čimbenik za njegovu još masovniju upotrebu je činjenica što je za njegovo određivanje potreban velik broj hidrometeoroloških podataka koji bi osim toga trebali biti i gusto raspodijeljeni u prostoru a mjerenja bi trebala biti dugotrajna i pouzdana. Zamišljen je tako da koristi tjedne ili mjesečne procjene vodne bilance tla. Palmerov indeks se računa kao funkcija razlike (zbrajane tijekom vremena) stvarnih oborina i gubitaka (izlaza) vode za postojeće klimatološke uvjete nekog lokaliteta. Ovaj indeks koristi temperaturu zraka za procjenu evapotranspiracije a za njegovo računanje potrebno je raspolagati procjenama količina vode u tlu na razmatranom području. Palmer je izvršio normaliziranje svog indeksa tako da vrijednosti ispod $-4,0$ znače ekstremnu sušu a vrijednosti iznad $4,0$ ekstremnu vlažnost u nekom području. Brojne primjene u svijetu ukazale su na neke slabosti ali i na njegove neosporne prednosti u odnosu na ostale indekse. Pokazalo se da je njegovo korištenje u krajevima sa snažno promjenjivim oborinama upitno. Preporuča ga se koristiti kao pokazatelj poljoprivredne (agrotehničke) suše. Za potrebe procjenjivanja suše se stanovišta opskrbe vodom domaćinstava i za analize suša trajanja dužih od godine dana Palmerov indeks se nije pokazao pogodnim.

Indeksom standardiziranih oborina pokušava se definirati indeks suše koji bi imao opće značenje i koji bi osim toga bio jednostavniji za korištenje prvenstveno stoga jer je za njegovo računanje potrebno raspolagati samo mjerenim oborinama. Njegova se vrijednost zasniva na činjenici da nedostatak (deficit) oborina uzrokuje različite a prije svega negativne utjecaje na prirodne i umjetne tvorevine u različitim vremenskim mjerilima. Vлага u tlu u zoni korijena reagira na nedostatak oborina u značajno kraćem vremenskom razdoblju nego na pr. podzemna voda u vodonosniku. Indeks standardiziranih oborina uveden je s ciljem proračuna deficita vode (vlage, kiše) za cijeli raspon vremenskog mjerila zanimljivog za određene vrste problema.

Izraz za indeks standardiziranih oborina glasi:

$$ISO_n = \frac{1}{\sigma_n} \left(\sum P'_i - \mu_n \right) \quad (4)$$

pri čemu je s n označen broj mjeseci niza čije su mjerene, normalizirane oborine zbrojene, P' je normalno transformirana oborina u mjesecu i pri čemu je $i \in (1, 2, \dots, n)$, μ_n predstavlja srednjak a σ_n standardnu devijaciju niza n mjerenih mjesečnih oborina. Izrazom se računa razlika između sumiranih normalno transformiranih oborina i srednjaka oborina za isto razdoblje podijeljenog sa standardnom devijacijom. Ovaj indeks pokazuje koliko standardnih devijacija iznosi izračunata razlika. Vlažna razdoblja imaju pozitivne vrijednosti a sušna negativne. U tablici 1 dana je klasifikacija ovog indeksa po suhoći (vlažnosti), a u posljednjem stupcu su date teorijske vrijednosti postotka pojave za određeni razred.

Osnovna opasnost pa prema tome i slabost ovog indeksa je u tome što on pretpostavlja da su mjesečne oborine, dakle analizirane varijable, normalno raspodijeljene. Za razdoblje kraće od 12 mjeseci oborine nisu normalno raspodijeljene što otežava rad s ovim indeksom. Sama transformacija mjerenih varijabli (oborina) u normalno raspodijeljene, sa srednjakom 0 i varijancom 1, tvori dodatne komplikacije.

One se javljaju i kod izbora koraka transformacije. Razni autori pristupaju rješavanju ovog problema na različite načine. Neki sumiranja vrše u razdobljima od 3, 6, 12, 24 i 48 mjeseci dok se u najnovije vrijeme sumiranje vrši preko svih mjeseci u razdoblju od 1 do 24 mjeseca.

Po svojoj strukturi, indeks standardnih oborina sličan je definiciji indeksa južnih oscilacija (Southern Oscillation Index). Prema podacima danim u tablici 1 proizlazi da u suho razdoblje klasificiramo 15,8% najnižih ISO vrijednosti te da suša prestaje kad ISO postigne vrijednost veću od nule. Pošto se raspoložuje s kronološkim nizom ISO vrijednosti, moguće je i za ovaj indeks računati veličinu, trajanje i intenzitet suše, kao i kod klasičnih pristupa (Bonacci, 1993a.).

Tablica 1: *Klasifikacijski razredi i vrijednosti njihove teoretske pojave za indeks standardiziranih oborina (ISO)*

R. br.	ISO vrijednost	Klasifikacija vlažnosti (suhoće)	Teorijske vrijednosti pojave (%)
1.	$\geq 2,00$	EKSTREMNO VLAŽNO	2,3
2.	1,5 do 1,99	JAKO VLAŽNO	4,4
3.	1,0 do 1,49	OSREDNJE VLAŽNO	9,1
4.	0 do 0,99	BLAGO VLAŽNO	33,9
5.	0 do -0,99	BLAGO SUHO	33,9
6.	-1,0 do -1,49	OSREDNJE SUHO	9,1
7.	-1,5 do -1,99	JAKO SUHO	4,4
8.	$\leq -2,00$	EKSTREMNO SUHO	2,3

Iz prethodno navedenog proizlazi da je za određivanje i kvantificiranje meteorološke suše bitno izučavanje varijabilnosti kiša sa ciljem da se statističkim pristupom odredi žestina suše u smislu njenog trajanja i nedostatka tj. manjka oborina u odnosu na prosječna stanja oborina koja vladaju u nekom području. Kao jedna od statističkih metoda razvijena je metoda decila koja će nastavno biti objašnjena. Primjenjuju se za visoke vrijednosti mjesečnih ili godišnjih mjerenih oborina. Kako se radi o neparametarskoj metodi ona je pogodna za usporedbu kiša a time i analize suša između različitih lokacija.

Metoda decila je vrlo jednostavna za računanje. Radi se o rangiranju oborina od najmanje do najveće (u niz u porastu) te dodjeljivanje svakoj vrijednosti odgovarajućeg postotka. Jedan takav primjer računanja je na slici 1 za niz godišnjih oborina Osijeka u razdoblju 1882.—1993. Međutim, u tada danom primjeru nije korištena metoda decila već je bila iznesena jedina klasifikacija sušnih (vlažnih) godina, uobičajena u nekom europskim zemljama. U Australiji postoji sustav za motrenje suša (Australian Drought Watch System) koji je za metodu decila razvio klimatsku klasifikaciju oborina danu u tablici 2. Očigledno je da oborine koje se rasporede u prva tri decila pripadaju sušnim prilikama dok one u posljednja tri (od 8. do 10. decila) spadaju vlažnim, tj. po oborinama iznadprosječnim klimatskim prilikama.

Osnovna prednost ove metode je u njenoj jednostavnosti. Ona se može rabiti za bilo koja vremenska razdoblja od jednog mjeseca do više godina. Može se koristiti na pr. samo za sumu oborina palih u vegetacijskom razdoblju ili samo za pojedine mjesece (ili sumu nekoliko njih). Gotovo da i ne treba naglašavati da je za korištenje ove metode potrebno raspolagati dugim nizom pouzdanih mjerenja oborina. Kratkoća niza u uz to i nepouzdanost mjerenja oborina obezvrjeđuje primjenu ove metode, kao uostalom i svake druge zasnovane na primjeni statistike

Tablica 2: *Klasifikacija oborina po metodi decila koja se koristi u Australiji*

R. br.	Decil	Postotak	Opis klimatske klasifikacije
1.		100	Najviša opažena vrijednost
2.	10	90 do < 100	Vrlo mnogo iznad prosjeka
3.	8—9	> 70 do < 90	Iznad prosjeka
4.	4—7	> 30 do < 70	Prosječno
5.	2—3	> 10 do < 30	Ispod prosjeka
6.	1	> 0 do < 10	Vrlo mnogo ispod prosjeka
7.		0	Najniža opažena vrijednost

U posljednje vrijeme pojavila se jedna nova i ne u cijelosti razvijena metoda za određivanje kvantitativnih svojstava suša koju je njen autor (Falkland, 1999.) nazvao Rainfall Depreciation Method a u slobodnom prijevodu smo je nazvali metoda umanjnja uloge prethodno palih oborina za bilancu voda analiziranog područja ili skraćeno metoda umanjnja. Radi se o metodi pseudo bilance voda ili nadomjesku za vršenje cjelovite bilance voda nekog područja. Definijski izraz ove metode glasi:

$$IU_n = P_n + \sum_{i=1}^{n-1} P_i \left(1 - \frac{1}{d}\right)^i \quad (5)$$

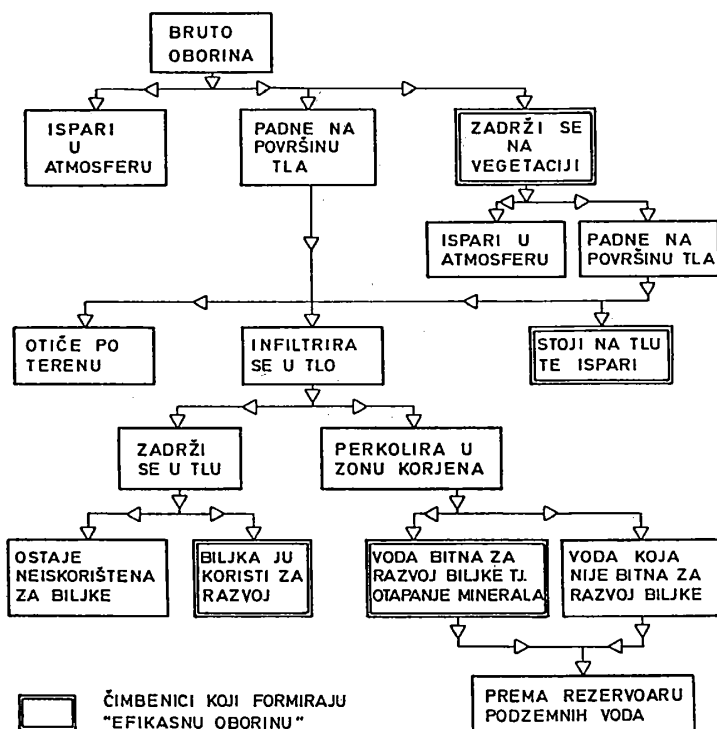
pri čemu je s IU_n označen indeks suše za mjesec n određen metodom umanjnja, P_n je oborina pala u n -tom mjesecu a P_i su oborine pale u prethodnih $(n-1)$ mjeseci, dok je s d označen faktor umanjnja utjecaja oborina palih u prethodnim mjesecima na bilancu voda u izučavanom području. Iz samog izraza je jasno da je određivanje njegove vrijednosti ključno za funkcioniranje ove metode, tj. za njezinu primjenjivost u praksi. U literaturi se umjesto izraza (5) primjenjuje slijedeći nešto jednostavniji izraz koji glasi:

$$IU_n = P_n + \sum_{i=1}^{n-1} P_i \left(1 - \frac{i}{n-1}\right) \quad (6)$$

Korištenjem izraza (6) izbjegava se faktor umanjnja d čije je određivanje vrlo upitno, ne toliko s teorijskog koliko s praktičnog stanovišta. Ključno pitanje primjene izraza (5) i (6) je izbor vremena umanjnja, tj. razdoblja od $(n-1)$ mjeseci. Radi se o razdoblju u kojem pale oborine mogu utjecati na bilancu voda razmatranog područja u n -tom mjesecu. Dužina tog razdoblja zavisi o klimatskim prilikama, veličini područja i njegovim prirodnom svojstvima, tlu, vegetacijskom pokrovu, načinu obrade itd.). Očigledno je da što je područje manje da bi i razdoblje umanjnja $(n-1)$ trebalo biti kraće. Teško je očekivati da ono može preći iznos od 12 mjeseci ili godine dana što predstavlja duljinu prirodnog klimatskog ciklusa. U umjerenom klimatskom pojasu a za potrebe određivanja indeksa suše vezanog s poljoprivrednom proizvodnjom kao logično trajanje razdoblja umanjnja nameću se vrijednosti od 5 do 12 mjeseci. Trajanja duža od godinu dana imaju smisla za analize suša kontinentalnih razmjera ali ih je i tada fizički i logički teško objasniti. Bez obzira na prethodno izneseno, korisnicima se preporuča da ispitaju veći broj varijanti, što upotrebom računarske tehnike ne predstavlja nikakav problem, te da analizom rezultata odaberu onu koja daje najbolje odgovore u praktičnom ali i teorijskom smislu. Za prvu varijantu faktora umanjnja u literaturi se preporuča koristiti vrijednost $d=10$.

Kao osnovni nedostatak metode umanjenja treba imati na umu da ona koristi konstantni iznos umanjenja izražen ili kao $(1/d)$ ili kao $(i/(n-1))$, što zasigurno ne odgovara procesima u prirodi. Poznato je naime da gubici oborina zavise i o njihovom ukupnom iznosu. Ako su oborine male (u našim krajevima ljeti od 10 do 20 mm) one se sve izgube ne izazivajući procese prihranjivanja podzemnih voda ili otjecanja po površini terena. Međutim, one budu korisno upotrijebljene od strane prirodnog ali i kulturnog bilja i vegetacije. U tom smislu čitaoce se upućuje na razlikovanje pojmova efektivne i efikasne oborine o čemu je detaljnije pisao Bonacci (1992.). Pod efikasnom oborinom podrazumijeva se onaj dio od ukupne pale oborine koji se pojavi u obliku hidrograma otjecanja. U nju spada dio oborine koji teče po terenu, dio oborine koji padne na površinu vode te dio oborine koji brzim i/ili sporim podpovršinskim i baznim otjecanjem doteče u hidrogram ukupnog otjecanja. Efikasna oborina predstavlja onaj dio ukupno pale oborine koji vegetacija na bilo koji način iskoristi za svoj razvoj. Na slici 3 dat je shematski prikaz podjele ukupne (bruto) oborine na dio efikasne i ostale oborine koju biljka ne koristi za svoj razvoj. U efikasnu oborinu uključeni su oni segmenti oborine koji pridonose razvoju vegetacije na bilo koji način od pripreme terena, preko vlaženja i rahljenja tla, otapanja minerala do vlaženja tj. osvježavanja zelenih dijelova biljaka posebno tijekom vrućeg ljetnog razdoblja itd. Naglašava se da se pojmove efektivne i efikasne oborine nikako ne smije miješati (iako se to nerijetko dešava) a nema ih mnogo smisla niti uspoređivati. Efektivna oborina hidrološki je pojam vezan na koeficijent otjecanja, dok efikasna oborina pripada u područje poljoprivrede i biologije. Kao takove obje su oborine zanimljive za određivanje indeksa suše, tj. za njegovu kvantifikaciju, s tim da se efektivnom oborinom može odrediti hidrološki a efikasnom poljoprivredni indeks suše, tj. nedostatak vode za razvoj biljaka ili potreba vode za navodnjavanjem.

Osnovna slabost svih indeksa suše je njihov preveliki formalizam i njihova nedovoljna povezanost s posljedicama koje suša izaziva. U našim krajevima, dakle u umjerenom pojasu nerijetko se dešava da indeksi suše ukazuju da je ona blaga ili da je uopće nije bilo, međutim posljedice suše su značajne. Mogući su i obratni slučajevi. U Istočnoj Slavoniji nerijetko se dešava da je urod pšenice iznadprosječan a da iste godine urod kukuruza značajno podbaci zbog nedostatka vode ili obratno. Prethodno navedeno upućuje na činjenicu da se u nekim slučajevima indeksi suše ne mogu definirati s mjesečnim podacima oborina već da bi ih se trebalo odrediti za manje vremenske jedinice koje bolje odgovaraju fenomenu razvoja vegetacije. Ujedno je očigledno da uzimanje u obzir same oborine nije dovoljno već da bi za definiranje indeksa suše trebalo koristiti i temperaturu zraka te stvarnu evapotranspiraciju. Očigledno je da suša predstavlja vrlo složen pojam koji nije jednostavno niti odrediti a kamo li kvantificirati. Ona je osim toga prisutna svugdje i to ne samo tamo gdje su godišnje oborine niže od 100 mm godišnje već i u regijama u kojima padne znatno više od 1000 mm kiše godišnje. Na sušu treba gledati kao na produljeni abnormalni nedostatak vlage. Zbog toga uobičajena sezonska sušna razdoblja ne mogu biti smatrana ničim abnormalnim pa se prema tome ne smiju tretirati kao suše. Čini se da naši stručnjaci ali i najšira javnost prečesto i krajnje nekritički tvrde da se pojedine regije ili čak i cijela država nalazi pod utjecajem suše.



Slika 3: Prikaz komponenti efikasne oborine

Nerijetko se radi o tome da se pravi razlozi neuspjeha u poljoprivrednoj proizvodnji zasnovanoj na suhom ratarenju, ali i promašaji u drugim privrednim djelatnostima pokušavaju objasniti sušom. Ona je tek dijelom odgovorna za propuste i podbačaje. Baš zbog toga trebalo bi se u Hrvatskoj izgraditi objektivni sustav praćenja i procjene suša, čime bi se omogućila i učinkovitija borba protiv nje. U ovom se trenutku tek može ustanoviti da se s tim problemom kod nas ni znanost, ni struka a nažalost niti praksa ne bave dovoljno sustavno. Zbog toga od suša Hrvatska trpi veće štete nego što bi to prema prirodnim svojstvima njene klime i tla bilo normalno za očekivati.

9. Sustavna analiza regionalne suše

U okviru ovog poglavlja bit će iznesena portugalska iskustva i praksa (Santos, 1983. i Santos i sur. 1988.) u procjeni rizika od regionalnih suša primjenom sustavne analize. Prilikom izučavanja suše kao neosporne prirodne katastrofe s najtežim posljedicama na Zemlji treba poći od činjenice da se njena svojstva bitno razlikuju od svojstava svih ostalih katastrofa (požari, potresi, klizanja zemljišta, vulkana, orkana itd.). Dok se ostale prirodne katastrofe javljaju (započinju) naglo i ne traju dugo, početak suše teško je odrediti, njeno je trajanje vrlo dugo (u nekim područjima može biti dugo i nekoliko godina), a ona zahvaća najrazličitije prostore koji mogu biti za red veličina veći od

površina koje su zahvaćene ostalim prirodnim katastrofama. Osnovna razlika suše u usporedbi s ostalim katastrofama leži u činjenici što razlog njene pojave nije dešavanje nekog ekstremnog događaja već upravo suprotno ne pojavljivanje oborina (vlage ili vode). Suša se razvija sporo a posljedice su joj nerijetko mnogo teže od posljedica svih ostalih prirodnih katastrofa posebno u demografskom, ekološkom a potom i u socio-političkom smislu. Najvažnijim se čini dodati činjenicu da će u bliskoj budućnosti zbog promjene (učinka globalnog zagrijavanja) i/ili varijabilite klime čovječanstvo sve češće biti suočeno sa sve razornijim sušama. Pred znanstvenicima i inženjerima stoga stoji ni malo lagan zadatak da stvore učinkovite mjere za borbu protiv posljedica suše. U tom smislu, barem s teorijskog stanovišta, šansu pruža sustavni pristup izučavanju rizika, pouzdanosti, elastičnosti (prilagodljivosti) i ranjivosti primijenjen na borbu protiv regionalne suše. S inženjerskog stanovišta, tj. sa stanovišta prakse, mnogo je važnije izučavanje a time i borba protiv regionalne suše, nego protiv suše koja se javlja u točki i koja u suštini predstavlja pristup zanimljiv sa stanovišta teorije, koji vrlo često nema mnogo veze s praktičnim vidom problematike. Sa svrhom regionalne analize posljedica i borbe protiv suše mora se kao prvo odrediti stvarno i precizno ograničeno područje na kojem se očekuje pojava suše. To obično i nije pretežak zadatak a rješava se ili primjenom iskustvenih metoda na osnovi opažanja u prošlosti ili na osnovi izučavanja i određivanja homogenih klimatskih, pedoloških i vegetacijskih područja.

U slijedećoj etapi neophodno je vrlo rigorozno odrediti sušu preko nekoliko parametara koji moraju poslužiti za određivanje uzroka suše. Među njih prije svega spadaju oborine, evapotranspiracija, riječno otjecanje, zapremnine vode uskladištene u prirodnim i umjetnim akumulacijama, razina i količina podzemne vode, vlaga u tlu, mogućnosti opskrbe vodom iz drugih područja itd. Važan čimbenik mogućnosti primjene raznih metodologija ali i konačnih rezultata njihove primjene leži u izboru vremenske jedinice obrade (diskretizacije). Pri izboru vremenske jedinice obrade osnovni problem se javlja u činjenici što parametri nemaju jednaka razdoblja osrednjavanja te su različito promjenjivi, tj. osjetljivi unutar istog inkrementa vremena.

Osim parametara determinacije i vremena diskretizacije potrebno je odrediti prag ispod kojeg započinje nestašica vode, dakle suša. Naziva ga se kritičnom razinom ili kritičnim pragom a on može biti konstantni ili promjenjiv u vremenu. On mora biti usko i fizički zasnovano povezan s parametrima determinacije a zavisi o vrsti suše koje se izučava. Uz to pri njegovom određivanju treba u obzir uzeti i ciljeve koje korisnici voda žele postići. Kad se razmatra regionalna suša, potrebno je utvrditi koji dio od razmatrane regije mora biti zahvaćen sušom a da bi se primijenila predložena metodologija.

Kao prvi se uvodi pojam trenutačnog područja u kojem se javlja deficit vode $A_s(t)$:

$$A_s(t) = \sum_{k=1}^n a_k * L(k,t) \quad (7)$$

pri čemu $A_s(t)$ označava površinu zahvaćenu sušom unutar cijele regije R u trenutku vremena t , k je mjerna postaja u regiji u kojoj ima n postaja, a_k je efektivna površina koja pripada postaji k , $L(k,t)$ je indikatorska funkcija kojom se opisuje veza indikatora suše s pojedinom mjernom postajom k tijekom vremena t . Određivanje ove funkcije jedan je od najsloženijih i najbitnijih elemenata u primjeni predstavljene metodologije. Nju se najpouzdanije određuje na osnovi dugogodišnjeg monitoringa i pažljive analize posljedica suša. Općenito se vrijednost a_k izražava kao postotak od ukupnog područja zahvaćenog sušom (deficitom vode) u trenutku t .

U slijedećem koraku određuje se trenutačni deficit vode na analiziranoj površini pomoću izraza:

$$D_s(t) = \sum_{k=1}^n a_k [f_k(t) - X_k(t)] L(k, t) \quad (8)$$

kod kojeg je s $f_k(t)$ označena funkcija kojom se izražava kritična razina vodnih rezervi u trenutku t na stanici k , $X_k(t)$ predstavlja stanje vodnih rezervi u trenutku t na stanici k . Termin trenutačni treba shvatiti kao dekadni, mjesečni, sezonski itd., što zavisi o korištenom vremenu diskretizacije.

Regionalna suša definira se u vremenskom intervalu tijekom kojeg je trenutačni deficit vode jednak ili veći od izabrane kritične površine označene kao a_c . Vrijednost kritične površine igra u ovoj metodologiji vrlo značajnu ulogu te mora prethodno biti određena na osnovi detaljnih analiza svojstava razmatranog područja. Za njezino pouzdano određivanje neophodno je u razmatranje uzeti ekonomske, demografske pa i sociopolitičke čimbenike i svojstva.

Za potrebe ove analize neophodno je uvesti još nekoliko svojstava suše. Kao prvo radi se o trajanju suše T koje se određuje slijedećim izrazom:

$$T = t_c - t_0 + 1 \quad (9)$$

u kojem t_0 predstavlja trenutak kad je $A_s(t_0) \geq a_c$ ali je $A_s(t_0-1) < a_c$, dok je s t_c određen prvi trenutak poslije t_0 kad je $A_s(t_c) \geq a_c$, a $A_s(t_c+1) < a_c$.

Površina na kojoj se javlja deficit vode A određuje se kao prosječna površina zahvaćena sušom tijekom intervala vremena od trenutka početka suše t_0 do trenutka t_c , kraja regionalne suše t_c . Izraz za određivanje deficita vode A glasi:

$$A = \frac{1}{T} \sum_{t_0}^{t_c} A_s(t) \quad (10)$$

Ukupni deficit na površini razmatrane regije D predstavlja sumu svih deficita $D_s(t)$ tijekom trajanja suše a određen je izrazom :

$$D = \sum_{t_0}^{t_c} D_s(t) \quad (11)$$

Intenzitet suše I određen je slijedećim izrazom:

$$I = \frac{D}{T} \quad (12)$$

Elastičnost (prilagodljivost) predstavlja mjeru oporavka sustava. U kontekstu systemske analize regionalnih suša ova se mjera treba povezati s trajanjem suše i to s njezinim statističkim tj. vjerojatnostnim svojstvima. Ova kategorija, preuzeta iz teorije sustava nije najsretnija za primjenu kod analiza suša jer ju je teško nedvosmisleno odrediti u fizičkom smislu.

Oporavak regije od posljedica suša a posebno onih vrlo jakih, različit je za različite djelatnosti, za različite biološke vrste itd. i nikada nije trenutačan, tj. potpuni se oporavak ne javlja s prestankom suše. Ako se tijekom razdoblja suše pojavi veliki ukupni nedostatak vode realno je pretpostaviti da će on moći biti nadomješten tek nakon nekog vremena u kojem na analiziranu površinu moraju prirodno ili umjetno doći količine vode veće od prosjeka. Dio ukupnog deficita vode koji treba biti nadomješten da bi se ostvario oporavak naziva se iznos oporavka. Drugi kriterij za definiranje

elastičnosti (prilagodljivosti) naziva se razinom oporavka a određuje se na taj način da se smatra da je sustav doživio oporavak onda kada je dostigao tu razinu. Vrijeme oporavka jednako je ili veće od trajanja suše i traži mnogo preciznije određenje elastičnosti (prilagodljivosti). Iz svega što je izneseno uočava se da automatsku primjenu dobro razvijene teorije sustava na analizu regionalnih suša nije moguće jednostavno ostvariti. Razlog tome leži u činjenici što su suše vrlo složena pojava a njihove se posljedice različito odražavaju na razne prirodne i društvene procese. Poteškoća je u tome što za sada nije moguće točno pratiti i kvantificirati negativne posljedice suše pa je zbog toga i primjena teorije sustava uvijek upitna. Međutim, to nikako ne smije obeshrabrati ili čak onemogućiti znanstvenike i inženjere u naporima da nađu bolja kako teorijska tako i praktična rješenja.

U teoriji sistema razvijen je još jedan koncept koji može biti primijenjen za izučavanje posljedica suše. Radi se o pojmu ranjivosti sustava pod čime se u slučaju suše može razmatrati njeno trajanje vezano s potrebnim vremenom oporavka i cijenom istog. U kontekstu izučavanja regionalnih suša moguće je razmatrati nekoliko formulacija analize ranjivosti.

Prvi pristup se odnosi na razmatranje ukupnog deficita vode na cijelom području kao razumljivog pokazatelja žestine suše. U tom slučaju moguće je vršiti izučavanje ranjivosti zasnovano na analizi statističkih raspodjela ukupnog deficita vode. Time se dolazi do vrlo indikativnog odnosa između ukupnog deficita vode u regiji i povratnog razdoblja zasnovanog na mjerenim, češće procijenjenim, podacima iz prošlosti. Ovaj pristup po logici odgovara pristupu povratnih perioda poplava.

Drugi pristup vezan je s pojmom intenziteta suše kao također pouzdanom kvantitativnom mjerom suše i njenih posljedica. Treća i u posljednje vrijeme najčešće korištena mjera za posljedice regionalnih suša je tzv. funkcija gubitaka koja se određuje u zavisnosti o trajanju suše, ukupnom deficitu vlage, intenzitetu suše i potrebnom vremenu oporavka. Očigledno je da se radi o složenom pokazatelju čije točno određivanje posebno u obliku analitičkog izraza nije ni jednostavno niti previše pouzdano a uz sve to je i promjenjivo tijekom vremena.

Bez obzira na razvoj teorije sustava kao i njenog uspješnog korištenja u praksi različitih struka, njegova primjena za procjenu rizika i neizvjesnosti suša te određivanja politike upravljanja vodnim resursima još uvijek je zasnovana na intuiciji i iskustvu. Kako stvari stoje tako će biti još vrlo dugo. Razlog se nalazi u činjenici što mnogo teorijskih problema nije raščišćeno a praktična mjerenja na terenu uvijek i svugdje su vrlo nedostatna. Zbog toga se svima onima koji se žele baviti problemima suše preporuča da u pristupu krenu od jednostavnih elemenata te postepeno kreću u složenu strukturu problematike suše. Pri tome trebaju biti svjesni da su njihova rješenja i/ili zaključci daleko od pouzdanih i sigurnih.

10. Suša i poljoprivredna proizvodnja

Sušu je potrebno razmatrati s ostalim kategorijama tzv. 'xeric' režima u koje spada suhoća, nedostatak vode i dezertifikacija (Pereira, 1987.). Na taj je način moguće cjelovitije razumjeti a potom se i učinkovitije boriti s ovim vrlo složenim i svugdje prisutnim problemom. Analize moraju obuhvatiti slijedeće djelatnosti: 1) postupanje s biljkama u cilju postizanja njihove bolje otpornosti na sušu; 2) rukovanje kulturama vezano sa stresom koji izaziva nedostatak vode; 3) upravljanje tlom i korištenje tla sa svrhom njegove zaštite ali i očuvanja vlage u njemu; 4) upravljanje prirodom kultura boreći se sa sušom; 5) organiziranje navodnjavanja tijekom postojanja deficita vode; 6) rad i upravljanje sustavom natapanja u cilju minimiziranja utjecaja suše.

U prethodnom dijelu ovog teksta bilo je govora o tome da definiranje fenomena suše nije ni jednoznačno a nerijetko je i kontraverzno. Nastavno će se govoriti isključivo o poljoprivrednom vidu suše o relativnom napretku u borbi protiv suše kao i o potrebama daljnjih istraživanja. Bit će ukratko razmatrano sedam tematskih cjelina.

Prva tematska cjelina odnosi se na upravljanje biljkama s ciljem postizanja njihove otpornosti na sušu, tj. nedostatak vode. Istraživanje vrsti biljaka otpornih na sušu vrlo se intenzivno razvija tijekom posljednjih decenija. Postignut je značajan napredak u razumijevanju fizioloških i metaboličkih procesa uključenih u mehanizam otpornosti na sušu, strategiji i perspektivi uzgoja otpornih biljnih vrsti te na mogućnost uzgoja divljih (prirodnih) biljaka prilagođenih bezvodnim uvjetima kao domaćih (kulturnih) biljaka. Usprkos tome bit će potrebno još mnogo vremena i istraživanja na uzgoju i načinu upravljanja a da bi se postigao široki napredak u svakodnevnoj praksi.

Učinak tzv. vodnog stresa koji suša izaziva na biljke najbitniji je metabolički i razvojni proces koji ograničava razvoj. Napredak u razumijevanju procesa u biljkama koje su doživile vodni stres pomaže ublažavanju posljedica suše. Iako je postignut značajan napredak ostali su još vrlo brojni problemi koji istraživanjima moraju biti riješeni.

Genetički varijabilitet, tj. velik broj genetičkih svojstava koja mogu biti izmijenjena kao odgovor na vodni stres te ogroman broj i složenost gena u kojima se takova svojstva locirana, čine genetičku manipulaciju vrlo teškom i neizvjesnom. Znanstvenici smatraju da će u ovom smislu biti potrebno još mnogo vremena istraživati kako bi se mogli očekivati rezultati koji će u praksi biti primjenjivi i učinkoviti. Kod toga stručnjaci naglašavaju da se rješenja učinkovitog odgovora na vodni stres ne može tražiti ni isključivo niti prvenstveno u sferi genetike već se usporedno mora raditi i na poboljšavanju prakse natapanja i obrade zemljišta a posebno na boljoj učinkovitosti korištenja vode tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja a posebno u uvjetima kada vlada suša.

Danas se vrlo često koriste numerički modeli kao značajno oruđe tijekom istraživanja. Modeli su na raspolaganju za različite svrhe a vrlo su različito složeni i zasnovani. Neki simuliraju fiziološke procese pokušavajući pomoći razumijevanju mehanizama otpornosti biljaka na nedostatak vode. Drugi modeliraju razvoj i prinos biljaka pod utjecajem otvorenosti stomata, transpiracije, respiracije, asimilacije ugljik dioksida, fotosinteze i regulatora rasta s jedne strane te prakse navodnjavanja i obrade tla s druge. Povećano korištenje modela i njihovo poboljšanje te prilagođavanje za određene kulturne biljke i uvjete okoliša od temeljnog je značenja za uspjeh istraživanja. Međutim, ne smije se zavaravati da se modeliranjem problemi mogu u cijelosti riješiti. Praksa će jedino i konačno potvrditi uspješnost ili neuspješnost modela i na osnovi njih donesenih zaključaka.

Kao posebno važna mora se istaknuti potreba istraživanja fiziološkog funkcioniranja prirodnih (divljih) biljaka koje su se prilagodile uvjetima života u sušnim područjima. To je posebno važno s obzirom na trendove energetske krize, vodne krize i globalnog zagrijavanja. Postoje realne osnove da se neke divlje hranjive biljke u sušnim područjima kultiviraju, tj. da se počnu uzgajati i koristiti masovnije za ljudsku i životinjsku prehranu. Činjenica je da se na ostvarenju ove ideje treba još mnogo i dugotrajno raditi.

Druga tematska cjelina odnosi se na modeliranje rasta i prinosa kulturnih biljaka u odnosu na sušu i vodni stres. Već je u prethodnoj cjelini spomenut neosporni napredak u modeliranju rasta biljaka te je izneseno da to može pomoći u ublažavanju vodnog stresa. Pri tome se ne smije zaboraviti da je model misaona kategorija, te da on ne predstavlja ni proizvodni čimbenik niti proizvodnu tehniku, što znači da njegove hipoteze tek moraju biti potvrđene u proizvodnoj praksi. Modeliranja razvoja biljaka slijedi različite

pristupe, usmjereno je u brojnim pravcima i ima različite dosege. Modeliranjem fizioloških procesa korištenjem determinističkih modela pokušalo se reproducirati i shvatiti međusobne odnose i mehanizme izazvane vodnim stresom. Naglasak je bio stavljen na otkrivanje pozitivnih odgovora biljnih stanica i tkiva na reguliranje rasta. Ovi su modeli posebno uspješni u smislu poboljšanja znanja o mehanizmima otpornosti biljaka. Ta saznanja su bitna za identificiranje fizioloških i morfoloških svojstava korisnih za razvoj. Modeliranje je usmjereno na istraživanje toka vode, otopina i asimilata na kvantificiranje otpornosti korijena, stabljike i lišća na sušu. Ovi modeli omogućavaju stjecanje saznanja i prepoznavanje mehanizama za izbjegavanje negativnih posljedica suše.

Modeliranjem procesa rasta korijena, pupova i izboja, vegetativnog rasta, akumuliranja suhe tvari i plodova integriraju se različiti interaktivni procesi. Od posebnog je značaja koristiti takove pristupe na pojednostavljen način, ispitujući tj. simulirajući posljedice različitih upravljačkih opcija na određenu biljnu vrstu.

Najopćenitijim se smatra modeliranje odnosa korištenja vode i njegovog utjecaja na rast ili prinos biljaka. Ovi modeli integriraju jednostavne ili danas sve sofisticiranije oblike bilance energije, reproduciraju potrebe evapotranspiracije, koriste bilancu vode u tlu čime se određuje raspoloživost količine vode za biljke te sve ove procese povezuju s rastom i produkcijom plodova. Ovakvi modeli su korisni za simuliranje utjecaja raznih opcija natapanja i procjenu njihovih relativnih posljedica. Kao takovi oni mogu poslužiti za izradu plana i programa natapanja.

U nekim slučajevima modeli služe samo za interpretaciju prirodnih procesa. Ostali, a to se prvenstveno odnosi na one koji koriste razne irigacijski rasporede i postupke, se često koristi u praksi. U posljednjih tridesetak godina načinjen je značajan napredak u procesu modeliranja ali su i dalje ostala otvorena brojna pitanja. Najmanji napredak je učinjen kod modela koji simuliraju i procjenjuju tehnike upravljanja tlom i biljkama na njihov prinos i na njihovu otpornost na vodni stres. Modeli upravljanja sustavima za natapanje, zasnovani na simulaciji bilance vode pokazali su značajne nedostatke vezane s hidrodinamičkim svojstvima tla i s njihovom prostornom varijabilnosti. U posljednje vrijeme pokazuje se sve snažnija potreba za modelima koji bi mogli vršiti i ekonomske procjene raznih opcija upravljanja. Problem je da ekonomisti i agroekonomisti koriste vrlo različite metode koje su teško usporedive. Očigledno je da i ova djelatnost kao i uostalom sve suvremene istraživačke aktivnosti imperativno traže transdisciplinarnu pristupe rješavanju složenih problema.

Treća tematska cjelina odnosi se na tehnike upravljanja i gospodarenja tlom u cilju čuvanja njegovih vodnih resursa. Tehnike obrade tla sa svrhom poboljšavanja njenih hidroloških svojstava, tj. s namjerom da se na minimum svedu gubici vlage prve su se počele primjenjivati u sušnim područjima SAD-a, Australije i Izraela. U Europi a posebno u njenom sušnijem, mediteranskom dijelu, vrlo se intenzivno uvode posljednjih desetak godina. Tehnike obrade tla sa svrhom čuvanja vlage, moguće je grupirati u slijedeće četiri skupine: 1) tehnike obrade zemljišta kojima se poboljšava retencioniranje vode u površinskom sloju tla i kontrolira (uglavnom smanjuje) otjecanje s poljoprivrednih površina; 2) prilagođivanje tla, tj. tehnike upravljanja tlom usmjerene na povećanje unosa vode, infiltracije i njenog ravnomjernog prostiranja duž cijelog poljoprivrednog zemljišta; 3) tehnike obrade tla kojima se poboljšavaju uvjeti infiltracije te povećava zapremnina vode uskladištene u tlu; 4) tretiranje tla s ciljem povećanja retencioniranja tla u cijelom poljoprivredno aktivnom sloju uključujući upotrebu kemijskih sredstava.

Kemijsko modificiranje svojstava tla s ciljem poboljšanja svojstava skladištenja vode u njemu, smanjenja evapotranspiracije i gubitaka procjeđivanjem u praksi je naišlo

na brojna ograničenja među kojima bitnu ulogu igraju ona ekonomske prirode. Popravljanje svojstava tla i tehnike njegove obrade, vrlo se široko koriste u praksi, često i nekritički. Pokazalo se naime da su njihovi učinci kontradiktorni na raznim vrstama tala te da ih je u nekim slučajevima čak izrazito štetno koristiti. Upravo to područje bi trebalo predstavljati glavni cilj budućih istraživanja. Pokazalo se naime da samo teoretska znanja kao i pozitivna praksa na jednim prostorima i kod jedne vrste tala nisu dovoljna garancija za uspješnu primjenu određene tehnike u drugačijim uvjetima i kod drugih vrsta tala.

Četvrta tematska cjelina odnosi se na promjenu svojstava poljoprivrednih kultura u cilju povećanja njihove otpornosti na sušu i vodni stres. Radi se prvenstveno o uzgoju biljnih vrsti tolerantnih na sušu što se često postiže skraćivanjem njihovog vegetacijskog ciklusa. Kod primjene ovih tehnologija od velikog je značenja i pomoći točna prognoza pojave suše i primjena teorije rizika za donošenje pravih odluka vezanih s postupcima natapanja. Tehnike koje spadaju u ovu tematsku cjelinu mogu se podijeliti u slijedeće tri skupine: 1) upravljanje rizikom od suše; 2) tehnike upravljanja u cilju kontrole učinka vodnog stresa; 3) tehnike kultiviranja tla. Pod upravljanjem rizikom od suše misli se na primjenu i uzgoj manje osjetljivih biljaka umjesto onih koje su na sušu jako osjetljive ali su i produktivnije. Ovdje spada i tehnika ranog sijanja, rane žetve i dodatnog natapanja. U tehnike upravljanja s ciljem kontrole učinka vodnog stresa spadaju tehnike obrade tla, primjena posebnih biljaka prilagodljivih ograničenjima koje nameće okoliš, ostavljanje zemljišta na ugaru, miješanje biljnih vrsti i međuuzgoj te povećanje razmaka među biljkama. Tehnike kultiviranja odnose se na minimiziranje obrade i pripreme tla, na sprječavanje rasta korova i gnojidbu, na korištenje antitranspiracijskih sredstava kao i sredstava za reflektiranje sunčevog zračenja te sprječavanje puhanja i ublažavanja brzine vjetra čime se smanjuju gubici vode. U ovu skupinu spadaju i sredstva za reguliranje rasta biljaka.

Da bi se postigla mogućnost bolje prognoze suše neophodna su detaljna mjerenja a potom i analize klimatskih parametara razmatrane regije. Svojstva suše a posebno deficit vlage, neophodno je povezati s razvojnim fazama biljaka. Samo pomoću tih saznanja je moguće u pravo vrijeme intervenirati na učinkovit način. Do sada razvijene tehnike uzgoja biljaka sa smanjenim svojstvima evapotranspiracije nisu dala spektakularne rezultate. Bit će potrebno još mnogo istraživanja da se postignu rezultati koji bi u praksi mogli značajnije biti od pomoći u sušnim područjima.

Peta se tematska cjelina bavi planiranjem i organiziranjem natapanja u uvjetima nedostatka vode. U ovom području u posljednjim je desetljećima načinjen daleko najveći napredak. S jedne strane izumljena je i u najširu praktičnu primjenu uvedena brojna oprema za natapanje a s druge strane je učinjen veliki napredak u istraživačko-razvojnom smislu. U najširu upotrebu ušli su indikatori vlage u tlu (tenzometri i neutron sonde) pomoću kojih se detaljno u prostoru i vremenu prati stanje vlažnosti tla bitno za razvoj biljaka. Koristeći te podatke intervenira se s natapanjem onda kada je voda biljci doista neophodna i u količinama koje će optimalno podržati njihov rast. Indikatori vlaga u biljkama sve se češće primjenjuju ne samo pri teorijskim razmatranjima već i u praksi. Radi se o mjerenju: potencijalne vlage u listovima pomoću tlačnih komora ili termopsihrometara, otpornosti stomata, temperature krošnje korištenjem infracrvenih termometara te promjena u dimenzijama listova ili plodova. Svaki pojedini parametar a posebno njihova kombinacija od posebnog su značenja kako u teorijskom tako i u praktičnom smislu. Posebna se pozornost posvećuje mjerenju realne evapotranspiracije korištenjem senzora vlage i toka energije instaliranih u terenu. Tehnologija daljinskog mjerenja (remote sensing) za sada se još ne koristi u praksi ali se smatra da se od nje može očekivati napredak i u tom smislu.

Najvrednije je da su terenska mjerenja, od kojih su prethodno spomenuta tek ona najvažnija, postala sastavni dio poljoprivrednog proizvodnog procesa. Izvođenje procesa natapanja danas je u svim razvijenim zemljama ali i onim koje pate od posljedica suša nezamislivo bez korištenja rezultata ovih terenskih mjerenja. Ona predstavljaju bitnu podršku pri odlučivanju i izradi pogonskih planova natapanja te pri njihovoj svakodnevnoj primjeni. Spomenuta mjerenja ugrađuju se u modele koje je prema vrsti i složenosti moguće klasificirati u slijedeće grupe: 1) klasični pristupi koji koriste tradicionalna znanja o tlu i osjetljivosti biljaka na vodni stres; 2) modeli koji koriste indikatore vodnosti; 3) modeli koji koriste indikatore vodnog stresa biljaka; 4) modeli koji koriste bilancu vode tla te informacije vezane s razvojem biljaka; 5) modeli koji simuliraju bilancu vode razmatranog područja na osnovi monitoringa vlage u tlu i vodnog potencijala tla; 6) modeli kojima se simulira bilanca vode, rast biljaka i njihovu produktivnost uključujući ekonomske parametre za donošenje odluka.

Iako je u posljednje vrijeme postignut značajan napredak u području ove tematske cjeline, bit će neophodno uložiti još mnogo napora kako bi vrijedni teorijski zaključci našli pravu i punu primjenu u praksi. U tom smislu potrebno je postići znatniji napredak u razvoju opreme za kontinuirano mjerenje vlage u tlu kako bi se s tim informacijama moglo izravno uči u modele. Isti, ali i tehnički znatno složeniji problem, odnosi se na kontinuirano mjerenje biljnih indikatora.

Jedan od teorijskih i praktično najčešće tretiranih problema je određivanje vrijednosti realne evapotranspiracije. Nažalost, ovaj problem je daleko od zadovoljavajućeg rješenja. Postojeći modeli, metode i izrazi ne daju dovoljno točne rezultate koji se mogu koristiti u praksi. U tom smislu najmanja točnost postiže se kod procjene dnevnih vrijednosti evapotranspiracije koje su s gledišta razvoja biljaka značajno važnije od mjesečnih vrijednosti, koje se mogu odrediti nešto točnije. Za regionalne modele natapanja korisnim se pokazala upotreba podataka stanja vlažnosti tla, temperature zraka na visini krošnji i razine podzemnih voda dobivenih daljinskim mjerenjima.

U šestu tematsku cjelinu spadaju tehnike natapanja kojima se štedi voda. S razvojem tehnologije i opreme za lokalizirano natapanje ili natapanje kap na kap, došlo je do njene masovne primjene u praksi zemalja i krajeva koji trpe od nedovoljnih količina vode. Osim spomenute tehnologije treba naglasiti da je napredak u smislu ušteda vode značajan i kod površinskog navodnjavanja kao i navodnjavanja kišenjem. U bliskoj budućnosti očekuje se masovna primjena u praksi prethodno korištenih voda. Da bi se iste mogle koristiti za natapanje kulturnog bilja potrebno ih je djelomično pročititi. Razina do koje je potrebno izvršiti pročišćavanje kao i tehnologija pročišćavanja, stvar su posebnih analiza i značajno se razlikuju od slučaja do slučaja. Zbog toga se kod primjene ove tehnologije mora strogo paziti kako na tehnološku učinkovitost tako i na ekonomsku opravdanost njene primjene. U brojnim mediteranskim zemljama vrše se pokusi s korištenjem manje ili više zaslanjene vode za potrebe natapanja određenih vrsta biljaka. Pokazalo se da neke biljke mogu koristiti zaslanjenu vodu s koncentracijom soli i do 1500 mg/l. Primjena zaslanjene vode zahtijeva stalnu kontrolu rasta biljaka ali i zaslanjenosti tla kako bi se na vrijeme moglo intervenirati. Uz to se pokazala i u praksi dokazala potreba za primjenom automatizacije pri upravljanju sustavima za navodnjavanje. Na taj način osigurava se nezavisnost od rada ljudi (prije svega nekvalificirane radne snage). Time se radni dan produžuje na puna 24 sata a ograničenim vodnim resursima moguće je učinkovitije upravljati.

Posebnu i ujedno posljednju tematsku cjelinu čine postupci, metode i tehnologije kojima se poboljšava mogućnost upravljanja sustavima za navodnjavanje. Radi se o zajedničkoj primjeni elemenata iz svih prethodnih opisanih tematskih cjelina. Upotreba pojedinih komponenti zavisi prije svega o terenskim, regionalnim uvjetima, definiranim klimom, morfologijom terena, svojstvima tla, raspoloživim količinama vode i njenim

rasporedom tijekom godine. To vrlo jasno govori da je svaki slučaj poseban te da tako treba pristupiti rješavanju praktičnih problema.

Na nedostatak vode u različitim etapama razvoja biljaka moguće je odgovoriti na slijedeće načine: 1) korištenjem novih ili alternativnih vodnih resursa kao što su ponovno korištenje već upotrijebljene vode, korištenje zaslanjene vode, povećana upotreba podzemnih voda itd.; 2) upotrebom teorije odlučivanja i teorije rizika za podršku odlučivanja vezanih s donošenjem planova korištenja voda iz rezervoara, otvorenih vodotoka, podzemnih vodonosnika i ostalih alternativnih izvora; 3) primjena tehnika za povećanje vodnih količina, kontrola, tj. smanjenje evapotranspiracije i modificiranje lokalnih klimatskih prilika; 4) razvojem tehnologija kojima se povećava elastičnost praktične primjene sustava za raspodjelu voda za što se danas preporuča koristiti daljinsko upravljanje iz jednog centra; 5) razmatranjem varijanti upravljanja primjenom optimizacije i teorije odlučivanja. Praksa je pokazala da se na ovaj način mogu značajno poboljšati planovi raspodjele vode za natapanje; 6) poboljšanjem poslovanja i održavanja sustava za natapanje.

Sve što je prethodno navedeno usmjereno je prema jednom zajedničkom cilju a taj je da se pravovremeno i u zadovoljavajućim količinama biljke opskrbe vodom. Pri tome se posebno pazi na smanjenje gubitaka vode u sustavu, na štednju vode i na donošenje odluka koje će omogućiti optimalizaciju poljoprivredne proizvodnje u cijelom sustavu pazeći posebno da gornji, uzvodni dio ne bude u prednosti pri opskrbi vodom pred donjim nizvodnim dijelom. Da bi se postigao ovakav zahtjevan cilj od velikog je značenja poboljšati kakvoću hidroloških prognoza i prognoza suša u realnom vremenu. Kod toga se posebno misli na srednjoročne prognoze koje obuhvaćaju razdoblje od sedam dana do mjesec dana. Od značaja bi bilo raspolagati i s nešto dugoročnijim prognozama od dva do četiri mjeseca, kojima bi se omogućilo planiranje korištenja vode tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja.

Kad se natapanje vrši na regionalnoj razini preporuča se da se njegovo planiranje, upravljanje i ostvarivanje obavlja iz jednog centra u kojem će se odluke donositi na osnovi raspolaganja svim relevantnim podacima kako onim o potrebama za vodom tako i o onim o raspoloživim količinama vode u regiji a po mogućnosti i šire.

Ne treba se zanemariti istraživanja na procesu stimuliranja oborina kao i na upotrebi kemijskih i drugih sredstava za smanjenje isparavanja vode iz površinskih akumulacija. U današnjem stanju saznanja ove tehnologije su ograničenog dometa, međutim njihove potencijalne mogućnosti su prepoznate te bi u budućnosti bilo moguće i njih koristiti kao učinkovite postupke za smanjenje deficita vode u sušnim područjima.

Praksa je pokazala da fiksni i kruti sustavi za natapanje češće odnosno nerijetko zakažu upravo u trenutcima kad se pojavi nedostatak vode u regiji. Zbog toga se preporuča koristiti kombinirane, prenosive i elastične sustave koji omogućuju brže i učinkovitije reagiranje na potrebe za vodom u pojedinim dijelovima regije. Kod ovakvih sustava lakše se i brže otklanjaju greške.

Ključ učinkovitosti rada svakog sustava pa tako i ovog za navodnjavanje leži u kakvoći održavanja. Održavanje mora biti cjelodnevno a moraju ga provoditi obučeni i odgovorni stručni ljudi. Često puta tzv. inteligentna, centralo upravljana kontrola sustava ne može otkriti nedostatke u njegovom radu. To svojstvo i prednost ima isključivo odgovoran i dobro obučen čovjek.

Popis korištene literature

1. Albergel, J., Casanova, A., Ribstein, P. i Valentin, C. 1992. Aridité climatique, aridité édaphique: étude des conditions de l'infiltrabilité an Afrique tropicale sèche. U: La Floch, E., Grouzis, M., Cornet, A., Bill, J.C. (urednici) L'Aridité, une contrainte au développement. ORSTOM, Paris: 123–130.
2. Bonacci, O. 1987. Hydrological drought. *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich* 75: 39–50.
3. Bonacci, O. 1992. Regionalna hidrološka analiza potreba natapanja u Republici Hrvatskoj. U: (Kos Z. ur.) Priručnik za hidrotehničke melioracije, II kolo, Navodnjavanje, Knjiga 1, Rijeka: 61–88.
4. Bonacci, O. 1993a. Hydrological identification of drought. *Hydrological Processes* 7: 249–262.
5. Bonacci, O. 1993b. Identifikacija suše i borba protiv nje. Zbornik radova Okrugli stol o suši. Zagreb, HHD: 1–20.
6. Bonacci, O. 2001. Monthly and annual effective infiltration coefficients in Dinaric karst: example of the Gradole karst spring catchment. *Hydrological Sciences Journal* 46 (2):287–299.
7. Bonacci, O. i Roje–Bonacci, T.1998. Opskrba vodom Libije. *Hrvatska Vodoprivreda* VII. (64): 9–11.
8. Boulanger, A. 1990. La sécheresse hydrologique. *Sécheresse* 1 (4): 238–239.
9. Chapman, T.G. 1985. The use of water balances for water resources estimation with special reference to small islands. Buletin No. 4 Pacific Regional Team. Canberra: 34 str.
10. Cornford, S. G. 2001. Human and economic impacts of weather events in 2000. *Buletin WMO* 50 (4): 284–300.
11. Fahmy, H. 2001. Modification and re–calibration of the simulation model of lake Naser. *Water International* 26 (1): 129–135.
12. Falkland, A. 1999. Impacts of the 1998/1999 drought on Kiribati water supplies and recommended actions. Australian Agency for International Development, Canberra: 30 str.
13. Floret, C. i Pontanier, R. 1982. L'aridité on Tunisie présaharienne. *Trav. et doc. ORSTOM, Paris* no 150: 544 str.
14. Guillemain, C. i Roux, J.C. 1992. Pollution des eaux souterraines en France; bilan des connaissances, impacts et moyens da prévention, BRGM, Orléans: 262 str.
15. Hrvatsko Hidrološko Društvo. 1993. Zbornik radova Okrugli stol o suši. Zagreb 28. listopada 1993.: 130 str.
16. Loup, J. 1974. Les eaux terrestres; hydrologie continentals. Macon, Paris: 174 str.
17. Mainguet, M. 1999. Aridity, Droughts and Human Development, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg: 302 str.
18. Margat, J. 1992. Suggestions pour une cartographie des ressources en eau du continent africain á petite échelle. *Hydrologie BRGM* 1–2. Orléans: 119–122.
19. Pereira, L.S. 1987. Advances in surface irrigation. *Water and Irrigation Review* 7(3):24–29.
20. Santos, M.A. 1983. Regional drought: a stochastic characterization. *Journal of Hydrology* 66: 183–211.
21. Santos, M.A. Correla, F.N. i Rodriquez, R.R. 1988. Risk assessment of regional droughts: U: F. Sicardi i R.L. Bras (urednici) Natural Disasters in European Mediterranean Countries. USNSF: 333–350.
22. Sharon, R. 1972. The spottiness of rainfall in a desert area. U: Workshop on Erosion, Transport and Deposition Processes with Erosion, Transpo and Deposition Processes with Emphasis on Semi–arid and Arid Areas, Jerusalem: 169 str.

23. Thorne, J.B. 1994. Chatchment and channel hydrology. U: Abrahams, A.D. i Parsons, A.J. (urednici) *Geomorphology of Desert Environments*, Vol. 11: Chapman & Hall: 257–287.

5

UPRAVLJANJE VODNIM RESURSIMA NA SLIVNOM PODRUČJU

*Prof.dr.sc. Dragutin Gereš
Hrvatske vode, Zagreb
Građevinski fakultet Sveučilišta u Osijeku*

Sažetak

Očuvanje kakvoće voda i zadovoljenje sve veće potražnje za vodom su glavni izazovi s kojima se susrećemo u vodnom planiranju. Velike su potrebe za vodom urbanih područja kao i u poljoprivredi za proizvodnju hrane. Okoliš također zahtjeva značajne količine vode. Tu su i ostali korisnici voda sa svojim potrebama, koje također rastu. Slivno ili vodno područje rijeka je temeljna teritorijalna jedinica za analize i upravljanje vodnim resursima. Modeliranje na razini slivnog područja može osigurati bitne informacije za donositelje odluka o upravljanju vodama. Prikazuje se stanje modeliranja integralnog upravljanja vodnim resursima u mjerilu riječnog sliva. Posebno je naglašeno spajanje ekonomsko-hidroloških modela. Zaključno se predlažu pravci modeliranja u budućnosti.

Ključne riječi: upravljanje vodama, vodni resursi, slivno područje, odvodnja, navodnjavanje, modeli

1. Uvod	134
2. Upravljanje vodama riječnog sliva	136
2.1. Općenito	136
2.2. Značenje pojmova	137
2.3. Upravljanje vodama po Zakonu o vodama RH	139
2.3.1. Načela za planiranje i za upravljanje vodama	139
2.3.2. Planske osnove za upravljanje vodama	141
2.3.3. Teritorijalne osnove za upravljanje vodama	141
2.4. Upravljanje vodama po Smjernicama o vodama EU	141
2.5. Metode i tehnike u planiranju	142
3. Integralni pristup planiranju	143
3.1. Razvoj i korištenje vodnih resursa i upravljanje njima	143
3.2. Metodologija integralnog pristupa	144
3.3. Izbor načina upravljanja vodnim resursima	146
3.4. Održivi razvitak	147
4. Integralno upravljanje količinom i kakvoćom vodnih resursa	149
4.1. Uvod	149
4.2. Koncept integralnog upravljanja	150
4.2.1. Upravljanje vodama	150

4.2.2. Sustav slivnog područja	151
4.3. Upravljanje količinom i kakvoćom voda	153
4.3.1. Općenito	153
4.3.2. Modeliranje na razini podsustava	153
4.3.3. Modeliranje na razini slivnog područja	155
4.3.4. Razvoj modela slivnog područja	156
4.4. Matematički hidrološki modeli	158
4.4.1. Klasifikacija hidroloških modela slivnog područja	158
4.4.2. Mjerilo modela	158
4.4.3. SLURP model slivnog područja	160
4.4.4. SWAP agrohidrološki model	160
5. Ekonomija u raspodjeli vode za korisnike	161
5.1. Uvod	161
5.2. Vrednovanje voda za poljoprivredne namjene	162
5.2.1. Proizvodne funkcije	162
5.3. Vrednovanje vode za ostale namjene	164
5.3.1. Tehnike procjene na tržišnim principima	165
5.3.2. Ekonomska vrijednost vode za proizvodnju električne energije	165
5.3.3. Ne-tržišne tehnike procjene	166
5.4. Funkcije koristi za slivno područje	166
6. Integrirani ekonomsko-hidrološki modeli	167
6.1. Uvod	167
6.2. Modeliranje po odjelima	168
6.3. Holistički pristup modeliranju	169
7. Sustav za podršku odlučivanju i GIS	169
7.1. Uvod	169
7.2. Značajke sustava za podršku	170
8. Budućnost modeliranja slivnog područja	171
8.1. Uvod	171
8.2. Integracija hidrološko-agronomsko-ekonomsko-institucionalnog modeliranja slivnog područja	171
IZVORI	174

1. Uvod

Prikazuje se koncept upravljanja vodama riječnog slivnog ili vodnog područja, uključivo modeliranje vodnih resursa na razini podsliva i sliva. Na razini podsliva daje se pregled paradigme rada rezervoara, upravljanja podzemnom vodom, zajedničko upravljanje površinskom i podzemnom vodom kao i upravljanje sustavima odvodnje (drenaže) i navodnjavanja. Sve analize su učinjene u kontekstu integralnog upravljanja količinom i kavoćom vodnih resursa. Modeliranje, upravljanje količinom i kakvoćom podzemne vode je otežano iz razloga kompleksnosti vodonosnika, njegove hidrološke neizvjesnosti, zajedničkog korištenja podzemne vode za vodoopskrbu i prijam otpada, njezinu komplementarnu uporabu s stohastičkom pojavom površinske vode kao i statusom osobina resursa. Zajedničko upravljanje i uporaba površinskih i podzemnih

voda može povećati učinkovitost, sigurnost i ekonomičnost korištenja vode iz vodnog sustava.

Upravljanje odvodnim sustavima i sustavima za navodnjavanje (hidromelioracijskim sustavima) u kontekstu upravljanja količinom i kakvoćom vode slivnim područjem fokusirano je na kombinaciju dinamike vlažnosti tla u korjenovoj zoni, strategije upravljanja i ekonomskih poticaja. Kratkoročni modeli, kao i dugoročni modeli koriste dinamičko programiranje, zatim se koristi interaktivna simulacija i optimalizacija.

Sustav riječnog sliva sastoji se od komponenti izvorišta vode, potražnje vode kao i od komponenti zaštite vode, pročišćavanja vode i recikliranja. Riječno slivno područje je karakterizirano ne samo prirodnim i fizikalnim procesima nego i razvojnim (fizičkim) projektima i vodnom politikom. Osnovni odnosi između svake komponente i međuodnosi komponenata u slivnom području smatraju se okvirom integralnog modeliranja. Modeli u mjerilu riječnog sliva datiraju iz 1920-tih godina, ali je veći razvoj započeo 1960-tih. Uvođenjem osobnih računala – PC-a 1980-tih godina naglo se razvijaju modeli sliva. Principijelno, postoje dva pristupa modeliranja riječnog sliva:

- **simulacija:** simulira se ponašanje vodnih resursa, temeljeno na nizu pravila uporabe voda i infrastrukturnih objekata;
- **optimalizacija:** optimalizira se uporaba resursa, temeljena na ciljnoj funkciji i pripadnim ograničenjima.

Simulacija je bolja tehnika za procjenu odgovora sustava vodnih resursa na ekstremne pojave, uvjeta neravnoteže, npr. suša. Uslijed toga je identifikacija komponenti sustava podložna pogreškama. Procjena performanci sustava relativna je u odnosu na postavljanje kriterija održivosti u dužem razdoblju, kao npr. klimatske promjene ili nagle promjene prioriteta potražnje vode, zbog ubrzanog rasta urbanih područja. Simulacijski modeli riječnog sliva mogu se klasificirati u modele toka vode, modele kakvoće vode, modele prava na vodu i opsežne simulacijske modele.

Optimalizacijski modeli temelje se na funkciji cilja i ograničenjima te mogu uključivati društvene vrijednosti sustava u korištenju vodnih resursa. Oni mogu biti zaključeni s hidrološkim elementima ili temeljeni na ekonomskim kriterijima optimalne uporabe vodnih resursa. Optimalizacijski modeli obično sadrže simulacijske komponente, kojima se opisuje hidrološki režim, nazivaju se integrirani simulacijski i optimalizacijski modeli. Razvijen je veliki broj modela ovog tipa. U modele su često uključena uz slivno i podslivna područja. U najvećem broju modela rješava se jedno, sektorsko, korištenje vode ili nekoliko njih.

Ekonomski koncept, koji se mora istraživati u integralnom modeliranju, uključuje troškove transakcije, troškove poljoprivredne proizvodnje u odnosu na vode, utjecaje na okoliš, vlasnička prava. Obvezne komponente ovih modela su proizvodne funkcije (voda/biljka), modeli evapotranspiracije, simulacijski modeli, hibridni modeli i sl. Modeli matematičkog programiranja koriste se za zajednički izbor sjetvene strukture, količine vode za navodnjavanje i primijenjene tehnologije. Istražuju se i ostali korisnici vode u slivnom području: uporaba vode u kućanstvima, industriji, okolišu i drugi.

Kombinirani hidrološki i ekonomski modeli su najprihvatljiviji za ocjenu upravljanja vodama u slivnom području. Oni se mogu klasificirati u pojedinačne (sektorske) i u holističke.

Sustav za podršku odlučivanja temeljen na GIS-u pomaže u analizi riječnog sliva u slučaju oba tipa modela. Kada GIS nudi prostornu predstavu vodnog sustava tada je sustav za podršku odlučivanja interaktivni program.

Na razini slivnog područja mogu se integrirati hidrološki, agronomski i ekonomski aspekti u opsežne modele. Ti su modeli planirani tako da kao rezultat daju racionalnu ekonomsku uporabu vode. Unaprijeđenje modeliranja slivnog područja je važno za

istraživanje upravljanja vodama u budućnosti. Modeli su bazirani na GIS tehnologiji podrške.

Integrirani hidrološko-agronomsko-ekonomsko-institucionalni modeli za slivno područje rijeka uključuju slijedeće procese i odnose:

- integralno upravljanje količinom i kakvoćom voda,
- prostorni i vremenski raspored potražnje i opskrbe vodom,
- proizvodnu funkciju biljne proizvodnje,
- učinke neizvjesnosti i rizika u potražnji i opskrbi vodom,
- potražnju vode svih korisnika za potrebe analize međusektorske vodne politike,
- ekonomske inicijative za potražnju vode, kontrolu kakvoće vode, zaštitu voda te hidromeliracijske sustave.

2. Upravljanje vodama riječnog sliva

2.1. Općenito

Planiranje i upravljanje resursima je proces donošenja odluka, na način da se prirodni i drugi resursi raspoređuju kroz vrijeme i prostor, kako bi se otpimaliziralo postizanje ciljeva koje je utvrdila zajednica. Upravljanje vodama je skup aktivnosti, odluka i mjera sa svrhom održavanja, poboljšanja i ostvarenje jedinstva vodnog režima na slivnom području. To je ukupnost svjesnog djelovanja usmjerenoga na očuvanje, racionalno korištenje i kontrolu voda.

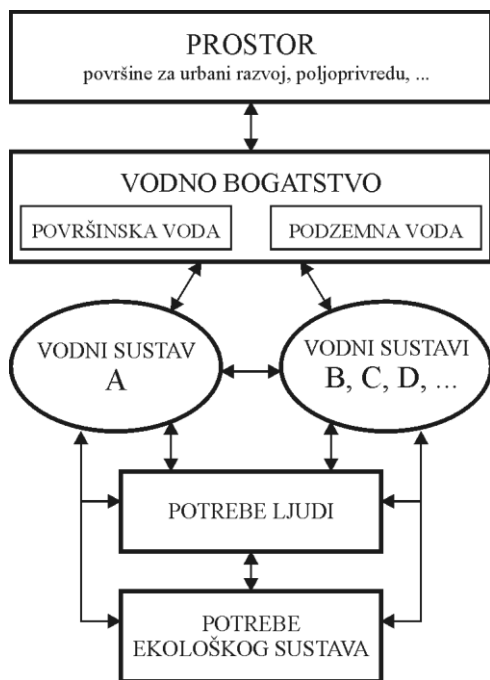
Planiranje je sustavno promišljanje o realizaciji projekta, polazeći od utvrđivanja svrhe i cilja, preko procjena varijanata do konačne odluke o prihvaćanju. Kako je svaki razvojni projekt u vodnom gospodarstvu jedinstven u fizikalnim i gospodarskim postavkama, nije moguće opisati jednostavan proces koji će dovesti do najbolje odluke. Nema zamjene za 'inženjersku ocjenu' glede izbora metoda i pristupa u planiranju, ali svaki pojedinačan korak prema konačnoj odluci mora biti dokazan količinskim analizama a ne izvoditi procjene i ocjene gdje god je moguće. Planiranje na slivnom području uključuje šire i kompleksnije planiranje nego planiranje pojedinačnog zahvata.

Planiranje je prijeko potrebno za uspješno upravljanje vodnim resursima. Takvo se planiranje izravno povezuje s drugim razvojnim planovima države. Bez razvojnih planova društva nema ni planiranja vodnih resursa, a bez planiranja vodnih resursa nema niti realnih razvojnih planova.

Vodnogospodarsko planiranje u Hrvatskoj zasniva se na načelima za upravljanje vodama, na teritorijalnim osnovama, stručno-znanstvenim podlogama o vodnim resursima i prirodnim čimbenicima te na ostalim društveno-gospodarskim planovima. Planskim dokumentima se utvrđuje strategija korištenja voda, zaštita voda i zaštita od voda na slivu, vodnom području i teritoriju države. Planiranjem se ostvaruje usklađivanje socijalnih potreba za vodom i u vezi s vodom u skladu s mogućnostima vodnih resursa. Planiraju se tehničke i druge mjere kojima se stanje voda dovodi u sklad s društvenim potrebama. Utvrđuje se kompleksno rješenje vodnogospodarskih pitanja na slivnom području i daje se optimalno rješenje budućega sustava, kojim se usklađuju zahtjevi na osnovu kriterija koji su prihvatljivi s gledišta razvoja države ili dijela njezina područja.

Planiranje započinje s utvrđivanjem potreba planiranja, definiranjem ciljeva, kriterija i ograničenja. Zatim se određuju raspoloživo vodno bogatstvo – resursi i potrebne količine vode za različite namjene u određenom vremenskom presjeku.

Utvrđuje se postojeće stanje vodnogospodarskog sustava – VGS na razmatranom području. Potom se određuju ograničenja u odnosu na druge sustave i okruženje. Iz pregleda zatečenog stanja VGS-a izvode se ciljevi daljnjega razvoja, moguća varijanta rješenja sustava, kao i kriteriji i ograničenja za proces vrednovanja i traženja najpovoljnijih rješenja sustava.



Slika 1:
Međuvodnosti u planiranju
i upravljanju vodama

2.2. Značenje pojmova

Treba protumačiti shvaćanja i gledišta što se odnose na pojmove: vodno gospodarstvo, vodnogospodarske djelatnosti, vodnogospodarska osnova, uređenje voda, upravljanje vodama itd. U praksi se ti pojmovi zamjenjuju (u zemlji i u inozemstvu), a događaju se i štetne posljedice koje izlaze iz toga u praktičnom radu.

Vodno gospodarstvo kao djelatnost i znanstvena disciplina uključuje fizičke veličine kao vodne resurse, klimatsko-meteorološke pokazatelje, hidrotehničke i druge tehničke realizacije i sl. te društveno-ekonomske odnose. Vodno je gospodarstvo djelatnost uređenja voda i vodotoka, zaštite od štetnog djelovanja voda, zaštite voda od onečišćenja i osiguranja vodnih zaliha, kojom se osigurava jedinstveni vodni režim na određenom području.

Uređenje voda pojmovno znači usklađivanje društvenih potreba za vodom s tehničkim mogućnostima zadovoljavanja tih potreba, kao i tehničke i druge mjere kojima se stanje voda dovodi u sklad sa zahtjevima za korištenjem prostora. Uređenje voda podrazumijeva bit onoga što se u nas razumijeva pod pojmom vodno gospodarstvo (prije vodoprivreda). Uređenje vodotoka znači skup inženjerskih mjera kojima se stanje vodnog toka dovodi u sklad s postavljenim tehničkim ciljevima, kao što su zaštita obala, kontrola erozije dna, oblikovanje riječnog korita radi plovidbe ili otjecanja voda. To su zadaci regulacije riječnih tokova kao hidrotehničke discipline.

Pojam vodno gospodarstvo (vodoprivreda) ušao je u tehničku i pravnu upotrebu neposredno iza II. svjetskog rata. U tadašnjem smislu pojam privreda je vjerno označavao privređivanje. U evoluciji društvenog sustava, pojam privreda je dobivao nešto uži smisao, tj. privreda se izjednačuje s proizvodnjom. Iz toga se razloga pojavljuje razlika između pojmova vodoprivreda (vodno gospodarstvo) i upravljanje vodama. Pojam vodno gospodarstvo (vodoprivreda) uključuje proizvođačku djelatnost a upravljanje vodama upravljačku, regulativnu ulogu društva.

Hidrologija je znanost koja proučava pojave vode na Zemlji i zakone njezina stalnoga kruženja. Hidrološki ciklus je kruženje vode kroz atmosferu i na Zemljinoj površini. Hidrološki režim voda čine varijacije stanja i karakteristika toka vode, koja se ponavljaju u vremenu i prostoru.

Vodni režim (fizički) je ukupnost bitnih obilježja otjecanja u slivnom području ili promjena stanja podzemnih voda u slivnom području. Odnosi se na promjene u tijeku vremena; vodostaja, protjecaja, nanosa, kakvoće vode, razine podzemnih voda te na druga obilježja površinskih i podzemnih voda, a koja su od interesa za tehničku ili gospodarsku primjenu.

Vodni režim (definicija po Zakonu o vodama) je prostorni raspored i izgrađenost vodnoga sustava te stanje količina i kakvoće voda na određenom prostoru i u određenom vremenu. Vodni režim se utvrđuje na osnovi dugoročnog praćenja količine, kakvoće i drugih obilježja voda i izgrađenosti vodnog sustava. Promjene vodnog režima jesu sve promjene koje nastaju uslijed ljudske djelatnosti i ponašanja ili djelovanja prirodnih sila kojima se mijenjaju količina ili kakvoća vode i njihov prostorni i vremenski raspored.

Odvodnja voda ili drenaža kao termin upotrebljava se za vodne sustave koji odvođe suvišnu vodu. Razlikujemo odvodnju poljoprivrednih površina, urbanu odvodnju i odvodnju autocesta. Odvodnja poljoprivrednih površina odnosi se na umjetno odvođenje suvišnih površinskih ili potpovršinskih voda s poljoprivrednih površina.

Navodnjavanje je umjetno dodavanje vode tlu. Primjenjuje se u slučajevima kada oborine ne mogu zadovoljiti potrebe biljaka za vodom.

Slivno područje je kopnana i morska površina sastavljena od jednog sliva ili više slivova, zajedno s pripadajućim podzemnim vodama te priobalnim vodama. Glavna je teritorijalna jedinica u upravljanju vodama (riječnim slivovima). Podsliv znači dio kopnene površine s koje se sve površinsko otjecanje zbiva nizom potoka, eventualno i jezera, do određene točke u vodotoku.

Vodna bilanca je pregled raspoložive vode u određenom vremenskom intervalu u slivnom području. Ukupni višak ili manjak vode jednak je zbroju ukupnog gubitka ili viška vode i neto promijenjene zalihe voda u slivnom području.

Vodnogospodarska bilanca se odnosi na korištenje, uporabu voda i raspodjelu vodnih resursa po količini, uzimajući u obzir i kakvoću vode, od čega ovisi njihova upotrebljivost. Vodnogospodarska bilanca je sastavni dio planiranja u vodnom gospodarstvu.

Vodnogospodarska osnova je dugoročni planski dokument kojim se utvrđuju osnove za upravljanje vodama, bilanca voda i poboljšanje vodnog sustava na slivnom području na temelju kojeg se osigurava cjelovit i usklađeni vodni režim u Republici Hrvatskoj. Dokumentom se utvrđuju raspored, zalihe i obilježja voda; potrebe za vodom i način osiguravanja dovoljnih količina voda; osigurava zaštita voda od onečišćenja; utvrđuju rješenja za uređenje vodotoka, zaštitu od poplava i drugih oblika štetnog djelovanja voda te druga rješenja značajna za upravljanje vodama i osiguravanje jedinstvenog vodnog režima. Termin vodnogospodarska osnova nema neposrednog prijevoda na druge jezike. U engleskom jeziku najbliži je pojam *'water master plan'*; u francuskom se rabe izrazi

‘*amanagement des ressources en eau*’ i ‘*mise en valeur des ressources en eau*’; u njemačkom je najbliži izraz ‘*Wasserwirtschaftlicher Grundplan*’.

Održivo korištenje: dijelovi resursa ili slično koriste se na takav način i u opsegu koji ne vodi propadanju resursa; tako da se održava potencijal resursa kako bi se udovoljilo potrebama i težnjama sadašnjih i budućih naraštaja.

Međudržavne vode su vode koje čine ili presijecaju državnu granicu. Posebni uvjeti za upravljanje takvim vodama sa stajališta interesa graničnih država uređuju se međudržavnim aktima.

Smjernice (Direktive) o vodama Europske Unije – EU (prosinac 2000.) ne poznaju termin ‘vodnogospodarska osnova’. U Smjernicama je ustanovljena obveza da se za svako slivno (vodno) područje izradi plan upravljanja riječnim slivom.

2.3. Upravljanje vodama po Zakonu o vodama Republike Hrvatske

Zakon o vodama Republike Hrvatske, stupio je na snagu 4. siječnja 1996. U poglavlju II. Zakona, u člancima 5. do 118. detaljno se obrađuje materija upravljanja vodama. Članci 18. do 28. opisuju planske dokumente za upravljanje vodama.

2.3.1. Načela za planiranje i za upravljanje vodama

Vode su javno dobro i njima se raspoláže demokratski, pa se planiranje i upravljanje vodama zasniva na sljedećim načelima:

1. Voda je nezamjenjiv uvjet života i rada. Obveza je svih s pažnjom čuvati njezinu kakvoću, štedljivo i racionalno je koristiti, uz jednake uvjete.

2. Vodama se upravlja prema načelu jedinstva vodnog sustava i načelu održivog razvoja kojim se zadovoljavaju potrebe sadašnje generacije i ne ugrožavaju pravo i mogućnost budućih generacija da to ostvare za sebe. U upravljanju vodama polazi se od činjenice da zbog pokretljivosti i drugih prirodnih obilježja voda, promjene što nastaju na jednom vodotoku ili njegovom dijelu, stvaraju pozitivne ili negativne posljedice na drugom dijelu vodotoka ili u njegovu okolišu. Zalihe voda su ograničene i moraju se pravično rasporediti.

3. Teritorijalne jedinice za upravljanje vodama jesu vodna i slivna područja kao povezane hidrografske i gospodarske cjeline. Granice administrativno-teritorijalnih jedinica ne mogu biti zaprekom za integralno upravljanje vodama na tim područjima. Načelo ‘voda ne poznaje granice’ jedno je od načela Europske povelje o vodi (Strasbourg, 1968.).

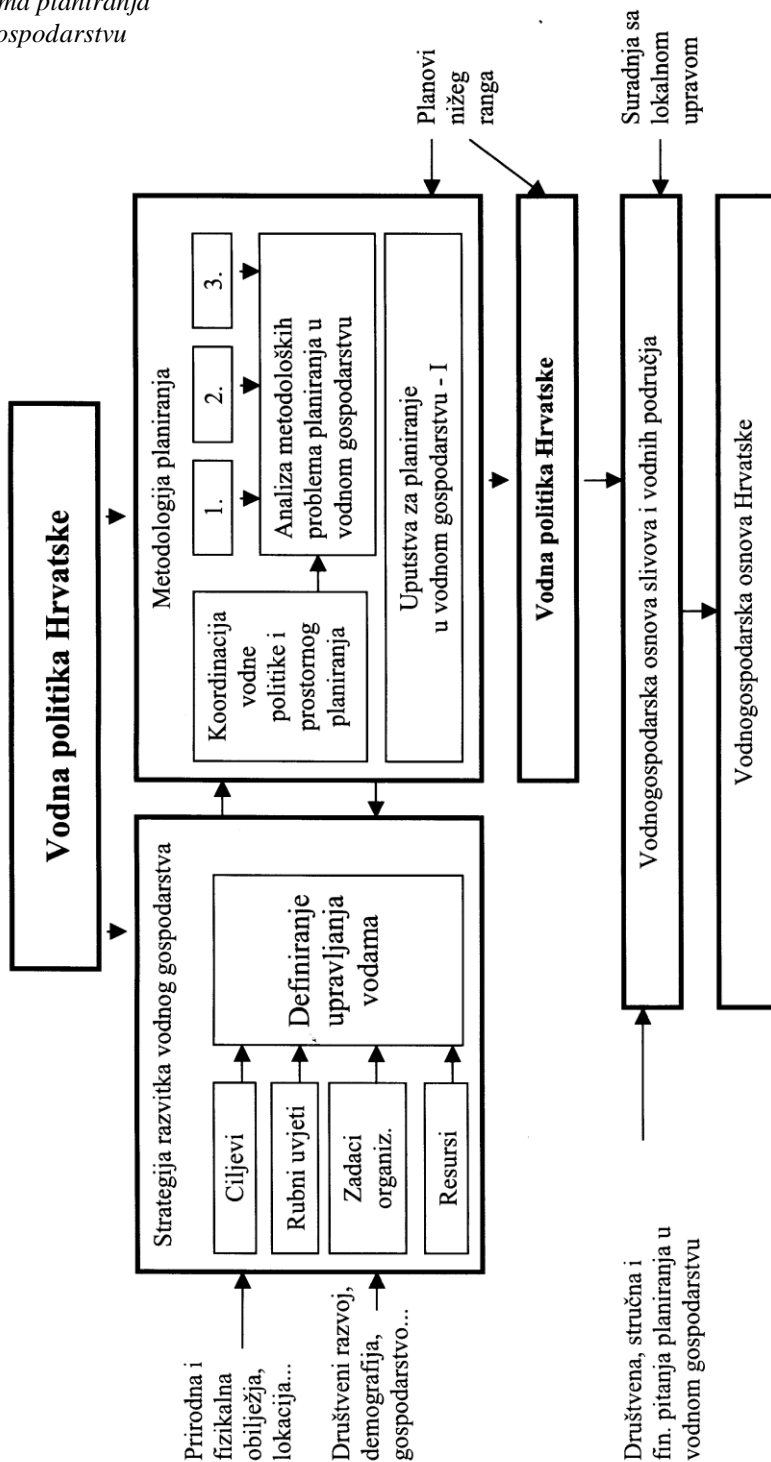
4. U pripremi i donošenju planova koji su osnova za upravljanje vodama polazi se od obveze cjelovite zaštite okoliša i ostvarivanja općeg i gospodarskog razvoja Republike Hrvatske.

5. Vodama se upravlja integralno.

6. Za korištenje voda kao i za svako pogoršanje kakvoće voda plaća se naknada.

Za održavanje i poboljšanje vodnog sustava moraju se utvrditi izvori za financiranje.

Slika 2: Shema planiranja u vodnom gospodarstvu



2.3.2. Planske osnove za upravljanje vodama

Planske osnove za upravljanje vodama jesu:

1. Vodnogospodarska osnova Hrvatske
2. Vodnogospodarska osnova slivnih područja
3. Vodnogospodarski planovi slivnih područja

Vodnogospodarske osnove (VO) i vodnogospodarski planovi (VP) jesu planski dokumenti obvezujuće prirode, koji su osnova za sva djelovanja što se poduzimaju u okviru upravljanja vodama. U tim se dokumentima polazeći od postojećeg stanja, količine, rasporeda, kakvoće i namjenske uporabivosti voda i zgrađenosti vodnog sustava utvrđuju smjernice razvoja, planovi, mjere i zahvati potrebni za osiguravanje potrebnih količina vode, njene kakvoće i uporabivosti te mjere za racionalno gospodarenje vodama i zaštitu od štetnog djelovanja voda.

2.3.3. Teritorijalne osnove za upravljanje vodama

Područje Republike Hrvatske s obzirom na upravljanje vodama dijeli se na vodna i slivna područja.

Vodna područja obuhvaćaju područje jednoga sliva ili više slivova glavnih riječnih vodotoka ili njihovih dijelova, koji čine prirodnu hidrografsku cjelinu. U slivu Jadranskog mora izvršena je podjela na vodna područja prema hidrografskim i drugim mjerilima s ciljem racionalnog organiziranja poslova upravljanja vodama. Vodna područja su:

1. Vodno područje sliva Save
2. Vodno područje sliva Drave i Dunava
3. Vodno područje primorsko-istarskih slivova
4. Vodno područje dalmatinskih slivova

Slivno područje obuhvaća, u okviru vodnog područja, jedan sliv ili više slivova manjih vodotoka za koje se zbog povezanosti vodne problematike, osigurava jedinstveno upravljanje vodama. Slivna područja su posebne jedinice na kojima se u suradnji s jedinicama lokalne samouprave a u okviru određene županije donose planske osnove za upravljanje vodama.

2.4. **Upravljanje vodama po Smjernicama o vodama Europske Unije**

Smjernice o vodama Europske unije – EU (Direktiva) daju zakoniti okvir za integralno planiranje slivnim područjem rijeka te postavljaju integralni pristup kao temeljni princip u upravljanju vodama. Usvajanjem Smjernica, prosinca 2000. godine, ne može se više govoriti o sektorskom pristupu upravljanju, niti o pristupu upravljanju vodama temeljenom na administrativnim granicama.

Temeljna teritorijalna jedinica za upravljanje vodama je slivno područje ili vodno područje rijeka. Vodno područje može biti sastavljeno od više slivnih područja. Slivno područje je definirano hidrološkim karakteristikama kao prirodna hidrološka cjelina područja s izlazom (otjecanjem) u more.

Proces planiranja, prema Smjernicama o vodama EU, je proces kojim se sprječava pogoršanje statusa voda i koji omogućuje postizavanje dobrog statusa voda za sve vode u Europi (do 2015. godine). Ciljevi su obvezni za sve zemlje članice EU i zemlje u postupku pridruživanja.

Proces planiranja se može podijeliti u četiri koraka:

1. identifikacija slivnog ili vodnog područja;
2. karakteristike područja; analize pritisaka i utjecaja na status svih površinskih voda kao i podzemnih voda; ekonomska analiza korištenja voda;
3. ustanovljenje monitoringa statusa voda;
4. izrada Plana upravljanja riječnim slivom, koji uključuje programe mjera, kojima se postižu ciljevi postavljeni Smjernicama.

U razvoju Plana upravljanja slivnim područjem sudjeluje javnost.

Smjernice o vodama EU su vrlo zahtjevan i kompleksan dokument EU, koji se bavi vodama i okolišem. Primjena Smjernica prouzrokuje veći broj izazova:

1. Tekst Smjernica je kompleksan i ostavlja mogućnosti za različite pristupe u njihovoj primjeni. Kako bi se osigurala učinkovita, koherentna i usporediva primjena potrebno je razviti zajednički pristup i metodologije kao i uputstva za primjenu.
2. Smjernicama je predviđena integracija tehničkog i znanstvenog pristupa upravljanju vodama. Ekonomske analize bi trebale osigurati veću učinkovitost upravljanja i razvoj inicijativa za održivo korištenje voda.
3. Smjernicama je predviđena integralna ekološka procjena statusa svih površinskih voda. Tehničke i znanstvene podloge i alati za procjenu i klasifikaciju ne postoje i potrebno ih je razviti.
4. Proces planiranja u riječnom slivu je dugotrajan.
5. Učešće javnosti u procesu planiranja je nužno u svim fazama.
6. Upravljanje velikim riječnim slivovima, kao što su Dunavski i sliv Rajne, postavljaju brojna pitanja u svezi međunarodne koordinacije, metodologija rada i pristupa. U Dunavskom vodnom području postoji velika razlika u ekonomskom stanju zemalja u slivu. Proces proširenja EU novim članicama postavlja također nove izazove.

Zemlje članice EU i Europska komisija razvile su zajedničku strategiju za primjenu Smjernica o vodama. Strategija identificira četiri osnovne aktivnosti;

- a) podjela i širenje informacija,
- b) razvoj uputstava za primjenu,
- c) upravljanje informacijama i
- d) procjenu i testiranje u pilot-slivnim područjima.

Strategija za primjenu Smjernica je potpuno novi, neformalni proces koji može biti uspješan na bazi međusobnog povjerenja partnera.

2.5. Metode i tehnike u planiranju

Osobitosti vodnih bogatstava, društveno i ekološko međudjelovanje raznih gospodarskih grana kao i složeni zahtjevi planiranja i upravljanja vodama, čime se suočavaju planeri i donosioci odluka uključeni u integralno upravljanje vodama, uvjetuju primjenu brojnih metoda i tehnika:

1. Prognoza i simulacija
 - sustavna analiza i simulacijsko modeliranje;
 - prognoza i simuliranje vodoopskrbe i potreba za vodom;
 - prognoza i simuliranje količina i kakvoće vode vodnih resursa;
 - modeliranje mreže;
 - financijsko prognoziranje, itd.

2. Utvrđivanje utjecaja
 - procjena utjecaja na okoliš;
 - utvrđivanje društvenih utjecaja;
 - utvrđivanje rizika;
 - utjecaj očekivanih klimatskih promjena;
 - grubi odabir i analiza izvedivosti itd.
3. Odlučivanje
 - optimizacijsko modeliranje;
 - višeciljno modeliranje;
 - analiza odlučivanja pomoću računala;
 - analiza rizika i analiza mjera za umanjenja mogućih rizika itd.
4. Vrednovanje
 - ekonomsko vrednovanje;
 - analiza dobiti-troškova i isplativosti;
 - sustavi za kvalitativno vrednovanje;
 - metode za vrednovanje postupaka;
 - zahtijevana učinkovitost, itd.
5. Provođenje
 - zakonske i gospodarske mjere;
 - mjerenje društvene prihvatljivosti;
 - metode za razrješenje sukoba;
 - istraživanja, zainteresirane skupine i ostale metode vezane uz sudinonike;
 - analiza utjecaja na potrošače ili porezne obveznike itd.

U planiranju se primjenjuje sustavni pristup. To je racionalni pristup donošenja odluka o planskim pitanjima ili upravljanja sustavima na temelju sustavnog i učinkovitog razvrstavanja i analize bitnih podataka. Ovaj je pristup zastupljen u nizu procedura.

3. Integralni pristup planiranju

3.1. Razvoj i korištenje vodnih resursa i upravljanje njima

Upravljanje vodnim resursima obuhvaća sve aktivnosti pripremne faze (pripremni radovi i planiranje) kao i faze realizacije (projektiranje, izgradnja i pogon) sustava vodnih resursa. Izraz integralno stvara osjećaj viših ciljeva, obećava nove pristupe nasuprot prijašnjoj praksi i daje nadu za bolje odluke i pažljivije korištenje vodnih resursa. Kada se izraz integralno rabi uz razvoj vodnih resursa i upravljanje njima, tada on naglašava višestruki i višedisciplinarni karakter tih procesa. Riječ integralno upućuje na cjelovitost jer se o upravljanju vodnim resursima može razmišljati kao o integraciji razmatranja i nastojanja u okviru upravljanja vodnim resursima u odnosu na prostor, vrijeme, s obzirom na uključenost društva, korištenje vode za različite namjene itd. Ograničenje u integraciji može se postaviti uvođenjem i naglašavanjem konkretizacije i praktičnosti problematike i time ostvariti razumna ograničenja u rasponu nastojanja i veličine zahvata. Zbog toga se dodavanje izraza integralno u procesu upravljanja vodnim resursima može opravdati ne samo činjenicom što se proučava višedisciplinarni karakter problema već i time što se odluke u okviru integralnog upravljanja vodnim resursima donose na osnovi sustavnog uključivanja suprotstavljenih interesa različitih donositelja odluka zajedno s nazočnošću konkurentnih službi, ustanova i predstavnika javnosti.

Integralni pristup razvoju, korištenju vodnih resursa i upravljanju njima nastoji ujediniti niz preduvjeta i sredstava za utvrđivanje, planiranje i razvoj vodnih resursa radi racionalnog zadovoljenja potreba za vodom. On uključuje opsežno praćenje (monitoring), djelotvornu zaštitu i očuvanje vodnih resursa pomoću njihova učinkovitog upravljanja i racionalnog korištenja. Integralni pristup nastoji djelovati u najboljem interesu društva i njegova održivog razvoja. Integralni pristup razvoju, korištenju vodnih resursa i upravljanju njima dobio je zamaha zadnjih godina. Budući da je to stvarni interdisciplinarni pristup koji istodobno uzima u obzir probleme kakvoće i količina površinskih i podzemnih voda, za njegovo provođenje potrebna je trajna suradnja različitih stručnjaka. Danas je prevladano pojedinačno odnosno sektorsko razmišljanje u okviru upravljanja resursima koje je bilo karakteristično za prethodno razvojno razdoblje (Gereš, 1995.).

Integralni pristup razvoju, korištenju vodnih resursa i upravljanju njima:

- pokušava objediniti znanje iz prirodnih, tehničkih i društvenih znanosti te stvoriti teorijsku i praktičnu osnovu za njihovu integralnu transformaciju usmjerenu prema problemu, ciljevima i primjeni na vodne resurse; i
- pokušava utjecati na promjenu u sustavu, rasporedu korištenja voda i prostora pomoću izgradnje građevina i objekata, strukturnih i institucijskih mjera radi zadovoljavanja specifičnog cilja ili upravljanja postojećim vodnim sustavima na najučinkovitiji način.

Upravljanje vodnim resursima odvija se u složenim planskim i strateškim okvirima, odnosno u uvjetima koji se mijenjaju usporedno s napretkom razvoja. Upravljanje vodnim resursima obično se obrađuje u okviru sveobuhvatnih nacionalnih planova i programa gospodarskoga i društvenoga razvoja. Regionalni planeri, inženjeri i donositelji odluka trebaju se upoznati sa sustavima, analitičkim konceptima i pripadajućim metodama koje će se primjenjivati u upravljanju vodnim resursima. Treba unaprijediti njihovu sposobnost posredovanja i rješavanja sukoba koji su usko vezani uz razvoj i zaštitu vodnih resursa zajedno s primjenom kvantitativnih metoda u području višekriterijskog donošenja odluka. Voda je od presudnog značenja za svaku zemlju, stoga su mnogi ljudi i skupine zainteresirani za dugoročni plan njezina razvoja i upravljanja. Cilj je integralnog pristupa izraditi racionalni plan upravljanja vodama u kojem će se uzimati u obzir ostala pripadajuća razvojna područja, odnosno njihovi utjecaji na vodne resurse područja.

3.2. Metodologija integralnog pristupa

Problemi upravljanja vodnim resursima sve su složeniji i ozbiljniji pa je smanjena razina tolerancije za daljnje neodgovarajuće upravljanje. Da bi se povećala učinkovitost, integralni pristup uz ostalo treba uključiti i sljedeća značajna međudjelovanja:

- Detaljno sagledavanje međuodnosa površinskih i podzemnih voda. To podrazumijeva zajedničko planiranje i rad shema površinskih voda i vodonosnika, umjetno obnavljanje podzemnih voda, smanjenje kakvoće podzemnih voda zbog ograničenih količina za prihranjivanje koje su zadržane u površinskim akumulacijama, redistribuciju i smanjenje crpljenja radi ublažavanja problema prodiranja morske vode itd.
- Složeno međudjelovanje kopnenih i vodnih ekoloških sustava. To podrazumijeva integralno upravljanje cijelim slivom te uključuje površinske i podzemne akumulacije i vodne tokove. Isparavanje, površinsko i podzemno otjecanje, erozija, taloženje i ponašanje vodonosnika jesu problemi koje treba uzeti u obzir.

- Postojeće i planirane ljudske aktivnosti koje utječu na upravljanje vodama tako da povećavaju potrebe za vodom i proširuju probleme onečišćenja voda.
- Odnos između kapaciteta vodnih resursa i razvoja i drugih gospodarskih djelatnosti na lokalnoj, regionalnoj i državnoj razini. Svi ti sektori trebaju biti usko vezani i koordinirani da bi sveobuhvatno provođenje bilo uspješno, a gospodarski povrat uložених sredstava dostigao maksimum.

Pri planiranju važno je predvidjeti odgovarajuća rješenja kojima će se raspoloživi vodni resursi transformirati u resurse za potrebe korištenja voda. Vodnogospodarska osnova slivnog područja ili plan upravljanja riječnim slivom treba dati najracionalnije rješenje s gospodarskoga, društvenoga, ekološkoga i gledišta zaštite zdravlja ljudi. Važno je osigurati zaštitu voda i zaštitu od štetnog djelovanja voda. Transformacija, tj. rješenja kojima se pomoću raspoloživih vodnih bogatstava zadovoljavaju potrebe, u složenim se sustavima može postići na različite načine, uz korištenje različitih varijanata rješenja. Ti se problemi rješavaju primjenom sustavnog inženjerstva ili sustavnog pristupa.

Proteklih dvadesetak godina razne međunarodne organizacije i stručne udruge bavile su se problemima upravljanja vodnim resursima kroz različite programe i međunarodne konferencije radi poticaja integralnog pristupa vodnim resursima. Na nacionalnoj razini, do sada su održane dvije Hrvatske konferencije o vodama s istim ciljevima. Metodologija integralnog pristupa upravljanja vodnim resursima sadrži fazu planiranja i fazu provođenja. Ovdje se bavimo samo planiranjem.

Rješavanje problema na razini planiranja može se poboljšati integralnim pristupom tako da se raspon planiranja proširi na različite dimenzije problema.

Treba usvojiti sustavno-analitički pristup koji uključuje sve značajne fizičke, gospodarske, društvene, kulturne, institucijske i organizacijske čimbenike problema. Posebno treba uključiti sljedeće čimbenike:

- *prostor*, povezivanjem korištenja zemljišta i planiranja slivnog područja s planiranjem riječnog bazena, uz poseban naglasak na rijeke, jezera, vodonosnike;
- *ciljevi upravljanja* usvajanjem višeciljnog pristupa planiranju, koji od samog početka uključuje ekološka i društvena obilježja zajedno s gospodarskim ciljevima;
- *učinkovitost plana*, uključivanjem planiranja strategija provođenja – realizacije, što obuhvaća sredstva za provođenje i potrebno financiranje te institucijsko i organizacijsko ustrojstvo;
- *varijante upravljanja*, za uključivanje ‘upravljanje potrebama-potrošnjom’ zajedno s opcijama povećanja opskrbe vodom na razini planiranja za razvoj i raspodjelu vodnih resursa;
- *planski tim*, treba uključiti stručnjake i znanstvenike s područja društvenih i prirodnih znanosti kao i potrošače vode i druge zainteresirane osobe.

Vodni se resursi često razvijaju u kontekstu odvojenih projekata koji nisu objedinjeni premda je sam hidrološki ciklus izniman primjer jedinstvenog, integralnog sustava. Interesi potrošača vode u okviru tog ciklusa se sukobljavaju zbog oskudnih lako dostupnih resursa/količina. U takvim prilikama teško je optimalno gospodariti vodama i mjeriti njihovu raspoloživost i kratkoročni i dugoročni utjecaj korištenja na resurse.

U tom okviru mogu se izdvojiti tri problema:

- *Rješavanje ekoloških, društvenih i kulturnih posljedica vodnogospodarskih projekata*. Oni se mogu smanjiti ako se studije takvih posljedica i mjere za njihovo ublažavanje uključe od najranijih faza planiranja, a ne nakon donošenja važnih odluka.

- *Integracija upravljanja cjelokupnim prostorom sliva i razvoja vodnih resursa.* Time će se omogućiti rješavanje problema erozije, taloženja, onečišćenja, poplavlivanja te drugih problema vezanih uz vode.
- Racionalna raspodjela vode za suprotstavljena korištenja u odnosu na produktivnost, ravnopravnost, održivost i druge ciljeve. U okviru toga je uključeno ‘upravljanje potrebama/potrošnjom’ pomoću odgovarajuće naplate vode, zajedno s tehničkim sredstvima za odgovarajuću raspodjelu te učinkovito korištenje i postizanje ravnoteže između potreba i raspoloživih količina za opskrbu.

3.3. Izbor načina upravljanja vodnim resursima

Svaki problem i izrada plana upravljanja vodnim resursima i njihova korištenja predstavlja poseban slučaj s različitim obilježjima, tako da je uvijek potrebno izabrati pristup koji će biti najprimjereniji određenoj situaciji. Zbog toga u projektnom programu najprije treba odrediti koji će se pristup primijeniti za rješavanje problema.

Model planiranja može se opisati na sljedeći način:

- Utvrđivanje ciljeva: Što naručitelj želi postići? Odgovor na ovo se može razjasniti ili promijeniti tijekom planiranja. U svakom slučaju, ciljevi koje želimo ostvariti moraju biti jasni od samog početka.
- Izrada programa izrade osnove i plana upravljanja: Koji pristup odgovara sadašnjem okruženju i stanju? Kako će planer raspodijeliti raspoloživa sredstva na različite faze i zadatke u postupku rješavanja problema?
- Prikupljanje podataka: Odgovarajuća količina i kakvoća podataka osnova su svakoga istraživanja.
- Određivanje varijanata: Koje su varijante izvodive, a ujedno mogu ostvariti ciljeve? Naručitelju treba pokazati najmanje dvije ili tri varijante.
- Izbor jedne varijante: Varijante se vrednuju s obzirom na ciljeve i kriterije. Konačnu odluku treba donijeti naručitelj.

Budući da je vodnogospodarsko planiranje dio strategije društveno-gospodarskog razvoja, potrebno je utvrditi ciljeve planiranja. Prema tome, može se zaključiti kako svaki planski model u ranim fazama realizacije ima dva zahtjeva: utvrđivanje i određivanje planskoga okruženja te izbor planskoga pristupa.

Osnova ili plan upravljanja imaju različito okruženje kojemu planer mora prilagoditi pristup problemu na samome početku planiranja. Plansko okruženje može se opisati pomoću tri osnovna elementa:

- ovlasti naručitelja
- područje planiranja, i
- faze/razine planiranja.

Planske ovlasti opisuju naručitelja ili vladu koji su odgovorni za plan.

Područje planiranja opisuje raspon istraživanja koje može biti višesektorsko, sektorsko, funkcionalno i elementarno (pojedinačno). Na primjer, višesektorsko planiranje je cjeloviti društveno-gospodarski razvojni plan nekoga područja, sektorsko planiranje je, primjerice, vodnogospodarska osnova, funkcionalno planiranje je plan pročišćavanja otpadnih voda, plan hidrotehničkih melioracija itd. kao funkcije vodnogospodarske osnove; vodoopskrbni sustav, spremnici, crpne stanice i dr. elementi su funkcionalnoga plana vodoopskrbe.

Faze (razine) planiranja opisuju razinu detaljnosti, a imaju raspon od općih do posebnih detaljnih planova. Opće faze planiranja su: planiranje strategije, okvirno opće

planiranje, predinvesticijsko planiranje, planiranje provođenja/izgradnje i izrada projektne dokumentacije.

Planiranjem strategije utvrđuju se opći ciljevi. Okvimo opće planiranje ili konceptualizacija plana utvrđuje potrebe, prilike i podatke te s tim u vezi i moguće potrebne dodatne studije. Planiranje radi opće procjene investicije, kao što je plan riječnoga bazena, još uvijek je dosta široko, ali daje potrebni smjer djelovanja i druge ekonomske pokazatelje za određivanje prioriteta pri planiranju provođenja (izgradnje). Planiranje provođenja (izgradnje) je detaljno planiranje kojim se vrednuju predložene strategije provođenja (izgradnje) i u okviru kojega se izrađuje idejno rješenje. Na kraju slijedi izrada projektne dokumentacije, tj. natječajne dokumentacije, specifikacija radova i materijala i izrada izvedbenog projekta.

Planski pristup rješenju problema ima tri elementa:

- *Planska kontrola* određuje koliku će planer imati kontrolu nad ciljevima i sredstvima za njihovo ostvarenje te nad izradom planske studije.
- *Nadzor-praćenje plana* može biti racionalno-sveobuhvatno i trajno ili povremeno-postupno. Područje obuhvata plana obično određuje način nadzora. Višesektorsko planiranje zahtijeva racionalni-sveobuhvatni i trajni nadzor dok funkcionalni i elementarni planovi zahtijevaju povremeni-postupni nadzor.
- *Strogost-preciznost* je razlika između detaljnoga planiranja i općega planiranja. Faza plana određuje preciznost, tako da planiranje strategije i opće planiranje spadaju u planiranje postupka jer ne postoji dovoljna količina raspoloživih informacija koja omogućuje detaljnije planiranje. Kako planiranja napreduju, više je informacija i podataka, tako da je planiranje detaljnije, stoga planiranje radi procjene investicija, planovi provođenja/izgradnje i izrada projekta spadaju u detaljno projektiranje.

3.4. Održivi razvitak

Postoje brojne definicije o tomu što je održivi razvitak. Opća definicija glasi: 'razvoj koji zadovoljava sadašnje potrebe a ne ugrožava mogućnost da i buduće generacije zadovolje svoje potrebe'.

Kad se govori o prirodnim resursima, definicija je još određenija: »*Bit održivoga razvoja je da se prirodni resursi moraju koristiti tako da ih jednako ili bolje mogu koristiti buduće generacije. U skladu s tim, održivi razvoj vodnih resursa od nas zahtijeva poštivanje hidrološkoga ciklusa tako da se kapacitet obnovljivih vodnih resursa ne smanji nakon drugotrajnoga korištenja*«.

Etika pristupa održivoga razvitka uključuje:

- ekološku cjelovitost i biološku raznovrsnost radi osiguranja zdravoga okoliša;
- dinamička (promjenljiva) gospodarstva; i
- društvene jednakosti sadašnjih i budućih generacija.

Načela održivog upravljanja vodama su sljedeća:

- Provođenje integralnoga upravljanja vodnim resursima:
 - povezivanjem kakvoće vode, količine vode i upravljanja drugim resursima;
 - uzimanjem u obzir hidroloških, ekoloških, društvenih i institucijskih sustava; i
 - uzimanjem u obzir važnosti granica slivova i vodonosnika.
- Poticanje očuvanja voda i zaštite kakvoće voda:
 - prepoznavanjem vrijednosti i ograničenja kapaciteta vodnih resursa te troškova za osiguranje dovoljnih količina vode tražene kakvoće;
 - prepoznavanjem razlika troše li vodu ljudi ili druga živa bića kao trajno utrošenih količina ili samo uporabe vode uz naknadno vraćanje u sustav;

– uravnoteženom primjenom izobrazbe, zakona tržišta i zakonodavnih sustava radi poticanja korisnika na plaćanje korištenja resursa.

• Rješenje problema upravljanja vodama:

- primjenom planiranja, istraživanja i nadzora;
- osiguranjem višedisciplinarnih informacija za potrebe odlučivanja;
- aktivnim sudjelovanjem svih zainteresiranih strana i javnosti;
- pregovorima i posredovanjem radi postizanja dogovora; i
- poticanjem odgovornosti razgovorima, izobrazbom i javnim pristupom

informacijama.

Vodnogospodarski stručnjaci i znanstvenici moraju prihvatiti takav pristup i preoblikovati ga u načela za projektiranje, upravljanje i održavanje vodnih resursa i vodnogospodarskih sustava — VGS. Taj pristup je detaljno objašnjem u dokumentima Konferencije u Rio de Jeneiru (UNCED, 1992.). Kod inženjerskoga rješavanja problema, pojam održivosti se tradicionalno poštovao iako je terminologija bila različita, tako da njegova primjena nije novost. Problemi nastaju kada se koncept mora prenijeti u područje razvoja ili na političku razinu rješavanja problema. Postavljeni se ciljevi mogu ostvariti primjenom sustavne analize za gospodarsko i ekološko planiranje, razvoj i upravljanje.

Integralno planiranje i upravljanje može se definirati kao trajno upravljanje razvojem čiji je cilj usklađivanje gospodarskoga rasta i društvenoga razvoja sa zaštitom i unapređenjem okoliša, tj. osiguranje održiva razvoja. Bitna komponenta planiranja je integracija upravljanja okolišem i razvojem.

Uobičajeni postupak planiranja sustava vodnih resursa sastoji se od pet faza:

1. početak planiranja izrade plana;
2. prikupljanje i obrada podataka;
3. formuliranje, razrada i odabir varijanata;
4. javna rasprava; i
5. izrada konačnog dokumenta.

Tradicionalni pristup planiranju sastoji se od utvrđivanja pognoze potreba, određivanja obuhvata i planskog razdoblja kao odgovor na političke zahtjeve (Young, 1996.). Rad na osnovi ima cilj oblikovati traženi sustav, odnosno rješenje. Planiranje održivog razvitka ne razlikuje se zapravo od ovog pristupa. Njime se unose i ističu dodatni kriteriji, koji doprinose ostvarenju koncepta održivog razvoja. U održivom pristupu upravljanja vodnim bogatstvima govori se o otvorenom sustavu. Uz zadovoljavanje potreba za vodom brine se o tomu da se raspoloživi kapaciteti ne smanjuju zbog onečišćenja, da se voda štedi, da se racionaliziraju potrebe, da se ne oštećuje okoliš. Pristup je sveobuhvatan i uravnotežen s obzirom na potrebe i opskrbu. Da bi održivi razvoj bio uspješan, sam postupak (s obzirom na stvarne potrebe) mora biti usmjeren od dna prema vrhu polazeći od mogućih korisnika. Naravno da postoje situacije kada je potreban pristup od vrha prema dnu, kada aktivnosti moraju započeti na višoj, državnoj razini kako bi se osigurao uspjeh projekta. Tipične djelatnosti na višoj razini u ostvarenju održivoga razvoja jesu:

strategija i smjernice;

- osnovni podaci istraživanja;
- planiranje;
- pregled i primjedbe;
- tehnička i financijska pomoć;
- zakonodavstvo;
- upravljanje resursima u vlasništvu države i lokalnih vlasti.

Veliki i složeni društveno-gospodarski problem kao što je održivo planiranje, razvoj vodnih resursa i upravljanje njima može se riješiti samo sustavnom analizom – pristupom.

Prirodne značajke utječu na društveno-gospodarsku sredinu koja se na njima zasniva, a čine osnovu gospodarskog razvoja regije. Prirodne i društveno-gospodarske značajke su uvijek međusobno ovisne.

Vodnogospodarska osnova je uvijek sektorski plan koji ujedno mora biti dio planiranja višesektorskoga razvoja. Višenamjensko korištenje vode za sve ljudske djelatnosti, zaštita od štetnih utjecaja vode te zaštita voda kao dijela okoliša jasno pokazuju da su planiranje vodnih resursa, upravljanje njima i njihovo korištenje usko vezani uz planiranje i razvoj cjelokupnoga gospodarstva i društva u najširem smislu. Izrada planova upravljanja vodnim resursima i njihova korištenja smatra se interaktivnim postupkom izrade plana prostornoga i gospodarskog razvoja.

Kod vodnogospodarskoga planiranja treba strogo poštivati hijerarhiju planiranja, uzimajući u obzir i zemljopisna obilježja i faze planiranja. Primarni cilj vodnogospodarskog planiranja je stvaranje osnovnoga okvira za metodično i integralno planiranje i provođenje programa i projekata vezanih uz vodne resurse te za racionalno upravljanje vodnim resursima u skladu s cjelokupnim državnim (regionalnim) ciljevima društveno-gospodarskog i prostornoga razvoja. Da bi se ti ciljevi ostvarili, vodnogospodarska osnova i plan upravljanja riječnim slivom trebaju:

- osigurati odgovarajuće količine i kakvoću vode za sve potrebe tijekom vremena na traženim mjestima;

- osigurati cjeloviti i integralni pristup vodnogospodarskom i društveno-gospodarskom (prostornom) razvoju, posebno s obzirom na međuodnose i djelovanje upravljanja vodama i zemljištem;

- utvrditi mjere i/ili vodnogospodarske razvojne projekte za povećanje učinkovitosti vodoopskrbe i korištenja vode;

- utvrditi probleme vezane uz vodne resurse te postaviti prioritet ostvarenja (izgradnje) vodnogospodarskih razvojnih projekata;

- preporučiti provođenje financijskih i gospodarskih strategija koje podjednako raspodjeljuju troškove vodnoga gospodarstva i stimuliraju najekonomičnije korištenje vodnih resursa;

- pridonositi uspješnom provođenju cjelokupnih državnih (regionalnih) društveno-gospodarskih razvojnih planova kojima su obuhvaćene vode i more.

4. Integralno upravljanje količinom i kakvoćom vodnih resursa

4.1. Uvod

Svijet se susreće s ozbiljnim, rastućim izazovima za očuvanje kakvoće vode i mogućnošću da zadovolji rastuću potražnju vodnih resursa. Nova izvorišta vode su vrlo skupa u eksploataciji i ograničavaju nove potrošače vode. Nove strategije razvoja i upravljanja vodama trebale bi ublažiti nedostatke vode na lokalnoj i nacionalnoj razini. Integralno upravljanje vodama morao bi biti pravi pristup za održivost vodnih resursa. Na razini slivnog područja odluke o korištenju voda imaju široke ekonomske implikacije. Slivno područje je osnovna teritorijalna jedinica za analize i upravljanje vodnim resursima.

Na konferenciji UN o okolišu i razvoju – UNCED, u temeljnom dokumentu konferencije, u Agendi 21, poglavlje 18 također se naglašava, da je razvoj interaktivnih baza podataka, prognoznih modela, ekonomskih planskih modela i metoda za planiranje i upravljanje vodama potrebno bazirati na slivnom području [UNCED, 1992.].

Zadatak upravljanja potražnjom vode je ušteda vode, fizičke uštede vode i ekonomske uštede, koje se postižu povećanjem učinkovitosti korištenja voda, smanjenjem zagađenja voda, smanjivanjem gubitaka vode itd.

Raspodjela raspoložive vode u rječnom slivu je kritično pitanje. Održivost budućeg ekonomskog rasta i stanja okoliša u velikoj mjeri ovise o tome. Riječni slivovi su kompleksni sustavi s većim brojem međuovisnih komponenata. Zato su potrebni učinkoviti analitički pristupi, koji će omogućiti racionalne odluke o vodnim resursima. Samo se tako može ostvariti strategija održivog korištenja voda u slivnom području.

4.2. Koncept integralnog upravljanja

4.2.1. Upravljanje vodama

Upravljanje vodnim resursima uključuje strukturalne i nestrukturalne mjere, aktivnosti i politiku. U tradicionalnom strukturalnom i inženjerskom pristupu, upravljanje vodama je činilo projektiranje odgovarajućih hidrotehničkih građevina, koje su zadovoljavale kriterije sigurnosti, trajnosti i ekonomske kriterije. Pristup je sadržavao kratkoročne aktivnosti rada i održavanja postojećih objekata, te dugoročne planove investiranja za nove objekte. Od sredine dvadesetog stoljeća razvija se nestrukturalni pristup. Hidrolozi su istraživali optimalna pravila ponašanja hidrološkog sustava; ekonomisti su primjenjivali metode optimalizacije u raspodjeli i korištenju vodnih resursa; sociolozi su istraživali ponašanje zajednice i procese vezane uz donošenje odluka o upravljanju vodama. Institucionalne smjernice, ekonomsko/financijske inicijative i hidrološki modeli su uvelike modificirali tradicionalni inženjerski pristup.

Interdisciplinarni karakter pojave i uporabe voda, nove metode, integrirati će tehničke, ekonomske okolišne, društvene i pravne aspekte u koherentni okvir. Razvoj i upravljanje vodnih resursa uključuje pitanja okoliša, ekonomske i društvene činjenice, koje bi se trebale temeljiti na principima održivosti. Moraju biti uključene potrebe svih korisnika voda, zatim zaštitu voda itd.

Takvo upravljanje vodama čini integralni dio društveno-ekonomskog procesa planiranja [Gereš, 2000.]. Funkcija cilja je važan instrument, koji oslikava pravila, principe i ograničenja upravljanja vodama. Neki od kriterija planiranja se primjenjuju u višeciljnoj analizi, tradicionalnom pristupu za rješavanje problema upravljanja vodama. Ekonomske ciljne funkcije se lakše mogu kombinirati s hidrološkim modelima nego što je to slučaj s okolišem ili kriterijima socijalne dobrobiti, koje je često teško kvantificirati. Tradicionalni način jest da se svi kriteriji prikažu u bezdimenzionalnim vrijednostima, poredani po težini, koja se određuje za svaki kriterij.

Ovi su principi prihvaćeni, u najmanju ruku *de jure*, od svih međunarodnih tijela, kao što je vidljivo iz dokumenata Dublinske konferencije, 1992. kao i konferencije UNCED, 1992. Dokumenti Svjetske banke naglašavaju potrebu upravljanja potražnjom vode, koje je usmjereno inicijativama i mehanizmima promocije zaštite voda i učinkovitog korištenja voda [Serageldin, 1995.]. Novoosnovana svjetska udruženja, kao Opće vodno partnerstvo (*Global Water Partnership – GWP*) i Svjetski vodni savjet (*World Water Council – WWC*), naglašavaju potrebu integralnog upravljanja vodama [GWP i WWC, 1998.].

4.2.2. Sustav slivnog područja

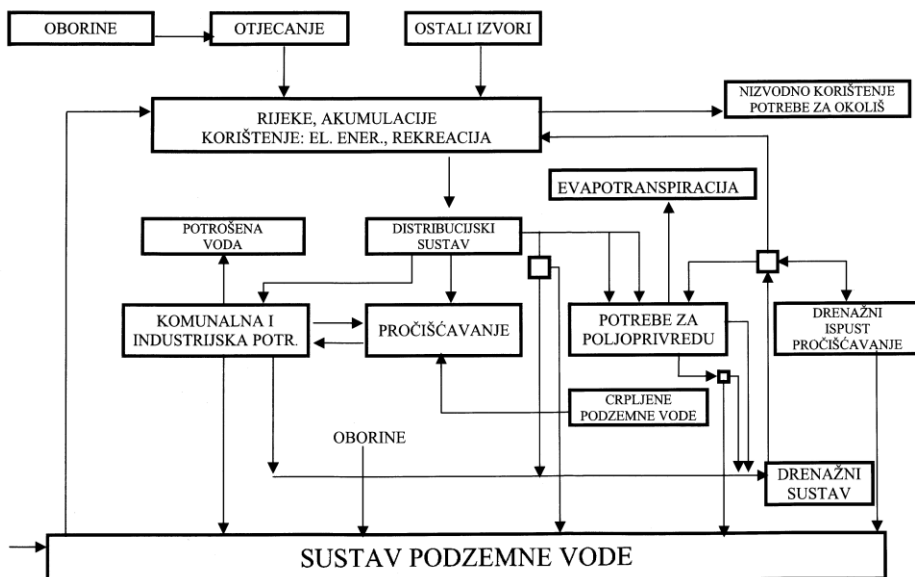
Sustav slivnog područja sastoji se od tri komponente:

1. komponente izvorišta vode, kao što su rijeke, kanali, akumulacije i vodonosnici;
2. komponente potražnje vode korisnika (gradovi, industrija, navodnjavanje, proizvodnja električne energije, rekreacija, potrebe okoliša);
3. međukomponente, kao što su uređaji za pročišćavanje vode, reciklaža vode itd.

Slika 3 prikazuje shematski dijagram komponenata sustava slivnog područja, koji uključuje sustav opskrbe vodom (površinska i podzemna voda), sustav za isporuku vode, sustave uporabe vode te odvodne sustave.

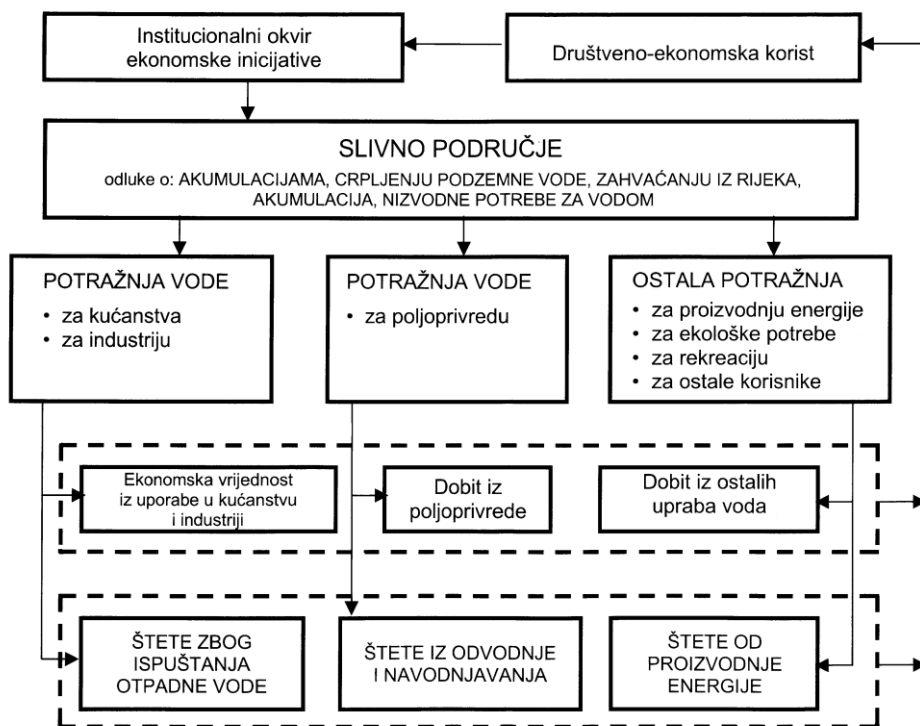
Atmosfera tvori gornju granicu sustava slivnog područja. Izmjena masa i energije u kroz tu granicu određuje hidrološke karakteristike slivnog područja. Pored toga, stanje sustava slivnog područja (akumuliranje vode i vodonosnici te kakvoća vode, npr.) i fizički procesi unutar područja (npr. tok vode, evapotranspiracija, infiltracija i perkolacija) su pod utjecajem ljudskih aktivnosti, uključujući razvod vode, navodnjavanje, odvodnju i odvod vode iz urbanih područja. Modeliranje upravljanja vodama slivnog područja zbog toga uključuje, uz fizičke procese i vodne građevine (može se to nazvati 'hardware') i politiku upravljanja vodama ('software'). Kompletan model, idealan, trebao bi imati i podmodel o ponašanju ljudi u odnosu na političke inicijative. Osnovni odnosi unutar svake komponente i međudodnosi između tih komponenata u slivnom području čine okvir integralnog modeliranja.

Ovdje se koncentriramo na istraživanje pitanja upravljanja slivnim područjem i općenito pretpostvlljamo da opskrba vodom počinje iz rijeka, akumulacija i vodonosnika. Ulazi u te podsustave mogu se računati pomoću modela oborine – otjecanje, što je izvan predmeta ove studije.



Slika 3: Shematski prikaz procesa na slivnom području

Slika 4. prikazuje okvir za modeliranje upravljanja vodama slivnog područja.



Slika 4: Shema za modeliranje upravljanja slivnim područjem

Cilj je modeliranja maksimaliziranje društveno-ekonomske koristi uporabe voda iz slivnog područja. Uz pozitivne doprinose iz ekonomske vrijednosti komunalne i industrijske opskrbe vodom, dobiti iz poljoprivrede te koristi od ostalih načina uporabe vode uključene su također štete u okolišu izazvane ispuštanjem otpadnih komunalnih i industrijskih voda, štete od navodnjavanja te potencijalni negativni utjecaji ostalih korisnika vode. Pretpostavlja se kontrola sustava najviše razine i to iz institucionalnog okvira, tj. zakona o vodama i sl., te ekonomskih inicijativa, kao što su npr. cijene vode, cijene poljoprivrednih proizvoda, naknade za ispuštanje otpadne vode svih korisnika. Ta kontrola iz 'gornjih razina' ograničava ili potiče rad hidrološkog sustava u okvirima potražnje vode svih korisnika. Raspodjela raspoložive vode između svih korisnika određena je propisima, organizacijskim strukturama i ekonomskim inicijativama. Hidrološki sustav djeluje između sustava korištenja komunalne i industrijske vode, hidromelioracijskog sustava te sustava ostalih korisnika vode. Može se reći da se hidrološki sustav pokreće sustavima za korištenje vode, a u isto vrijeme, ti su sustavi ograničeni hidrološkim sustavom.

Upravljanje količinom i kakvoćom vode u slivnom području je temeljeno na radu sustava rezervoara, vodonosnika i zajednici sustava površinskih i podzemnih voda. Razlika između analiza u ovom mjerilu i studija pojedinačnih rješenja jest u tome što ovdje radimo u mjerilu slivnog područja: distribucija toka vode, čiste i onečišćene, distribucijski podsustavi, kanali u hidromelioracijskim sustavima, akumulacije i vodonosnici te svi objekti za korištenje voda. Spojevi između izvorišta vode i uporabe voda te između korisnika uzvodne i nizvodne vode su vrlo važni a ostvaruju se uključanjem

povratnog toka vode u model. Regulacija prostorno distribuiranih izvora toka, zagađivača i potražnje vode mora se uzeti u obzir te je potrebno matematičke modele temeljiti na integralnoj riječnoj mreži slivnog područja.

4.3. Upravljanje količinom i kakvoćom voda

4.3.1. Općenito

Prijelaz od jednonamjenskih vodnogospodarskih projekata prema višenamjenskim projektima odvijao se postepeno u prošlosti. Standardi kakvoće vode morali su biti specificirani unaprijed i tada su se koristili kao pokretačke snage u procesu određivanja elemenata vodoopskrbe i odvodnje otpadnih voda. Danas je pristup drukčiji. Ciljevi vodoopskrbe i zaštite voda se sve više integriraju u analitički okvir, temeljen na fizikalnim međudnosima između tečenja vode i uzroka istog, kao i na postavkama društveno-ekonomskih odnosa i unaprijeđenja okoliša.

Integralno upravljanje količinom i kakvoćom vode primijenjuje se u analizi akumulacija, korištenju podzemne vode, zajedničkoj uporabi površinske i podzemne vode, upravljanju hidromelioracijskih sustavima te u radu sustava na razini slivnog područja.

Ciljevi upravljanja kakvoćom vode jesu:

- zadovoljenje standarda voda za vodoopskrbu,
- kontrola kakvoće vode nizvodno, uključujući povišenje biološkog minimuma,
- održavanje kakvoće podzemne vode,
- kontrola vode na poljoprivrednim površinama i kontrola drenažne vode.

Matematički modeli se široko primjenjuju za analize i u procesu donošenja odluka iz domena upravljanja količinom i kakvoćom voda. Modeli se sastoje od simulacijskih modela, optimalizacijskih ili kombiniranih modela.

4.3.2. Modeliranje na razini podsustava

Daje se pregled matematičkih modela za integralno upravljanje količinom i kakvoćom voda. Detaljni pregledi ove materije nalaze se u [Loucks, 1996.; Yeh, 1996. i Replogle i dr., 1996.]. U integralnim modelima upravljanja vodama na razini slivnog područja primijenjuju se tehnike sustavne analize, linearno i nelinearno programiranje, dinamičko programiranje, stohastičke tehnike i višeciljne analize. Obraditi će se upravljanje akumulacijama, podzemnom vodom, zajednička uporaba površinske i podzemne vode te upravljanje hidromelioracijskim sustavom.

1. *Upravljanje akumulacijama*

Do sredine 1980-tih godina modeli riječnog sliva bili su uglavnom usmjereni na funkcioniranje glavne infrastrukturne komponente većine sustava, na akumulacije.

Može se izvršiti klasifikacija modela u dvije grupe:

- a) nizvodna kontrola kakvoće vode, bez uzimanja u obzir kakvoću vode u akumulaciji,
- b) kontrola kakvoće vode u akumulaciji i nizvodnom toku (Dandy i Crawley, 1992.), i (Nandal i Bogardi, 1995.).

Autori su istraživali problem rada akumulacije u realnom vremenu. Cilj je bio kontrola malih i velikih voda. Koristili su dinamičko programiranje za identifikaciju maksimalnih optjecaja. Harboe (1992.) je primijenio višeciljnu tehniku za identifikaciju optimalnih pravila pogona akumulacija. Kao ciljeve je koristio proizvodnju električne

energije, opskrbu vodom, obranu od poplava, povećanje malih voda, pouzdanost, rekreaciju i kakvoću voda. Nandal i Bogardi, 1995., su kombinirali jednadžbe količine i kakvoće vode u jedinstvenom optimalizacijskom modelu, koji uključuje ulaze i izlaze iz akumulacije. Upotrijebili su dinamičko programiranje za određivanje načina upravljanja akumulacijom.

2. Upravljanje podzemnom vodom

Podzemna voda je glavno izvoriste vode za urbana područja, kao i za poljoprivrednu proizvodnju. Simulacija količine i kakvoće podzemne vode se temelji na jednadžbama toka podzemne vode i disperziji zagađenja u saturiranoj sredini. Primjena metoda konačnih razlika i konačnih elemenata omogućila je numeričko modeliranje kompleksnih, stvarnih sustava. Simulacija ponašanja vodonosnika je tipičan primjer okvira upravljanja podzemnim vodama. Veći je broj istraživanja usmjerenih na rješenja upravljanja kakvoćom vode s poznatim poljem brzina vodonosnika, u integriranom pristupu za količinu i kakvoću vode. U tim se slučajevima moraju simultano rješavati jednadžbe transporta zagađenja i jednadžbe tečenja podzemne vode. Pojavljuje se nelinearnost kao posljedica nepoznavanja koncentracije i nepoznavanje komponenti brzine toka.

3. Zajedničko upravljanje površinskom i podzemnom vodom

U literaturi se nalaze mnoge studije o zajedničkoj uporabi površinskih i podzemnih voda. Zajedničko upravljanje s oba vida voda može doprinijeti povećanju učinkovitosti, sigurnosti uporabe i boljim ekonomskim rezultatima korištenja voda (Yeh, 1996., Gereš i Šperac, 1998.). Neki autori koriste višeciljnu simulacijsko/optimalizacijsku tehniku za upravljanje rječnim slivom, za tri problema upravljanja: raspodjelu resursa pri uporabi, kontrolu kakvoće vode i prevenciju precrcpljivanja podzemne vode.

4. Upravljanje hidromelioracijskim sustavom

Fizikalna osnova za integralno upravljanje količinom i kakvoćom vode uključuje dinamiku vlažnosti tla i eventualno kretanje soli u zoni korjena biljke. Ovi odnosi su općenito opisani Richardovim jednadžbama. Iza 1970-tih se intenzivno istražuju ti fizikalni odnosi kombinirani s strategijama upravljanja i ekonomskim inicijativama (Parsons, Skags i Daty, 1991.). Modeli se mogu podijeliti na: kratkoročne, dugoročne i proširene dugoročne modele.

Kratkoročni modeli su ograničeni na jednu godinu ili na jednu sezonu. Ovi modeli koriste inicijalne vrijednosti, analiziraju optimalnu kombinaciju količine i kakvoće vode za početno stanje ali ne uzimaju u obzir zbirne efekte u vremenu.

Dugoročni modeli sadrže rezultate kratkoročnih procesa i početnih uvjeta, koji su uvjetovani ranijim razdobljem. Odluka o npr. navodnjavanju u jednoj sezoni donosi se temeljem uvjeta i njihovih učinaka na sukcesivno razdoblje.

Prošireni dugoročni modeli uključuju akumulaciju soli u profilu tla i njihovu akumulaciju u podzemnoj vodi. U tom slučaju se razmatra tečenje vode i pronos nanosa u tlu i u podzemnoj vodi. Druga grupa ovih modela rješava pitanja vremena navodnjavanja, što predstavlja problem konačnog stohastičkog višestupnog procesa (Bras i Seo, 1987.). Stohastičko dinamičko programiranje je dobro rješenje za probleme s povratnom vezom. Dinamičko se programiranje koristi za rješavanje kratko- i dugoročnih problema, dok se simulacija i optimalizacija koriste za proširene dugoročne modele. Linearno programiranje se primjenjuje za upravljanje količinom i kakvoćom vode u hidrotehničkim melioracijama.

U radu s gore opisanim modelima počinje se od rijeke, jezera ili vodonosnika i rješavaju se pitanja osiguranja vode za navodnjavanje. Otvoravanje se također može

simulirati modelima. Može se početi od mikrorazine stvaranja otjecanja, postepeno se zatim povećava mjerilo modela te se empirijskim modelima, na razini slivnog područja, rješavaju ulazi/izlazi. Širok je izbor literature o modelima oborina – otjecanja za poljoprivredne namjene.

Tri su glavna pristupa modeliranju odnosa oborina – otjecanja:

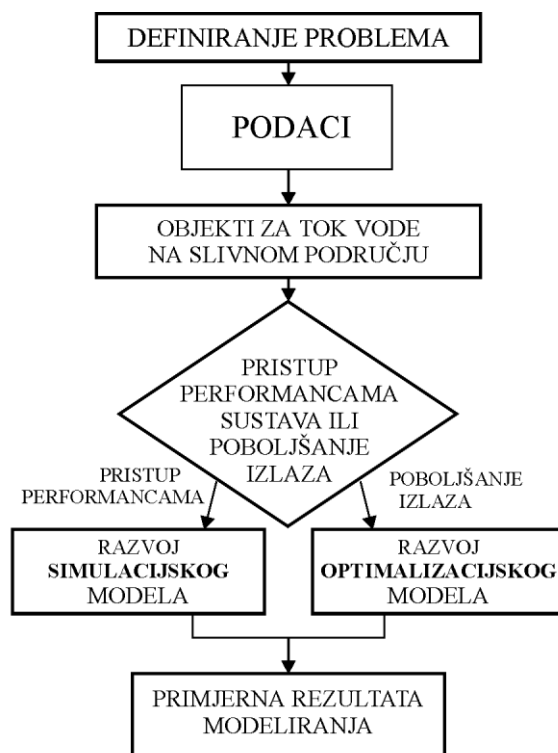
- deterministički jednodimenzionalni model,
- parametarski model cijelog slivnog područja,
- modeliranje sliva na bazi doprinosa dijela površine (eng. PAC).

4.3.3. Modeliranje na razini slivnog područja

Za analize u mjerilu slivnog područja od posebne su važnosti dva osnovna tipa modela:

- modeli koji simuliraju ponašanje vodnih resursa, suglasno s unaprijed postavljenim pravilima (stvarnim ili hipotetičkim). Ovi modeli pokrivaju podjelu vode i rad objekata sustava;
- modeli koji optimaliziraju i izabiru način korištenja vodnih resursa i infrastrukture. Modeli se temelje na ciljnoj funkciji (ekonomskoj ili drugima) i pridruženim ograničenjima.

Slika 5. shematski pokazuje ove tipove modela u mjerilu slivnog područja. Modeli se mogu koristiti i simultano.



Slika 5:
Shema primjene
modela slivnog područja

U optimalizacijskim modelima mogu se hidrološke interakcije uzduž glavnog vodnog toka i njegova uporaba opisati s manje detalja nego u slučaju ako je potrebno obuhvatiti ukupnu dinamiku vodnih resursa. Ovi modeli daju veliki broj podataka i analiza potrebnih za podršku odlučivanju u mjerilu sliva. Oni predstavljaju znanstveni pristup za identifikaciju, testiranje i uspješnu primjenu racionalne i učinkovite strategije upravljanja vodama.

4.3.4. Razvoj modela slivnog područja

Razvoj i primjena matematičkih modela za prognozu hidrometeoroloških procesa potječe od Richardsona, 1922. Veliki je napredak u razvoju modela ostvaren mogućnošću računala da se rješavaju numerički modeli kompleksnih hidroloških procesa. Model SIMYLD-II (Texas WDB, 1972.) je sustavno primijenio programiranje tečenja u mreži za simulaciju sustava rijeka – akumulacija. U 1980-tim godinama zabilježen je veliki razvoj modela vodnih resursa. Wurbs, 1995., prikazuje modele razvijene u SAD. Organizacije u okviru UN također razvijaju ove modele (UN, 1994.). Isto tako i Svjetska meteorološka organizacija i druge međunarodne organizacije razvijaju modele za optimalno korištenje voda u slivnom području.

1. *Simulacijski modeli*

Modeli slivnog područja kao ulazne veličine upotrebljavaju hidrološke podatke i to opažene nizove podataka, stohastičke ili hipotetičke podatke. Simuliraju ponašanje različitih hidroloških varijabli, varijabli kakvoće vode, ekonomskih i ostalih varijabli u uvjetima različite raspodjele vode korisnicima i uvjetima infrastrukturnih objekata. Modelima se procjenjuju performanse vodnih sustava. Simulacijski modeli, za razliku od optimalizacijskih modela, procjenjuju performanse sustava u duljem razdoblju: za razdoblje realne prognoze protoka i količina te potražnje vode. Zato je to preporučljiva tehnika za procjenu odgovora vodnog sustava na ekstremne – neravnotežne uvjete, ili za razvoj sustava u odnosu na niz održivih kriterija, koji mogu sezati desetljeća unaprijed. Hidrološki simulacijski modeli su presudni u prognozi vodnih sustava u uvjetima globalnih klimatskih promjena, suša, te naglih promjena prioriteta zahtjeva za vodom korisnika.

Posebno su značajni modeli koji simuliraju slivno područje. U mnogim dijelovima svijeta se primjenjuje veći broj ovakvih modela. U tim je modelima standard simulacija kakvoća vode. Rani modeli ovog tipa bili su bezdimenzionalni, pretpostavljalo se ukupno miješanje i vremenski ovisne varijacije varijabli kakvoće vode, kao i temperature vode, otopljeni kisik i biološka potreba kisika – BPK. Kasniji modeli su uključivali prostornu varijabilnost i omogućavali su simulacije kompleksnijih varijabli. Današnji trodimenzionalni modeli uključuju mnoge realne procese, koji utječu na kakvoću vode.

Europski hidrološki sustav – SHE je zajednički razvijen u Hidrološkom institutu Velike Britanije, u SOGREAH u Francuskoj i u Danskom hidrauličkom institutu – DHI (Abbot i dr. 1986.). SHE je distribuirani i fizikalno osnovan modelski sustav za opis glavnih procesa tečenja vode za sve kopnene faze hidrološkog ciklusa. Verzija MIKE SHE (DHI, 1995.) ima veći broj modula za pojedine specifične probleme u slivnom području, kao što su kakvoća voda, erozija tla ili melioracije. Slijedeći je model MIKE BASIN, alat za upravljanje vodnim sustavom, koji je razvijen u DHI. Strukturiran je kao mrežni model, u kojem su vodotok i glavni pritoci predstavljeni mrežom i čvorovima. Ovaj model koristi grafički interace s spojem na ArcView GIS. Izlazi iz modela daju informacije o performansama svakog pojedinog rezervoara i melioracijske sheme u simulacijskim razdoblju, pokazujući frekvenciju i veličinu nedostatka vode. Mogu se obraditi kombinirani učinci izabranih shema na tečenje u rijeci putem simulacije vremenskih serija protoka u rijeci na svim čvorovima (DHI, 1997.).

2. *Optimalizacijski modeli*

Modeli koji optimaliziraju vodne resurse su bazirani na ciljnoj funkciji, kriterijima i ograničenjima. Ovi modeli moraju imati simulacijsku komponentu, s kojom se računaju

hidrološka tečenja i utvrđuje bilanca voda. Značajna prednost ovih modela u odnosu na simulacijske modele je u tome, što mogu uključiti u razmatranje društvene vrijednosti sustava pri raspodjeli voda. U literaturi je prikazan veći broj ovih modela.

3. Integracija simulacijskog i optimalizacijskog procesa

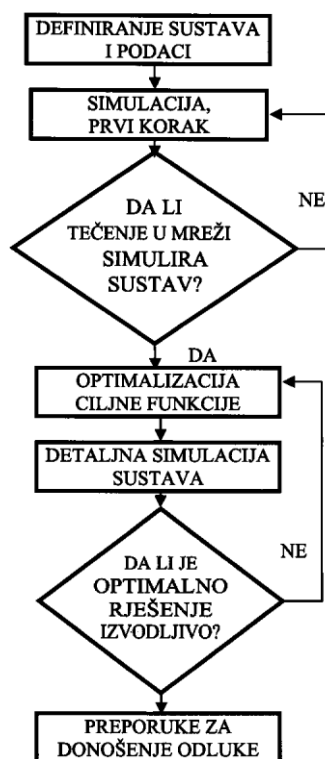
Modeli za otpimalizaciju slivnog područja moraju imati mogućnost da opišu hidrološki režim i da izračunaju ciljnu funkciju. Također mora se dobiti optimalna alokacija vodnih resursa. Sve je to potrebno donosiocima odluka. EUREKA-ENVINET INFOSYST je jedan od integriranih modela, sadrži sofisticirani sustav za podršku odlučivanju za integralno upravljanje slivnim područjem, koji je razvijen u Europi, 1992. godine. Od modela se očekuje da pruži metodologiju za planiranje i upravljanje vodnim resursima, uključujući rijeke, vodonosnike, jezera, akumulacije, obalne vode. Ugrađen je princip održivosti (Fedra i dr., 1993.). Planiran je da itegrira GIS, baze podataka, sustav upravljanja, optimalizacijske tehnike i ekspertni sustav.

U SAD (Faisal i dr. 1997.) je razvijen integralni model za podzemnu vodu. Hidrološki režim toka je opisan linearnom matricom, što omogućuje superpoziciju učinka upravljanja u različitim mjestima vodonosnika.

Optimalizacijski pristup, s naglaskom na proizvodnju električne energije, razvili su Tejada-Gilbert i dr. 1995. Model koristi stohastičko-dinamičko programiranje – SDP za niz veličina dotoka, temeljeno na četiri scenarija: godišnji i mjesečni prosjeci; vjerojatna raspodjela; lanac Markova i sofisticiranu hidrologiju dotoka.

Simulacijski i optimalizacijski modeli vodnih resursa u mjerilu slivnog područja su dopunski istraživački alat. Osnovno je za oba tipa modela da su potrebni brojni podaci.

Iz sheme na slici 6 vidi se da se u prvom koraku simulacijom osigurava da količine vode, volumeni akumulacije, ispuštanje voda i dr. odražavaju stvarno stanje. Naredna formulacija i primjena optimalizacije obrađuje vrijednosti niza varijabli, koje optimaliziraju rad sustava. Detaljniji simulacijski model, temeljen na optimalizacijskom modelu, zatim određuje politiku, određuje se izvodljivost u odnosu na pogon infrastrukture kao i komponente sustava.



Slika 6: Slijed optimalizacijskog i simulacijskog modela za dobivanje optimalnog rješenja

4.4. Matematički hidrološki modeli

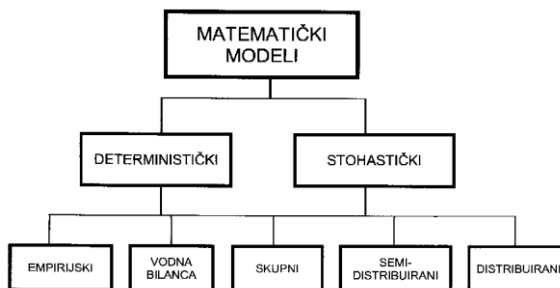
4.4.1. Klasifikacija hidroloških modela slivnog područja

Hidrološki matematički modeli se mogu klasificirati u dvije glavne grupe:

- a) deterministički modeli i
- b) stohastički modeli.

Deterministički modeli se baziraju na pretpostavci da su hidrološki događaji posljedica temeljnih procesa kruženja vode u prirodi. Događaji su ograničeni nizom početnih i rubnih uvjeta. Stohastički modeli pokušavaju izraziti nepredvidljivost prirode, izražavajući hidrološke događaje putem vjerojatne raspodjele. U tom se slučaju pretpostavlja da se opseg događaja može izvesti iz jednog niza početnih uvjeta. Klasifikacija modela je prikazana na slici 7.

Slika 7:
Hijerarhijska klasifikacija matematičkih modela



Ako se ispravno primjene ne postoji suštinska razlika između determinističkog i stohastičkog pristupa. U mikromjerilu svi hidrološki procesi mogu biti deterministički. Deterministički modeli zadovoljavaju u slučaju kada istražujemo poboljšanje uporabe vode u slivnom području iz razloga, što smo zainteresirani za kratkoročne učinke na vodne resurse, izazvane promjenom načina upravljanja slivom. Stohastički modeli zahtijevaju duge vremenske nizove podataka da bi se mogla dobiti vjerojatna raspodjela.

4.4.2. Mjerilo modela

Praktično je nemoguće simulirati sve fizikalne procese u hidrološkom sustavu, iako te procese možemo redovito sve identificirati. Zato se u modeliranju određuju i simuliraju najvažniji procesi. Ključni procesi u hidrološkom ciklusu variraju u ovisnosti o mjerilu, u kojem promatramo sustav, kao što je prikazano na slici 8. Npr., u malom mjerilu, generiranje otjecanja ovisi o lokalnoj vlažnosti tla i biljnom pokrovu. U većem mjerilu, topografija može postati važniji uvjet otjecanja. U većem mjerilu, fizikalni procesi iskazuju neku vrstu prosjeka dominantnih procesa u manjem mjerilu. Iz ovoga slijedi da se ključni procesi mijenjaju u ovisnosti o mjerilu analize. Na isti se način ponašaju i simulacijski modeli. Većina fizikalnih modela opisuje procese u mikroskopskom mjerilu, u kojem je ponašanje relativno determinističko. Da bi zadržali fizikalni pristup, metoda bi morala omogućiti da se takvi opisi u malom mjerilu mogu učinkovito promijeniti u većem mjerilu. To se definira kao učinak mjerila.

Slika 8:
Ovisnost ključnih
procesa o mjerilu

DRUŠTVENE POKRETAČKE SNAGE	MJERILO	BIOLOŠKO- FIKALNE POKRETAČKE SNAGE
Razvoj infrastrukture Stanovništvo migracija Cijene Tržište	NACIONALNO I MEUDRŽAVNO	Godišnje oborine Godišnje temperature Sezonski podaci Namjena površina Prirodi biljaka
Struktura kućanstva Cijene vode Nadnice Razvoj Lokalna uprava Vlasništvo Tehnologija	SLIVNO PODRUČJE VODOTOKA	Mikroklima Sezone Erozija tla Visinski odnosi Topografija Odvodnja Vrsta tla Raspored vegetacije
	SUB-NACIONALNO	
	SUB-JEDINICA (npr. POLJE)	

Učinak mjerila prostora i vremena za niz ključnih procesa u sustavu slivnog područja prikazuje se u tablici 1.

Tablica 1: Karakteristična mjerila prostora i vremena procesa

PROCES	MJERILO		VAŽNOST
	PROSTORA	VREMENA (godine)	
HIDROLOGIJA			
obnavljanje podzemne vode	1, 2, 3	5	A
tečenje u koritu vodotoka	1, 2	2	B
generiranje otjecanja	1, 2	15	B
kretanje vode u tlu	1	2	A
bilanciranje voda	1, 2, 3	20 – 50	C
oborine	1, 2, 3	20 – 50	C
TLO			
erozija	1, 2	1 – 5	B
zaslanjenost	1, 2, 3	5	C
degradacija	1, 2, 3	20	C
VEGETACIJA/EKOSUSTAV			
obogaćivanje CO ₂	1	5	C
interakcije biljaka	1	10	C
rast biljaka	2, 3	2	B
raspored ugljika	1	5 – 10	A
požar	1, 2, 3	20 – 50	C
OSTALO			
čovjekove interakcije	1, 2, 3	30 – 50	C

OZNAKE:

ZA PROSTOR

1. malo mjerilo (do 1 km × 1 km)
2. malo mezomjerilo (do 10 km × 10 km)
3. srednjemezomjerilo (do 100 km × 100 km)

ZA VAŽNOST

- A. poželjno
- B. potrebno
- C. obvezno

4.4.3. SLURP model slivnog područja

SLURP (*Semi-Distributed Land Use-Based Runoff Processes*) je semi-distribuirani model otjecanja na slivnom području. To je konceptualni model, koji se normalno koristi u semidistribuiranom obliku ali ima mogućnosti da se koristi kao distribuirani hidrološko model slivnog područja (Kite, 1997.). Prva verzija modela razvijena je 1975. godine za korištenje u mezomjerilu za slivna područja rijeka u Kanadi.

Kada se model SLURP koristi u semi-distribuiranom obliku, model može simulirati ponašanje slivnog područja na više točaka za veći broj varijabli. Slivno područje se dijeli u podslivove na bazi topografije. Podslivovi se dalje dijele na niže jedinice, ovisno o načinu korištenja površina. Model može raditi s neograničenim brojem podslivova i nižih jedinica. Da bi se u kalibraciji modela osigurala stabilnost modela potrebno je da broj slivova bude jednak broju nižih teritorijalnih jedinca. Za svaki vremenski interval radi se matrica podslivova i nižih jedinica. Simulacija se vrši pomoću četiri nelinearna rezervoara, koji predstavljaju dijelove hidrološkog ciklusa: atmosfera, tlo, biljke, otjecanje, podzemna voda. Model daje podatke o isparavanju, transpiraciji, otjecanju obradom klimatskih podataka. Model je koncipiran tako da se maksimalno koriste daljinski dobiveni podaci – satelitski podaci, infracrveni podaci i sl. U literaturi je objavljeno više načina korištenja modela, za površine od desetak hektara, do primjene modela za makromjerilo riječnog sliva, površine 1,800 milijuna km². Modelom SLURP se dobije vertikalna bilanca voda svakog elementa (matrice). Bilanca se dobiva za vremenski korak od jednog dana. Model može koristiti pojednostavljenu metodu energetske bilance. Ova metoda pokriva scenarije klimatskih promjena. Model SLURP analizira jezera i akumulacije na dva načina. Ako je poznat program rada akumulacije ili jezera tada se vertikalna bilanca voda radi po tom programu. U suprotnom slučaju, bilanca se modelira na način kao i za ostale jedinice površine sliva. Model obrađuje i infrastrukturne objekte za različite namjene – zahvati vode iz rijeke za vodoopskrbu stanovnika, za poljoprivredu itd. Voda za navodnjavanje, zahvaćena iz vodotoka, modificira prirodnu bilancu voda, što model obračunava posebno. Isto se događa s crpljenjem podzemne vode za urbanu i industrijsku uporabu. Izlazi iz modela su slijedeći:

- a) varijable stanja, kao što su količine podzemnih voda, distribuirani fluksovi, tj. evaporacija i transpiracija, te podaci u točki za otjecanje,
- b) distribuirani fluksovi za svaku podjedinicu površine za svaki dan,
- c) simulirane vrijednosti otjecanja u više točaka slivnog područja. Ovi se podaci mogu koristiti za prognoze ili za provjeru minimalne raspoložive količine vode.

4.4.4. SWAP agrohidrološki model

SWAP (*Soil-Water-Atmosphere-Plant*) je jedno-dimenzionalni fizikalni model za tijek vode, topline i otopina u nesaturiranoj i saturiranoj zoni tla. U model su uključeni i moduli za simulaciju navodnjavanja i priroda biljaka. Modul tijeka vode je temeljen na jednadžbi Richardsona, koja je kombinacija Darcy-evog zakona i jednadžbe kontinuiteta. Za rješenje jednadžbi Richardsona koristi se tehnika konačnih razlika. Biljna proizvodnja se računa pomoću algoritma po proceduri FAO ili na temelju detaljnog modula rasta biljke. Simulira se stvarna evaporacija i transpiracija na temelju izraza za potencijalnu evapotranspiraciju.

SWAP je razvijen na Sveučilištu u Wageningenu u Nizozemskoj. Prva verzija modela se zvala SWATRE, razvijena je prije 25 godina (Feddes et al, 1978.). Od tada je model uspješno primijenjivan u velikom broju studija u cijelom svijetu.

Osnovni dio programa je analiza vertikalnog toka vode u nesaturiranoj i saturiranoj zoni tla, koji se dobro opisuje Richardsonovom jednadžbom. U rješavanju jednadžbe tehnikom konačnih razlika tlo se dijeli u slojeve: 1—2 cm u gornjem dijelu profila tla, gdje su dinamika i gradijenti veliki, te u slojeve debljine do 25 cm u dnu profila. Gornji rubni uvjeti se sastoje od klimatskih podataka i ulaznih veličina za navodnjavanje. Ukoliko se koristi modul rasta biljke mora se uključiti globalna radijacija. Ako se želi analizirati stvarno isparavanje sa tla koristi se potencijalna evaporacija kao rubni, gornji uvjet. Model koristi više donjih rubnih uvjeta, porema izboru korisnika. To su: tlak kao funkcija vremena, fluks strujanja kao funkcija vremena, fluks strujanja je funkcija tlaka.

Izabire se odgovarajući kriterij uvjeta, ovisno o lokalnim prilikama i raspoloživosti podataka. U SWAP-u se mogu izabrati dva slučaja za rješavanje navodnjavanja. Može se unaprijed specificirati način natapanja ili, drugi slučaj, da se elementi natapanja generiraju u skladu s većim brojem kriterija. Moguća je i kombinacija oba slučaja. Za oba načina korisnik programa izabire bilo površinske metode natapanja, bilo metode kišenja.

Za određivanje vodne bilance koristi se model SWAP u distribuiranom obliku. Na taj se način analizira i prirod biljnih kultura. Temeljem tih izlaza omogućena je izrada – proračun vrijednosti ‘produktivnosti vode’ (Gereš, 1994.).

5. Ekonomija u raspodjeli vode za korisnike

5.1. Uvod

Smanjivanjem raspoloživih količina vode i povećanjem zahtjeva za vodom raznih sektora raste i važnost ekonomskih pitanja u gospodarenju vodama na slivnom području. Postavljaju se slijedeća pitanja: koji su troškovi investicija i pogona sustava pridruženi različitim načinima raspodjele vode korisnicima; koje su investicije potrebne za osnivanje i održavanje tih usluga; koji su institucionalni mehanizmi najučinkovitiji kako bi se smanjili troškovi? Koji su utjecaji alternativne podjele voda na korištenje voda za navodnjavanje, izbor inputa, investicija, produktivnosti vode, poljoprivredne proizvodnje te prihodi u različitim agroekonomskim uvjetima? Kako se raspodjeljuje voda između korisnika; da li je međusektorska raspodjela vode ekonomski učinkovita; koji su utjecaji različitih zahtjeva za vodom između poljoprivrednog i ostalih sektora na raspoloživost i proizvodnost vode u poljoprivredi? Koji su odnosi između načina raspodjele vode i utjecaja na okoliš izazvani navodnjavanjem; koji su učinci degradacije uzvodnog slivnog područja na nizvodne dijelove slivnog područja?

Za integraciju ekonomskih parametara u modele slivnog područja potrebno je uključiti proizvodne poljoprivredne funkcije. Ove funkcije uključuju vodu kao ulaz (input) i zahtjeve za vodom ostalih korisnika, tj. komunalne i industrijske potrebe, da bi se moglo ocijeniti količine i vrijednosti voda u sektorima. Poželjno je da se procijene vrijednosti ostalih vrsta zahtjeva za vodom u slivnom području, kao što su potrebe za okoliš, pitanja kakvoća voda, potrebe za rekreaciju i za proizvodnju električne energije.

5.2. Vrednovanje voda za poljoprivredne namjene

5.2.1. Proizvodne funkcije

U procjeni potreba i cijene vode u poljoprivrednom sektoru temeljna je stvar proizvodna funkcija. Ova funkcija prikazuje odnose biljne proizvodnje i uporabe vode te ostalih ulaza – inputa. Idealni proizvodni model biljka – voda bi trebao biti dovoljno fleksibilan, da bi mogao uključivati sva pitanja: biljke, polja, slivno područje. Proizvodna funkcija bi trebala omogućiti procjenu utjecaja politike. Na drugoj strani, model bi trebao biti jednostavan za rad, da je potreban manji niz podataka, dovoljan za procjenu učinaka. Međuodnos između količine i kakvoće vode te vode kao ulaza i proizvodnje kao izlaza treba bi biti jasno definiran.

Postojeći modeli odnosa biljka – voda uključuju ekonomske inženjerske i biološke aspekte proizvodnog procesa.

1. Tipovi proizvodnih funkcija

Za modeliranje proizvodnje funkcije potrebni su modeli:

- za evapotranspiraciju i transpiraciju,
- simulacijski modeli,
- modeli za procjenu,
- hibridni modeli, koji spajaju prva tri modela.

a) Modeli za evapotranspiraciju i transpiraciju

To su fizikalni modeli koji prognoziraju biljnu proizvodnju u različitim uvjetima: vlažnosti tla, saliniteta, načina odvodnje i navodnjavanja. Pretpostavlja se linearan odnos priroda – evapotranspiracija. Temeljni odnos prirod – sezonska evapotranspiracija prikazan je odnosom:

$$Y/Y_{\max} = 1 - k \cdot (1 - E/E_{\max}) \quad (1)$$

gdje je: Y = stvarni prirod (tona/ha)
 Y_{\max} = maksimalni prirod suhe materije (tona/ha)
 k = koeficijent kulture
 E = stvarna evapotranspiracija (mm)
 E_{\max} = maksimalna transpiracija

Parametar E_{\max} se može procijeniti pomoću izraza:

$$E_{\max} = W + o + \Delta q - Q_o - Q_d \quad (2)$$

gdje je W = količina vode za natapanje (mm)
 o = oborine (mm)
 Δq = promjene u akumuliranoj vodi u tlu (mm)
 Q_o = otjecanje (mm)
 Q_d = drenažna voda, otjecanje (mm)

Modeli za transpiraciju koriste sličan pristup. Mjerenje je transpiracije mnogo teže, jer je teško odvojiti transpiraciju od evaporacije. Iako oba ova modela pokrivaju značajan dio u odnosu biljka – voda, oni imaju ograničenu mogućnost da riješe utjecaje ne-vodnih ulaznih parametara. Također imaju ograničenu uporabu u analizi političkih utjecaja.

b) Simulacijski modeli

U ovoj grupi modela razlikuju se holistički modeli, koji simuliraju proizvodne procese jedne kulture u detalje, te specifični modeli, fokusirani na jedan proizvodni ulaz ili na podsustave pridružene pojedinim proizvodnim ulazima. Ovi su modeli manje opsežni od holističkih, ali i za njih je potreban niz rezultata eksperimenata na licu mjesta i poduži proces kalibracije modela.

c) Procjena proizvodnih funkcija

Procjene proizvodne funkcije su fleksibilnije od ostalih vrsta modela. Procedure za procjenu moraju zadovoljiti osnovne odnose biljka – voda:

1. prinosi biljaka rastu ako se povećavaju količine vode iznad neke minimalne vrijednosti,
2. prinosi se mogu smanjivati u zoni prevlaženosti tla,
3. prinosi se smanjuju u slučaju da je početna razina slanosti tla u zoni korjena ili koncentracija soli u vodi za natapanje veća od neke minimalne vrijednosti,
4. krajnja razina saliniteta zone korjena u tlu se smanjuje s povećanjem količine vode za natapanje, osim u slučaju mogućeg povećanja, kada se primjenjuje relativno mala količina vode za navodnjavanje.

Da bi se zadovoljili gornji uvjeti, potrebno je primijeniti polinomne funkcije. Prikazuje se kvadratna polinomna funkcija za slučaj tri proizvodna ulaza:

$$Y/Y_{\max} = a_0 + a_1w + a_2 \cdot s + a_3u + a_4 \cdot w \cdot s + a_5 \cdot w \cdot u + a_6 \cdot s \cdot u + a_7 \cdot w^2 + a_8 \cdot s^2 + a_9 \cdot u^2 \quad (3)$$

gdje je: Y = prirod

Y_{\max} = maksimalni, potencijalni prirod

w = natapna norma, do potencijalne evapotranspiracije

s = salinitet natapne vode

u = koeficijent uniformnosti

a_i = procijenjeni koeficijenti (i = 1, ... 9).

d) Hibridne proizvodne funkcije

Hibridni modeli daju značajne prednosti u odnosu na pojedinačne modele proizvodnih funkcija. Svaki od osnovnih pristupa za izračun proizvodnih funkcija ima neke slabosti. Obično su nedovoljni podaci o međudodnosima upotrebe vode, degradacije resursa i proizvodnje. To mogu biti eksperimentalni ili drugi podaci. Neeksperimentalni podaci su npr. poprečni profili i vremenske serije podataka.

U slučaju da su podaci relativno skromni i raspoloživi niz podataka nije dovoljan za statističke analize tada takve podatke koristimo za kalibraciju općeg tipa simulacijskih modela. Značajne biofizičke varijable i varijable okoliša se mogu generirati simulacijom. Takvi generirani podaci su pseudopodaci, koji nisu povijesni niz podataka, ali su izvedeni iz modela procesa, koji su replika stvarnih procesa u računalnim eksperimentima. Simulacijski modeli su praktičan nadomjestak za kompleksne biofizičke eksperimente, u kojima je često teško izolirati utjecaje upravljanja ili utjecaje varijabli okoliša na izlazne varijable. U simulacijskim modelima, analitičar može kontrolirati institucionalne, tehnološke i okolišne faktore, što nije moguće u stvarnim eksperimentima.

Varijacija ovog pristupa je pristup izradi proizvodne funkcije. Proizvodna tehnologija u svim modelima linearnog programiranja je lokalno linearna u svim ulazima, uključivo i tlo. Predlaže se model kalibrirane proizvodne ravnoteže kao kompromis

između ekonometričkih modela, koji traže veliki broj podataka i modela linearnog programiranja. Ovakav empirijski postupak ima tri koraka: specificira se ograničeni linearni program; potom se iz rezultata linearnog programiranja računaju regionalni parametri proizvodnje i cijena te se na kraju u trećem koraku modeli specificiraju s nelinearnom proizvodnom funkcijom i troškovima zemljišta.

2. *Optimalizacija modela uporabe vode*

Proizvodne funkcije opisuju odnos između korištenja vode i proizvoda biljnih kultura. Za procjenu potreba za vodom i rezultirajuće vrijednosti upotrebene vode potrebne su odluke o plodoredu, normama natapanja, tehnikama natapanja i dr. Te su odluke vezane s ulaznim troškovima i izlaznim cijenama. Zbog toga proizvodne funkcije koje se koriste u modelu slivnog područja općenito se rješavaju u okviru postupka optimalizacije. Optimalizacija u kontekstu modeliranja slivnog područja je diskutirana ranije, pa se ovdje diskutira optimalizacija na razini polja – na razini proizvodne jedinice. Koriste se tehnike matematičkog programiranja. Ovaj okvir programiranja uključuje optimalizaciju ciljne funkcije u uvjetima tehnologije proizvodnje i ograničenja u raspoloživoj vodi i ostalim resursima. Ciljna funkcija, npr. može biti optimalni neto povrat kapitala u odnosu na izbor kulture, ulaze, korištenje vode za natapanje, investiranja u opremu za natapanje i u upravljanje istom itd. Tehnologija proizvodnje za ovakav okvir optimalizacije je opisana proizvodnom funkcijom za svaku kulturu i za svaku lokaciju u slivnom području. Uobičajeno je da se primijenjena tehnologija predstavi utvrđenim odnosima ulazno-izlaznih koeficijenata, kombiniranih s linearnim ograničenjima. Prednosti linearnog programiranja su u tome da se može primijeniti s minimumom podataka o problemu, u kojem utvrđene proporcije ulaza imaju linearna ograničenja i razumnu aproksimaciju stvarnosti. U literaturi se nalazi opis većeg broja modela, izrađenih i primijenjenih za pojedina područja. Kako je naznačeno (Young, 1996.), većina primijenjenih matematičkih programa za analize uporabe vode u poljoprivrednoj proizvodnji su deterministički, statični i imaju djelomičnu ravnotežu. Primjenu dinamičkog programiranja za istraživanje optimalnog korištenja vode i tla opisao je Dudley, 1988.

5.3. **Vrednovanje vode za ostale namjene**

Ostali potrošači vode u slivnom području su: domaćinstva, komercijalna i industrijska uporaba voda, zatim korištenje vode u rudarstvu, za proizvodnju električne energije, hlađenje, potrebe za rekreaciju, ribnjačarstvo, potrebe za okoliš – minimalna ili biološka protoka i količina vode za ispiranje onečišćenja. Poteškoće pri vrednovanju ovih tipova potrošnje vode u većini slučajeva uključuju:

1. nedostatak dobro utvrđenog tržišta, u kojem bi se voda mogla vrednovati,
2. prioritete uporabe, tj. nedostatak konkurencije u korištenju vode,
3. fizikalnu pokretljivost vode, što čini vrlo teškim procjenu stvarne cijene vode.

Postoje dva opća pristupa, koji se koriste u određivanju vrijednosti nepoljoprivrednog korištenja vode:

- a) tehnike procjene na tržišnim principima,
- b) tehnike ne-tržišnih procjena vrijednosti.

Tehnike osnovane na tržišnim principima uključuju neposrednu procjenu funkcija potrošnje vode, kada su dostupne cijene, zatim metode usporedbe prodajnih cijena, diferencijalni pristup vrijednosti tla te pristup alternativnih troškova. Ne-tržišni pristup

uključuje objavljene prednosti (ili inferencijalnu procjenu vrijednosti), što uključuje odnosne cijene u terminima troškova za korištenje resursa, zatim uključuje stanje prednosti, tj. mogućnosti potencijalnih korisnika da plate za vodne usluge.

5.3.1. Tehnike procjene na tržišnim principima

Koristi iz korištenja vode za kućanstva ili industriju mogu se procijeniti kao potrošački višak, izveden iz funkcije potražnje vode. Potrošački višak je mjera, izražena u novcu, koju je potrošač spreman platiti za robu – vodu. Tržišna potražnja vode je linearna funkcija, nagnuta naniže. Tipična funkcija potražnje za kućanstva i industriju, prema Youngu, 1996., izražena je nizom prirodnih i društveno-ekonomskih faktora:

$$Q_w = Q_w(P_w; P_a; P; Y; Z) \quad (4)$$

gdje je: Q_w = razina potrošnje vode
 P_w = cijena vode
 P_a = cijena alternativnog izvora vode
 P = srednji indeks cijena, koji predstavlja sva dobra i usluge
 Y = prihodi potrošača vode
 Z = ostali faktori (klima, korisničke preferencije, itd.)

Procjena funkcija potražnje vode je relativno dobro prisutna u literaturi. Sumarni pregled se može vidjeti u radu Schneider i Whitlach, 1991. Za funkcije potražnje industrijske vode u faktor Z u izrazu (4) uključuju se cijene ostalih ulaza, vrsta tehnologije proizvodnog procesa, proizvodi i razina izlaza. U literaturi se nalazi relativno malo prikaza ovih funkcija.

Procjena cijene vode iz funkcija potražnje vode za kućanstva i industriju je dobro postavljena u teoriji, metodološki postupci za procjenu su dobro opisani, međutim raspoloživi podaci mogu biti ozbiljan problem. Vremenski nizovi o potražnji vode su često nedostupni, inter-sektorski podaci često ne postoje ili ne prikazuju prave promjene cijena. Kao dodatak neposrednom procjenjivanju funkcija potražnje vode, može se direktno procijeniti cijena vode iz službenih cjenika organizacije za distribuciju vode.

Ostale tehnike, temeljene na tržišnim principima, koje se mogu koristiti, procjenjuju vrijednost vode kao trošak osvajanja novog izvorišta vode i ostale infrastrukture. Ovaj se pristup koristi općenito u računu cijena za industrijsku vodu i za vodu za proizvodnju električne energije. Naravno da je moguća primjena metode i za komunalnu vodu.

5.3.2. Ekonomska vrijednost vode za proizvodnju električne energije

Puna ekonomska vrijednost korištenja vode za proizvodnju električne energije je količina proizvedene energije pomnožena s razlikom cijene, umanjeno za troškove po jedinici proizvedene energije. Potencijalna količina energije po jedinici vode ovisi o prirodnim uvjetima lokacije i o investicijama u akumulacijski prostor i u proizvodni pogon hidroelektrane, te o učinkovitosti opreme. Može se primijeniti ova opća jednadžba:

$$SNAGA = C \cdot \eta \cdot h \cdot Q \cdot \Delta t \quad (5)$$

gdje je:
 C = konstanta za jednicu transformacije (odražava teorijski kWh proizveden iz jediničnog volumena vode uz jedinični tlak),

η = učinkovitost proizvodnje, ovisi o uvjetima rada turbine i generatora,
 h = srednji stupac vode u vremenskom razdoblju, izračunat kao razlika
 između položaja akumulacije i položaja turbine,
 Q = srednja protoka na turbini,
 Δt = promjene u vremenu.

Proizvodnja električne energije je funkcija raspoloživog tlaka vode i protoka vode na turbini u određenom vremenskom razdoblju. Proizvodnja električne energije u dugoročnom razdoblju ovisi o promjenjivosti dotjecanja vode u akumulaciju.

Vrednovanje hidroenergije može se raditi kratkoročno i dugoročno. Kratkoročno vrednovanje uključuje vrijednosti troškova pogona i održavanja, te je odgovarajuće u kontekstu kratkoročnog planiranja korištenja vodnih resursa. Dugoročne procjene vrijednosti također uzimaju u obzir godišnje investicijske troškove za razvoj hidroelektrana, te su primjenjene dugoročnim planovima u vodnom gospodarstvu. Detaljnije o procjeni ukupne ekonomske izvodljivosti može se naći u Young, 1996.

5.3.3. Ne-tržišne tehnike procjene

Ne-tržišne tehnike procjene vrijednosti vode uključuju inferencijalnu procjenu vrijednosti, koja se izražava izborom između različitih mogućnosti koje stoje pred korisnikom i zbirne metode procjene.

Prvi pristup procjene vrijednosti vode sadrži ulazne cijene za priključak resursima, izražene kao trošak korisnika za uporabu vode ili kao trošak za kakvoću vode. Zbirna metoda procjene je neposredna odgovornost potencijalnog korisnika voda u pogledu iznosa kojeg je spreman platiti za vodne usluge ili za posebne hipotetičke promjene u količini ili kakvoći roba ili usluga. U zadnjih dvadestak godina, u literaturi je razvijeno i citirano preko 2000 studija, koje se bave procjenom vrijednosti javnih dobara – vode.

Široku primjenu ima metoda pokretnih troškova (*travel cost method* – TCM). To je tipična metoda za procjenu vrijednosti kakvoće vode i koristi od rekreacije, ali se isto tako metoda može upotrijebiti za procjenu vrijednosti uporabe vode u kućanstvima. Vrijednost se obično procjenjuje regresijom intenziteta korištenja vode iz jednog ili više izvora, mjeri se brojem dolazaka u rekreacijsku zonu, brojem izvora, zdenaca, itd., i troškova transporta, potrebnih da bi se koristili izvori.

5.4. Funkcije koristi za slivno područje

Funkcije vodne koristi (benefita) su povezane s konceptom funkcije potražnje vode. Funkcija koristi ima oblik inverzne funkcije potražnje, koja izražava vrijednost u funkciji količine vode. Omogućuje direktna mjerenja promjena koristi, povezanih s povećanjem ili smanjenjem vodoopskrbe. Uporaba relativno agregirane funkcije može koristiti u posebnom slučaju – modeliranju slivnog područja, kada podaci i izvori ne omogućuju procjenu neagregirane proizvodne funkcije, te funkcije potražnje vode kućanstava i industrije.

Funkcije marginalne korisnosti, tj. dodatne korisnosti, koje mjere ekonomsku vrijednost kao funkciju opskrbe vodom, razvijene su za korištenje voda u ili izvan vodotoka. Funkcije korisnosti navodnjavanja su izvedene iz modela linearnog programiranja za raspodjelu vode u posebnim uvjetima: tlo, klima i tržišni uvjeti. Modeli linearnog programiranja su formulirani tako da daju neto korist (benefit) za svaku točku područja.

Za poljoprivrednu funkciju potražnje funkcija marginalne ili dodatne koristi ili inverzna funkcija potražnje može se odrediti metodom najmanjih kvadrata:

$$p(x) = p_0 (x/x_0)^\alpha \quad (6)$$

gdje je: $0 < x_0 < x$
 x = stvarno korištenje vode
 x_0 = maksimalna isporuka vode
 p_0 = voljnost da se plati za dodatnu vodu po punoj cijeni
 α = inverzija elastičnosti cijena potražnje vode

Raspored potražnje vode uključuje značajne vrijednosti marginalne koristi za smanjenu uporabu vode (redukcija), do približno $0,5 x_0$.

Ukupna korist, $V(x)$, uporabe vode se izražava:

$$V(x) = x_0 \cdot v_0 (x/x_0)^\beta \quad (7)$$

gdje je: x = stvarno korištenje vode
 x_0 = maksimalna isporuka vode
 $v_0 = p_0 / (1 + k_s)$
 $\beta = (1 + k_s)$
 k_s = kamatna stopa

U izrazu (7) se pretpostavlja da se alternativno izvorište vode koristi s utvrđenom, fiksnom količinom vode.

Ukupna korist komunalne uporabe vode je:

$$Vk(x^1) = (x_n + x_0) v_0 \left\{ [(x_n + x^1) / (x_n + x_0)] [x_n / (x_n + x_0)] \right\} \quad (8)$$

gdje je: x^1 = stvarno korištenje vode iz slivnog područja
 x_n = stvarno korištenje vode porijeklom izvan slivnog područja

Izrazi (7) i (8) pokazuju da se agregirana funkcija koristi (benefita) može upotrebljavati s relativno malenim brojem parametara, te može biti učinkovita metoda u slučaju kada imamo skromne podatke.

6. Integrirani ekonomsko-hidrološki modeli

6.1. Uvod

Pored velike važnosti ekonomskih varijabli u upravljanju vodama, općenito se može reći, da u studijama vodnih resursa prevladavaju hidrološke studije za upravljanje velikim vodama – obrana od poplava i za planiranje vodnih bogatstava. U isto vrijeme, studije ekonomskih (ili političkih) analiza su uglavnom usmjerene na maksimaliziranje profita korištenja voda u kućanstvima, industriji i u poljoprivredi i to na temelju količina vode na vodozahvatu. Međutim, upravljanje vodnim resursima traži interdisciplinarni pristup, integraciju prirodnih i društvenih znanosti. Integrirane ekonomske i hidrološke studije u mjerilu slivnog područja su poželjne za upravljanje vodama slivnog područja i za donošenje odluka. Postojeće modeliranje ukazuje na potrebu integralnog pristupa, ali u studijama prevladava bilo ekonomska, bilo hidrološka komponenta. U hidrološkim studijama detaljno se obrađuju hidrološke komponente, kao i elementi kontrole sustava, dok se ekonomska komponenta predstavlja analizom troškovi – korist (*cost-benefit* metoda) ili pomoću ciljeva uporabe vode. S druge strane, naglasak u ekonomskim

studijama je uglavnom na analizama ulaza – izlaza i na optimalizaciji neto koristi (benefita) bez opsežnog hidrološkog modeliranja. Ekonomsko-hidrološki modeli bi morali omogućiti učinkoviti tok informacija iz jedne komponente modela u drugu komponentu. U tom cilju morat će se riješiti više problema. Hidrološki modeli često koriste simulacijske tehnike, a ekonomski modeli često koriste optimalizacijske postupke. To izaziva poteškoće u izmjeni informacija između dvije komponente. Rubni uvjeti u ekonomskom sustavu su politički i administrativni, i uglavnom se ne podudaraju s rubnim uvjetima u hidrološkom sustavu. Mogu biti i različiti prostorni razvojni horizonti. Uz to, ekonomska i hidrološka komponenta modela često koriste različite vremenske intervale i horizonte. Ekonomski modeli koriste općenito dulje vremenske intervale (sezona ili godina) i dugoročne vremenske horizonte. U hidrološkim modelima, vremenski interval mora biti dovoljno malen da bi se mogli analizirati stvarni procesi, dok je vremenski horizont općenito ograničen kapacitetima računala i raspoloživim podacima. Međutim i hidrološki simulacijski modeli mogu imati dugi vremenski horizont. Potreba podataka i njihova ograničenost su dalja ograničenja integralnom pristupu. Zadatak budućih modeliranja vodnog sustava u mjerilu slivnog područja je u rješavanju tih prepreka. Cilj je tih modela da simultano odrede potražnju (ili potrebu) za vodom i mogućnost opskrbe vodom te ekonomske koristi od vode u slivnom području.

Postoje dva pristupa razvoju integriranih ekonomsko-hidroloških modela: modeliranje po odjelima i holistički pristup. U pristupu modeliranja po odjelima pojavljuje se slaba veza između različitih ekonomskih i hidroloških parametara. Praktično to znači da se samo izlazni podaci prenose između komponenata modela. Različiti modeli podsustava mogu biti vrlo kompleksni, analize su često vrlo teške zbog nedostatka veze između komponenata. Osnovno pitanje za istraživanje je: koji matematički aparat je raspoloživ za transformaciju informacija između ekonomskih i hidroloških modela.

U holističkom pristupu je samo jedna jedinica s obje komponente usko povezane u konzistentni model, predviđen je integrirani analitički okvir. Međutim, u tom pristupu hidrološka je komponenta često pojednostavljena. Ovaj pristup koristi samo jednu tehniku: simulaciju, dinamičko programiranje itd., te jedan denominator za varijable. Za holističko modeliranje temeljno je pitanje kako definirati osnovne odnose između ekonomske i hidrološke komponente tako da se ekonomska analiza može ostvariti na potpunom razumijevanju fizikalnog sustava.

6.2. Modeliranje po odjelima

Od sedamdesetih godina prošlog stoljeća istraživači su počeli ispitivati učinke ekonomskih inicijativa, očuvanja voda i kontrole kakvoće voda na upravljanje vodama. Stvarani su analitički okviri za analizu pravila upravljanja vodama u složenim uvjetima. Noel i Howitt, 1982. opisuju kompleksne integrirane modele slivnog područja. Kasnije, Lefkoff i Gorelick, 1990. koriste matematički aparat za prijenos informacija između ekonomskog i hidrološkog dijela modela. Oni povezuju simulaciju distribuiranih parametara odnosa površinske i podzemne vode, promjene u salinitetu i empirijske agronomске funkcije u dugoročni optimalizacijski model za određivanje raspoložive vode slivnog područja. Primijenili su mikroekonomsku teoriju tvrtke i u kombinaciji s agronomskom funkcijom odredili su razinu poljoprivredne proizvodnje, u kojoj su marginalni troškovi jednaki marginalnim prihodima. U integriranom ekonomsko-hidrološkom modeliranju kritičan je koncept spoja kratkoročnih i dugoročnih učinaka, odnosno kako se kratkoročni učinci mogu odraziti u duljem razdoblju. Kratkoročni modeli su limitirani na jednu godinu i sadrže fizikalne, biološke i ekonomske odnose u sustavu. Ti modeli služe za analize ekonomskih značaja različitih parametara,

optimalnih vrijednosti, cijena u sjeni itd. Dugoročni modeli služe da odluke iz kratkoročnog modeliranja prenesu u buduće profite i na ostale veličine. U tim modelima su obično hidrološki aspekti pojednostavljeni.

6.3. Holistički pristup modeliranju

Model slivnog područja rijeke Colorado (*Colorado River Network Model – CRM*) koristili su Harding i dr., 1995. za hidrološku analizu jake suše u tom području. Model CRM koristi određeni algoritam za statičku optimalizaciju za određene prioritete u slivnom području u vremenskom koraku. Booker i Young, 1994. prezentirali su nelinearni optimalizacijski model. Model je adaptiran za slivno područje rijeke Colorado i uključuje čvorove za riječni tok, za akumulacije, hidroelektranu itd. Modelira se bilanca vode i njezin transfer. Na strani potražnje vode modeliraju se potrebe u vodi za komunalnu uporabu, navodnjavanje, proizvodnju električne energije, kakvoća voda i dr. Ove potrebe su analizirane empirijskim funkcijama marginalne koristi. Model se koristi za procjenu utjecaja alternativnih scenarija upravljanja, tečenja u rijeci i razina potražnje vode. Faisal i dr., 1997. studirali su upravljanje podzemnom vodom slivnog područja. U modelu su spojeni ekonomski ciljevi i stvarno ponašanje vodonosnika. Model ima nelinearnu kvadratnu proizvodnu funkciju, koja se rješava nelinearnim algoritmom.

7. Sustav za podršku odlučivanju i GIS

7.1. Uvod

Sustav za podršku odlučivanju – SPO temeljen na Geografskom informacijskom sustavu – GIS može se nazvati prostorni sustav za podršku odlučivanju — PSPO. To je klasa računalnih sustava u kojima se primjenjuju tehnologije GIS-a i SPO-a te su pomoć donosiocima odluka. GIS je općeciljna tehnologija za obradu geografskih podataka u digitalnom obliku, koja ima mogućnost procesirati podatke u oblike pogodne za analize, i koja se zatim neposredno koristi za modeliranje. GIS daje prostornu sliku sustava vodnih resursa. Danas ima vrlo malo mogućnosti za prognoziranje i odnosnih analiza za rješavanje zadataka planiranja i upravljanja vodnim resursima. SPO je interaktivni program, često ima korisničko grafičko sučelje, koji spaja tradicionalne simulacijske i optimalizacijske modele vodnih resursa. Proširenjem SPO koncepta dobije se PSPO, koji je integracija sustava za podršku odlučivanju i geografskog informacijskog sustava. PSPO integrira prostornu dimenziju i kapacitete modeliranja u operacijski okvir. Na taj način SPO i GIS tehnologija spojeni u jedan program postaju robusan alat (Walsh, 1992.).

GIS i SPO se već primjenjuju u studijama vodnih resursa. Glavne su prednosti PSPO u korištenju za upravljanje slivnim područjem: baza podataka, sučelje i spoj modela.

7.2. Značajke sustava za podršku

Opsežne baze podataka

Baze podataka su temelj sustava za podršku odlučivanju. Geografski informacijski sustav, uz prostornu dimenziju baze podataka, daje mogućnost bolje integracije različitih društvenih, ekonomskih i okolišnih čimbenika u cilju planiranja i upravljanja vodnim resursima. Sve je to u svrhu donošenja odluke. Takav sustav omogućuje integralni pogled na Svijet. Novi koncepti, kao što su hijerarhijska prostorna struktura podataka i ciljna orijentacija, čine baze podataka još opsežnijim i snažnijim.

Interaktivno sučelje

Kapacitet displeja GIS-a i korisničko grafičko sučelje SPO-a povećavaju korisničko sučelje PSPO. Ono omogućuje korisnicima kompletnu kontrolu ulaznih podataka i njihovu obradu. Sofisticirana korisnička sučelja omogućuju korisniku predviđanje odgovora na promjene u okolišu. Zatim je omogućeno stvaranje pravila za kontrolu procesa modeliranja (Crosbie, 1996.). Prednosti sučelja su jednostavnost i prilagodljivost u definiranju sustava vodnih resursa, modifikiranje i preglednost.

Fedra i Jamieson, 1996. istražuju sustav za podršku odlučivanju za upravljanje slivnim područjem. U modelu su definirana tri cilja: ciljevi slivnog područja, koji predstavljaju stvarni rječni sustav, ciljevi mreže, koji predstavljaju zahvaćanje vode za korisnike i treći cilj različiti scenariji upravljanja sustavom. Ti ciljevi, kao i različite analize mogu se ostvarivati sa zajedničkim sučeljem, koje je projektirano u multimedijalnom okviru. Preko sučelja se ostvaruju informacije za donosioce odluka. Đokic i Maidment, 1993. predlažu pristup putem PSPO ljsuki i na taj način se omogućuje korištenje svih kapaciteta tehnologija i komercijalnih softwarea, uključivo i GIS, ekspertnih sustava i numeričkih modela. Studija slučaja je obradila PSPO ljsuku i integrirala ARC/INFO, Nexpert System i HEC-1.

GIS u modeliranju

Za rješavanje prostorne predstave vodnog sustava primjenjuje se geografski informacijski sustav. Modeliranje se koristi za razumijevanje ponašanja vodnog sustava. PSPO omogućuje integraciju ovih aktivnosti. Zato je prostorni sustav za podršku odlučivanju – PSPO značajan za planiranje i upravljanje vodnih resursa. Postoji nekoliko pristupa koji integriraju modele okoliša i GIS. (Nyerges, 1993.). Zaključno se može utvrditi da PSPO pruža velike prednosti u planiranju i upravljanju vodnih resursa. To su:

1. prostorna predstava stvarnog svijeta u vizualnom i analitičkom obliku,
2. opsežne baze podataka, pomoću kojih se vrši integracija društveno-ekonomskih, okolišnih i fizikalnih komponenti stvarnog sustava,
3. mogućnosti modeliranja, objedinjujući tehnike simulacije i optimalizacije, za rješavanje kompleksnih problema vodnih resursa.

Prostorni sustav za podršku odlučivanju s naznačenim prednostima je vrlo izgledan alat za dostizanje održivog upravljanja vodama.

8. Budućnost modeliranja slivnog područja

8.1. Uvod

Iz izlaganja u ranijim poglavljima je vidljivo da je modeliranje vodnih sustava slivnog područja značajno napredovalo zadnjih desetljeća. Osnovno pitanje u upravljanju vodnim sustavima je stalni porast potreba za vodom u kućanstvima, industriji, poljoprivredi. U isto vrijeme pogoršava se stanje slivnog područja, mijenja se korištenje površina i pogoršava se kakvoća voda. U procesu donošenja odluka dosta pitanja ostaje bez odgovora, kao npr.: izvodljivost, troškovi, učinci alternativnih izvora vode i dr. Politika upravljanja vodnim resursima bi se trebala razvijati tako da se zadrži razina poljoprivredne proizvodnje, omogući intersektorska podjela raspoložive vode i zaustavi degradacija resursa. Reforma se naročito mora provesti štednjom vode u postojećim uporabama iste, povećanjem kakvoće vode i tla. Odgovarajući program istraživanja morao bi dati rješenja tih pitanja. Istraživanja trebaju odrediti učinkovitost korištenja svih izvorišta voda, utjecaje okoliša i sl. Modeliranje bi trebalo biti toliko detaljno da omogući razvoj rješenja na slivnom području. Upravljanje vodama se mora raditi za svako područje posebno, jer postoje velike razlike u početnim uvjetima kao i u institucionalnim rješenjima, infrastrukturi i stupnju nedostatka vode. Problemi se moraju uvijek analizirati integralno. Modeliranje slivnog područja mora predvidjeti komparativne perspektive razvoja 'najbolje prakse' za upravljanje slivom u zadanim uvjetima – ograničenjima.

8.2. Integracija hidrološko–agronomsko–ekonomsko–institucionalnog modeliranja slivnog područja

Modeli slivnog područja moraju imati mogućnost analiza posljedica, i to ekonomskih i ekoloških, odluka o upravljanju vodama u mjerilu slivnog područja i u lokalnom mjerilu. Za određivanje bilance voda slivnog područja važno je upoznati hidrološke procese u različitim mjerilima: od jednostavne akumulacije do kompleksnih rješenja, od sustava površinskih i podzemnih voda pojedinačno do zajedničke analize oba sustava, od proučavanja vlažnosti u profilu tla do prinosa biljnih kultura. Sve ovo zahtjeva integrirani sustav za slivno područje, koji će predstavljati međudnose svih parametara i varijabli stvarnog svijeta. Ova integracija hidroloških, agronomskih i ekonomskih odnosa može se integrirati u opsežan okvir modeliranja, te na taj način omogućiti racionalnu i ekonomsku uporabu i zaštitu vodnih resursa slivnog područja.

Integrirani model slivnog područja bi imao slijedeće značajke:

1. integraciju hidroloških, agronomskih i ekonomskih odnosa u jedan sustav, koji će obuhvatiti stanje okoliša, ekološko stanje te društveno-ekonomski status u slivnom području,
2. specifikaciju integralne mreže vodotoka za koju se gradi matematički model.
U model se uključuje: sustav opskrbe vodom, površinske i podzemne, sustav za distribuciju i raspodjelu vode, sustavi korištenja voda, sustavi odvodnje, sustavi otpadnih voda – skupljanje, pročišćavanje i njihova dispozicija, kao i veze između tih sustava,

3. predstavljanje prostorne i vremenske komponente raspodjele voda i pronosa zagađenja, bilanca mase vode duž slivnog područja,
4. evidencija potražnje vode svih sektora, potrebna za analize intersektorske podjele raspoložive vode,
5. procjenu ekonomskih koristi za svaku vrstu potražnje vode, uključujući i poljoprivredu, preko površina i proizvodnih funkcija te analizirajući količinu i kakvoću voda,
6. sadrži ekonomske inicijative za kontrolu zagađivanja vode, koncentraciju soli, zaštitu voda, unaprijeđenje hidrotehničkih sustava i dr.

U takvom okviru modeliranja uključeni su svi korisnici voda: kućanstva, industrija, poljoprivreda, proizvodnja električne energije, potrebe za okoliš i dr. U tijeku vremena pojavljuju se utjecaji uporabe vode, koji mijenjaju okoliš. Takvi su procesi: zaslaničavanje, industrijsko onečišćenje vode, tehnološke promjene, plodored, industrijalizacija, migracija i rast stanovništva, socijalne razlike, promjene u zakonodavstvu i u institucijama.

Prototip integriranog hidrološko-agronomsko-ekonomsko-institucionalnog modela razvija zajednička istraživačka grupa iz Međunarodnog instituta za hranu – IFPRI, Centra za istraživanje vodnih resursa – CRWR Sveučilišta Texas, Austin i Međunarodnog instituta za upravljanje vodama – IWMI. Model se temelji na istraživanjima *in situ*. Model je upotrebljen za analizu upravljanja vodnim resursima sliva rijeke Maipo u Čileu. Model je opisao i prikazao fizikalne procese, zakonitosti tečenja vode, zagađivače u slivu i sl. Obradene su potrebe za vodom u slivnom području za sve korisnike. Procjenjene su ekonomske koristi uporabe voda. Model je razvijen kao sustav za podršku odlučivanju te je integrirao prednosti GIS tehnologije. Vodni resursi su opisani u stvarnom svijetu u okviru regionalnog optimalizacijskog modela za raspodjelu raspoložive vode. Model će poslužiti kao istraživački, za različite analize i kao sustav za podršku donosiocima odluka.

Informacijska podrška

Za integrirane modele nužna je snažna informacijska podrška. Multidisciplinarnе informacije su ulaz u model a isto tako i temelj za analize strategija upravljanja vodnim resursima. Informacije za svaki element u sustavu vodnih resursa trebaju se prikupljati i obraditi u integriranom i analitičkom okviru. To se odnosi na: hidrološke i hidrogeološke podatke, kakvoću vode, ekološke i okolišne podatke, ekonomiju, iskazano u vremenskim nizovima i u prostornoj raspodjeli. GIS tehnologija pomaže da se postigne odgovarajuća informacijska podrška i da se vodni sustav predstavi u stvarnom obliku: geografija i topologija slivnog područja, funkcionalne ovisnosti različitih aspekata, kao npr. sustava za opskrbu vodom različitih korisnika, sustavi za korištenje vode – infrastruktura, dispozicija i prerada otpadnih voda i dr.

Integracija kratkoročnih i dugoročnih modela

Ove dvije vrste modela razlikuju se po vremenskom intervalu obrade kao i po ciljevima modeliranja. Cilj je kratkoročnog modeliranja istraživanje izravne dobiti, zanemarujući vremensko proširenje (u budućnosti). Dugoročno modeliranje istražuje društvenu korist i to u prostornom i vremenskom, širem mjerilu. Dodatno, ovi modeli uzimaju u obzir zbirne učinke onečišćenja i napretke u tehnološkom pogledu, koja pitanja će biti značajna za buduću opskrbu vodom. Za određeni vremenski presjek kratkoročno modeliranje određuje raspored raspoloživih količina vode i kontrolira kakvoću voda za svaku godinu uz pretpostavku da su poznati uvjeti potražnje vode i

raspoloživa voda. Dugoročno modeliranje računa s neizvjesnostima u budućnosti i učincima tekućih negativnih aktivnosti. Spajanjem ove dvije vrste modeliranja može se očekivati da će se dobiti dugoročne optimalne odluke, zadovoljavajući današnje potrebe i želje – te da se iste ne ugroze u budućnosti. U integriranom obliku ovi modeli nude mogućnosti za analize potencijalnih konflikata u korištenju voda.

Ekonomski, hidrološki i okolišni odnosi moraju se razvijati za duže vremensko razdoblje. Na taj se način mogu simulirati dugoročni zbirni učinci te se mogu izraziti potencijalne buduće promjene i neizvjesnosti. Ti odnosi se temelje na teoretskim i empirijskim studijama. S druge strane, proširenje kratkoročnih modela u dugoročne s velikim brojem vremenskih intervala i kompleksnijom strukturom dovest će do većih tehničkih poteškoća za matematičko modeliranje.

Upravljanje vodama slivnog područja mora se razvijati sustavnim pristupom. Taj pristup treba omogućiti predstavljanje geografskih informacija o slivnom području, upravljanje količinom i kakvoćom vode, integrirati hidrološke i ekonomske komponente te dinamički spojiti kratkoročne i dugoročne modele.

Integracija sustava

Prilagodna sustava vodnih resursa pripadnom okolišu je važno pitanje u modeliranju. Sustav vodnih resursa je prilagodljiv sustav a njegove promjene su posljedica vanjskih, društveno-ekonomskih promjena. Neizvjesne i nepoznate ekonomske, društvene, političke, pravne, institucionalne i organizacijske promjene snažno utječu na upravljanje vodnim resursima. U skladu s principima održivog razvoja, sustav vodnih resursa bi morao biti dovoljno prilagodljiv dinamičkom pripadnom okolišu. Da bi se ostvarila prilagodba moraju se primijeniti veze između fizikalnog sustava voda i njegovih vanjskih društveno-ekonomskih sustava na takav način da fizikalni sustavi mogu odgovoriti promjenama i brzo se prilagoditi društvenim i ekonomskim promjenama. Na taj bi se način izbjegle nepovratne društvenoekonomske štete i gubici u okolišu. Zbog toga primjena integriranih ekonomsko-hidroloških modela predstavlja holistički način upravljanja vodnim resursima slivnog područja.

Slivno područje je vrlo kompleksan sustav, koji zahtjeva odgovarajuće upravljanje. Uloženo je puno napora u istraživanju i modeliranju pojedinih komponenata slivnog područja. Bit će potrebno uložiti dodatni napor za spajanje komponenti u integralni sustav. Potrebno je razumjeti i na odgovarajući način opisati interakcije između različitih komponenata. Ovi međusobni odnosi komponenata mogu biti vremenski dinamički i prostorno kontinuirani. Integrirana simulacija i optimalizacija, uključujući sustav za podršku odlučivanju – SPO, čine alat za integraciju sustava.

Buduća istraživanja sustava za podršku odlučivanju osigurat će velike koristi, koje će biti rezultat unaprijeđenog upravljanja slivnim područjem. Razvoj i primjena odgovarajućih modela upravljanja slivnim područjem pomoći će u ispunjenju ciljeva:

1. identifikacija uloge i značaj integralne vodne politike i upravljanja vodama u procesu razvoja u slivnom području,
2. procjena utjecaja različitih alternativnih rješenja i različitih upravljanja vodama na slivnom području na poljoprivrednu proizvodnju, komunalno i industrijsko korištenje voda, održivost okoliša i kakvoću vode,
3. razvoj strategije upravljanja slivnim područjem, koja je u skladu s nacionalnim razvojnim strategijama odnosnih sektora, uvažavajući uvijek potrebe okoliša.

IZVORI

1. Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E., and Rasmussen J. (1986.): An introduction to the European hydrological system "SHE". 1. History and philosophy of a physically based distributed modeling system. *Journal of Hydrology* 87:45–59.
2. Booker, J.F., and Young R.A. (1994.): Modeling intrastate and interstate markets for Colorado river water resources. *Journal of Environmental Economics and Management* (26)1:66–67.
3. Bras, R.L., and Seo D. (1987): Irrigation control in the presence of salinity: Extended linear quadratic approach. *Water Resources Research* 23(7):1153–61.
4. Council of European Union (2000.): Water Framework Directive, Brussels.
5. Crosbie, P. (1996.): Object-oriented design of GIS: A new approach to environmental modeling. In *GIS and environmental modeling: Progress and research issues*, ed. M.F. Goodchild at all. 383–386. Fort Collins, Colorado: GIS World Publication.
6. Dandy, G., and Crawley P. (1992.): Optimum operation of a multiple reservoir system including salinity effects. *Water Resources Research* 28(4):979–990.
7. DHI (Danish Hydraulic Institute) (1995.): *MIKE SHE. Short description*. Horsholm, Denmark: Danish Hydraulic Institute.
8. DHI (Danish Hydraulic Institute) (1997.): *MIKE BASIN – A tool for river planing and management*. Horsholm, Denmark: Danish Hydraulic Institute.
9. Djokić, D., and Maidment D.R. (1993.): Creating an expert geographical information system: The ARC/INFO – Nexpert object interface. In *ASCE monograph on integration issues in expert systems technology*. New York: ASCE.
10. Doorenbos, J., and Kassam A.H. (1979.): Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Rome, Italy: FAO
11. Droogers, P., and Kite G. (1999.): Water productivity from integrated basin modeling. *Irrigation and Drainage Systems* 13:275–290.
12. Dudley, N.J. (1988.): A single decision-maker approach to irrigation reservoir and farm-management decision-making. *Water Resources Research* 24(5):633–640.
13. Faisal, I.M., Young, R.A., and Warner J.W. (1997.): Integrated economic-hydrologic modeling for groundwater basin management. *Water Resources Development* 13(1):21–34.
14. Feddes, R.A., Kowalik, P.J., and Zaradny H. (1978.): Simulation of field water use and crop yield. Simulation monographs. Wageningen, the Netherlands: Pudoc.
15. Feddes, R.A. (1988.): Modelling and Simulation in Hydrologic Systems related to Agricultural Development. *Agricultural Water Management*, 13, 235–248. Amsterdam.
16. Fedra, K., and Jamieson D.G. (1996.): The WaterWare`decision-support system for river-basin planning. 2. Planning capacity. *Journal of Hydrology* 177:177–198.
17. Fedra, K., E. Weigkricht, and Winkelbauer L. (1993.): Decision support and information systems for regional development planning. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied System Analysis.
18. Gereš, D. (1994.): Hidrološki pristup upravljanju vodnim režimom teških tala u cilju primjene kod hidrotehničkih melioracija. Disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 218 stranica.
19. Gereš, D. (1995.): Integralno upravljanje vodama, *Građevinar*, 47(1995)7, 391–396.
20. Gereš, D. (1998.,a): Gospodarska bilanca voda u Republici Hrvatskoj. *Građevinski godišnjak '98*, (ur. V. Simović), HDGI Zagreb, 221–269.

21. Gereš, D., Šperac, M. (1998.,b): Integrated Approach to Water Resources Allocation. XIX Conf. on the Danube Countries, Proc., pp 489–494.
22. Gereš, D., Filipović M. (2000.): Program vodnogospodarskog planiranja u Hrvatskoj. *Građevinski godišnjak 2000*, (ur. V. Simović), HSGI zagreb, str. 95–175.
23. GWP (1998.): <http://www.gwp.sida.se>.
24. Harboe, R. (1992.): Multiobjecitve decision making techniques for reservoir operation. *Watr. Resour. Bulletin* 28(1):103–100. 1992.
25. Harding, B.J., Sangoyomi, T.B., and Payton E.A. (1995.): Impacts of a severe drought on Colorado river water resources. *Water Resources Bulletin* 31(5):815–824.
26. ICWE (1992.): International Conference on Water and the Environment, Development Issues for the 21–st Century, January 26–31, 1992, Dublin, ICWE Sec. and WMO, Switzerland, 1992.
27. Ikebuchi, S., Takasao, T., and Kojiri, T. (1982.): Real–time operation of reservoir systems including flood, low flow, and turbidity countrols. In *Experience in operation of hydrosystems*, ed. T.E. Unny and E.A. McBean, 25–46, Littleton, Colorado: Water Resources Publications.
28. Kite, G.W. (1997.): Manual for the SLURP hydrological model. Saskatoon, Canada: National Hydrological Research Institute.
29. Ko, S., Fontane, D.G., and Labadie J.W. (1992.): Multiobjecitve optimization of reservoir systems operation. *Water Resources Bulletin* 28(1):111–127.
30. Kopp S.M. (1996.): Linking GIS and Hydrological Model: where we have been, where we are going?, Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management, IAHS 235, pp. 133–139.
31. Lefkoff, L.J., and Gorelick S.M. (1990.): Simulating physical processes and economic behavior in saline, irrigated agriculture: Model development. *Water Resources Research* 26(7):1359–1369.
32. Loucks, D.P. (1996.): Surface Water Systems. In: *Water Resources Handbook*, ed. Mays, L. McGraw–Hill, New York.
33. Martin, Q.W. (1983.): Optimal operation of multiple reservoir systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* 119(1):58–74. ASCE.
34. Nandal, K.D.W., and Bogardi, J.J. (1995.): Optimal operation of a reservoir for quality control using inflows and outflows. *Water Science Technology* 31(8):273–280.
35. Noel, J.E., and Howitt, R.E. (1982.): Conjunctive multibasins management: An optimal control approach. *Water Resources Research* 18(4):753–763.
36. Nyerges, T.L. (1993.): Understanding the scope of GIS: Its relationship to environmental modeling. In *Environmental modeling with GIS*, ed. M.F. Goodchild, B.O. Parks, and L.T. Steyaert, 75–84. New York: Oxford University Press.
37. Orlob, G.T., Simonović, S. (1982.): Reservoir operation for water quality control. In *Experience in operation of hydrosystems*, ed. T.E. Unny, and E. McBean, 263–285. Littleton, Colorado: Water Resources Publications.
38. Parsons, J.E., Skaggs, R.W., and Doty, C.W. (1991.): Development and testing of a water management model (WATERCOM): Development. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 34(1):120–128.
39. Replogle, J.A., Clemmens, A.J., Jensen, M.E. (1996.): Irrigation Systems. In: *Water Resources Handbook*, ed. Mays, L. McGraw–Hill, New York.
40. Richardson, L.F. (1922.): *Weather prediciton by numerical processes*. London, UK: Cambridge University Press.
41. Schneider, M.L.; and Whitlach, E.E. (1991.): User–specific water demand elasticities. *Journal of Water Resources Planning and Management* 17(1):52–43.
42. Serageldin, I. (1995.): Water Resources Management: A new Policy for a Sustainable Future. *Water Resources Development*, 11(3):221–231.

43. Skaggs, R.W. (1980.): A water management model for drained soils. Technical Bulletin No. 207, North Carolina Agricultural Service.
44. Tejada-Guibert, J.a., Johnson, S.A., and Stedinger, J.R. (1995.): The value of hydrologic information in stochastic dynamic programming models of a multireservoir system. *Water Resources Research* 31(10)2571–2579.
45. Texas Water Development Board. (1972.): Economic optimization and simulation techniques for management of regional water resource systems: River basin simulation model SIMYLD—II. program Description. Austin, Texas: Texas Water Development Board.
46. UN (United Nations). (1994.): The use of microcomputers in water resources planning and development. Water Resources Branch. Department of Support and Management Services. New York: United Nations.
47. UNCED (1992.): UN Conference of Environment and Development – AGENDA 21. Protection of the Quality and Supply of Freshwater Resources, Application of Integrated Approches to the Development, Management and Use Water Resources. UN Geneve, 1992.
48. Uredba o klasifikaciji voda (1998.). *Narodne novine* br. 15/81 i 77/98.
49. Uredba o procjeni utjecaja na okoliš (1997.). *Narodne novine* br. 34/97, 37/97.
50. Walsh, M.R. (1992.): Toward spatial decision support systems in water resources. *Juornal of Water Resources Planning and Management* 109(2):158–169.
51. Wurbs, R.A. (1995.): Water management models: A guide to software. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice–Hall.
52. WWC (1998.): <http://www.worldwatercouncil.org>.
53. Yeh, W.W.–G. (1996.): Groundwater systems. In *Water resources handbook*, ed. L. Mayes. New York: McGraw–Hill.
54. Young, R.A. (1996.): Measuring economic benefits for water investments and policies. World Bank Technical Paper No. 338. Washington, D.C.: World Bank.
55. Zakon o vodama Republike Hrvatske (1995.). *Narodne novine* br. 107/95.
56. Zakon o zaštiti okoliša (1999.). *Narodne novine* br. 82/96, 128/99.

6

RJEŠAVANJE PROBLEMA SUVIŠNIH UNUTARNJIH VODA U HIDROMELIORACIJSKIM SUSTAVIMA

Prof. dr. sc. Frane Tomić
Prof. dr. sc. Dragutin Petošić
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za melioracije

1. Uvodna napomena	
2. Vrste suvišnih voda i njihova štetnost	178
2.1. Suvišne površinske vode	178
2.2. Suvišne podpovršinske vode	179
2.2.1. Stagnirajuće suvišne vode	179
2.2.2. Podzemne vode	179
3. Način prevlaživanja tla i formiranje melioracijskih tipova tala	182
3.1. Melioracijski tip tla - aluvijalno semiglejna tla	182
3.2. Melioracijski tip tla - hipoglejna tla	183
3.3. Melioracijski tip tla - amfiglejna tla	184
3.4. Melioracijski tip tla -pseudoglejna tla	185
4. Rješavanje suvišnih voda na hidromorfnim tlima	186
4.1. Obrana površina od vanjskih voda	187
4.2. Osnovna odvodnja	187
4.3. Detaljna odvodnja	188
4.3.1. Površinska detaljna odvodnja	188
4.3.2. Podzemna detaljna odvodnja	190
4.3.3. Kombinirana detaljna odvodnja	192
LITERATURA	195

1. Uvodna napomena

Uzgoj poljoprivrednih kultura odvija se u dva medija – tlo i atmosfera. U ovim medijima osiguravaju se vegetacijski čimbenici: svjetlost, toplina, zrak, hranjiva i voda. Ove čimbenike pojedinačno i njihov interakcijski utjecaj na rast i razvoj biljaka proučava više znanstvenih disciplina. Voda je čimbenik kojeg biljke uglavnom koriste iz tla pa je moguće određenim postupcima regulirati stanje voda u tlu i njezin utjecaj na uzgoj bilja. Naime, pri uzgoju bilja često je potrebno primjenjivati hidromelioracijske i agromelioracijske mjere, kako bi se otklonio nepovoljan utjecaj viška, odnosno nedostatak vode u tlu. U ovom radu obrađuje se problem suvišnih voda tla i njihovo rješavanje u svrhu uspješnog uzgoja poljoprivrednih kultura.

2. Vrste suvišnih voda i njihova štetnost

Suvišne vode ne samo da uvjetuju nepovoljne vodo-zračne odnose u tlu, već su suviše vlažna tla hladnija, teža za obradu i imaju smanjen kapacitet fiziološki aktivne vode. Prema tome, osnovni cilj reguliranja suvišnih voda tla je osiguranje optimalne vlažnosti u zoni rizosfere kroz cijelo vegetacijsko razdoblje. Pri optimalnoj vlažnosti tla osigurana je i potrebna količina zraka u tlu i tada je (što se tiče potrebe biljaka) odnos vode i zraka najpovoljniji. U vezi s tim ostvareni su i ostali čimbenici rasta i razvoja poljoprivrednih kultura – prvenstveno toplina i mineralne tvari u tlu.

Dakle, štete koje mogu nastati od suvišnih voda, pri uzgoju poljoprivrednih kultura, su raznolike. Prisutnošću suvišnih voda gotovo uvijek dolazi do ostvarivanja manjih prinosa uzgajanih kultura. Uz to, dolazi do otežavanja u izvođenju agrotehničkih zahvata od predsetvene obrade tla do berbe, koje treba pravovremeno obaviti. Tomić (1984) navodi da se u Slavoniji i Baranji, u pojedinim godinama, uslijed suvišnih voda, ne uspije posijati čak 30 % površina. Isto tako se, prosječno godišnje zbog suvišnih voda, ne uspije pobrati usjev na oko 7 % zasijanih površina. Uz to, Tomić (1987.) ističe konstataciju da je u Hrvatskoj, zbog suvišnih voda, nesigurna biljna proizvodnja na čak oko 70 % obradivih površina.

Suvišne vode tla mogu biti površinske i podpovršinske. Podpovršinske vode Tomić (1984) dijeli na stagnirajuće i podzemne vode.

2.1. Suvišne površinske vode

Prema porijeklu suvišne površinske vode mogu biti oborinske ili vlastite i vode koje dolaze sa strane. Oborinske ili vlastite potječu od oborina koje padnu na proizvodnu površinu (Sl. 1). Vode koje dolaze sa strane potječu iz susjednih područja i vodotoka. S viših susjednih područja voda se može površinski ili kroz tlo slijevati na proizvodne površine, a iz vodotoka nailaziti pojavom poplava (Sl. 2). U nizinskim područjima gdje je površina ravna ili je u obliku depresije, a tlo je slabije propusnosti, voda može povremeno ili čak stalno stagnirati na površini. To su uglavnom močvarna tla, a ima ih u Hrvatskoj više od 100.000 ha.

Pri uzgoju poljoprivrednih kultura na ovim tlima prevladavaju anaerobni uvjeti u zoni korjenova sustava pa je na njima otežan, ili onemogućen uzgoj bilja.



Slika 1:
*Suvišne površinske
(oborinske ili vlastite)
vode*



Slika 2:
*Suvišne površinske
(poplavne) vode*

2.2. Suvišne podpovršinske vode

To su vode koje tlo saturiraju povremeno ili trajno iznad vrijednosti poljskog vodnog kapaciteta. Ovo prevlaživanje može biti u dijelu ili cijelom profilu tla. Po porijeklu podpovršinske vode također mogu biti vlastite ili oborinske i vode koje nailaze sa strane. Međutim, treba razlikovati dvije vrste ovih voda: stagnirajuće suvišne vode iznad slabije propusnog sloja tla, koji se nalazi blizu površine terena, i podzemne vode. Problem ovih suvišnih voda pojavljuje se na hidromorfnim tlima.

2.2.1. Stagnirajuće suvišne vode

Pojavljuju se iznad slabije propusnog sloja tla, koji se nalazi blizu površine terena, na hidromorfnim tlima. Ove vode su karakteristične za pseudoglejna tla, epiglejna i amfiglejna tla kojih ukupno ima u Hrvatskoj oko 1,300.000 ha.

Stagnirajuće vode iznad slabije propusnog sloja uglavnom se pojavljuju u zoni rizosfere. S obzirom na to da suvišna voda najčešće ispunjava sve pore tla, dolazi do redukcijskih procesa (spojevi željeza i mangana prelaze iz trovalentnih u divalentne oblike koji su topovi u vodi). Oni utječu, ne samo na promjenu boje tla već su nepovoljni za strukturu tla i za samu biljku. Ova vlažna faza (redukcijski procesi) iz zimskog razdoblja izmjenjuje se suhom fazom, koja se pojavljuje u ljetnom razdoblju (posebno u pseudoglejnim tlima). U suhoj fazi prevladavaju oksidacijski procesi. Željezo i mangan izlučuju se kao rdaste mrlje, pa tlo dobiva mramorasti izgled. Izmjena vlažne i suhe faze utječe na formiranje tala s različitim značajkama. Temeljni cilj melioracija ovih tala je odvođenje suvišne vode iz korjenova sustava biljke. Time se regulira vodo-zračni odnos u tlu i onemogućavaju posljedice prekomjerne vlažnosti tla, odnosno izmjene vlažnih i suhih faza. Uz odvođenje suvišne vode potrebno je izvršiti prorahljivanje nepropusnog sloja tla. Time se ostvaruju veća prozračnost, propusnost i veći kapacitet pristupačne vode za biljke u zoni rizosfere. U sklopu ovih melioracija primjenjuje se i kalcifikacija (dodavanje kalcija) i dodavanje organske tvari u svrhu poboljšanja fizikalnih i kemijskih značajki tla.

2.2.2. Podzemne vode

Podzemne vode su vode koje ispunjavaju sve pore u tlu, tj. saturiraju tlo do maksimalnog kapaciteta tla za vodu. Ovdje se misli na slobodnu vodu ispod površine tla, a ne na vodu koja je na većoj dubini ili pod tlakom (artešku vodu). Ovako definirana podzemna voda se često pojavljuje, ili je čak stalno prisutna u nekim tlima

poljoprivrednih površina. Pojava podzemne vode, nedaleko od površine terena, uvjetovana je prisustvom sloja koji je, zbog malog volumena pora ili malih dimenzija pora (glina), nepropustan za vodu. Nakon saturiranja površinskog sloja tla, sva voda, koja dolazi oborinama ili pritječe sa strane (iz bližeg vodotoka ili uzvišenog terena), procjeđuje se kroz makropore do nepropusnog sloja i popunjavajući sve pore formira podzemnu vodu. Ovisno o specifičnim uvjetima, dubina njezine razine može biti različita. U našim nekim područjima dospijeva i do površine tla pa je riječ o podvodnom terenu. Osim toga, dubina podzemne vode može i tijekom godine znatno oscilirati. Na promjene njezine razine, izravno ili neizravno, neminovno utječe količina i raspored oborina. Na površinama riječnih dolina – u aluvijalnim tlima –fluktuiraju ovisno i o razini vode u postojećem vodotoku. U semiglejnim tlima (livadsko tlo) podzemna voda uglavnom se nalazi ispod 1 m dubine, te često utječe na prevlaživanje zone rizosfere. U ritskoj crnici (humoglej) cijeli je profil tla, sve do površine, saturiran podzemnom vodom. U drugom dijelu godine voda se povlači i spušta ispod 1 m. Isto tako, prevlaživanje rizosfere vrši se visokom razinom podzemne vode na hipoglejnim i amfiglejnim tlima. Ako se razina podzemne vode nalazi u neposrednoj blizini površine tla, tada može doći u pitanje uzgoj kulturnog bilja. U tom slučaju dolazi do djelomičnog ili čak potpunog nedostatka zraka u zoni korijena. To dovodi do anaerobnih uvjeta i biljke teže vegetiraju ili ugibaju. Prema tome, za uspješan uzgoj kulturnih biljaka potrebno je melioracijskim mjerama osigurati razinu podzemne vode ispod granice koju uzgajane kulture toleriraju. Naime, zamočvarivanje tla se pojavljuje kada razina podzemne vode dostigne dubinu koja je nepovoljna za uzgajane kulture. U tom slučaju, iz tog dijela rizosfere, voda istiskuje zrak i dolazi do nedostatka kisika, odnosno do promjena u biokemijskim procesima i razgradnji organske tvari. U vezi s tim, hranjivi elementi u tlu ne prelaze u biljkama pristupačne oblike, već u oblike koje biljka ne može koristiti ili su štetni za nju. Zbog toga korijenov sustav se slabije razvija, biljke zaostaju u razvoju ili ugibaju. Osim toga, prisustvo podzemne vode iznad tolerantne granice uvjetuje pogoršanje fizikalnih, kemijskih i mikrobioloških značajki tla, koja također ograničavaju mogućnost uzgoja poljoprivrednih kultura pa je, radi njihova melioriranja, neophodno primijeniti hidrotehničke i agrotehničke mjere. Tla u kojima se nalazi previsoka razina podzemne vode ne mogu se često puta na vrijeme, primjenom agrotehničkih mjera, pripremiti i zasijati pa je već početkom vegetacije proizvodnja neuspjela. Općenito se smatra da najpliću podzemnu vodu toleriraju livade i pašnjaci, i to na dubinu 20—30 cm. Neke povrćarske kulture (luk, rajčica, grah, krumpir) dobro podnose podzemnu vodu na dubini 50—60 cm. Većina ratarskih kultura (žitarice) toleriraju podzemnu vodu na dubini 100—120 cm. Pri uzgoju voćarskih kultura poželjna je dubina podzemne vode ispod 150 cm. Ako se zona rizosfere vlaži kapilarnim putem od podzemne vode, u tom slučaju vrlo značajan je odnos vode i zraka u području korijenova sustava. Ovaj odnos može se izraziti pomoću 'poroznosti aeracije':

$$A = P - K_v$$

A = poroznost aeracije u vol. %

P = ukupna poroznost u vol. %

K_v = kapilarna vlažnost u vol. %

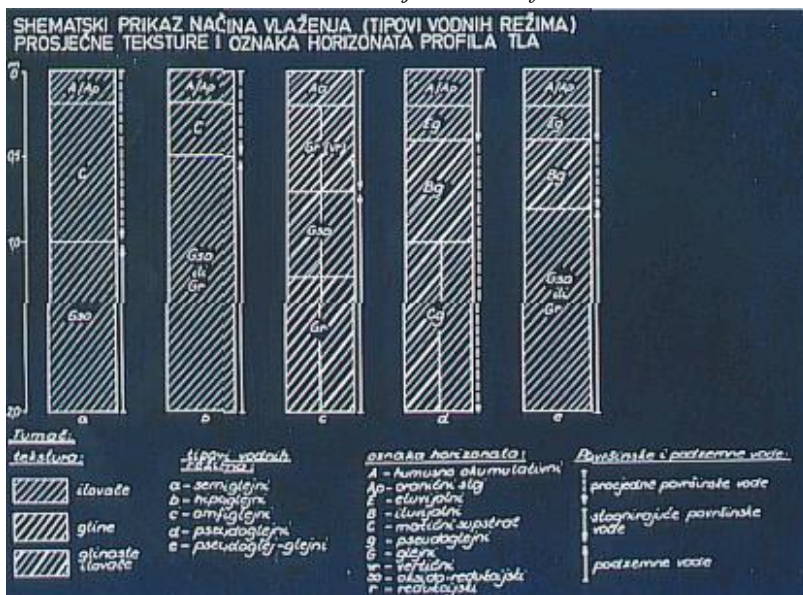
Poznato je da su tla, koja imaju poroznost aeracije iznad 10 vol. %, dobro aerirana. Od 10—6 vol. % slabo su aerirana, a na tlima koja imaju poroznost aeracije ispod 6 % uzgoj mnogih poljoprivrednih kultura dolazi u pitanje. S obzirom da se veći dio naših hidromorfnih tala nalazi kroz cijelu vegetaciju, ili u nekim njezinim razdobljima, pod utjecajem visoke razine podzemne vode, na njima je nepovoljan vodo-zračni odnos i ograničena je biljna proizvodnja. U svrhu poboljšanja aeracije u tim tlima prvenstveno je

potrebno, primjenom mjera detaljne odvodnje (uglavnom sustavom cijevne drenaže), sniziti dubinu podzemne vode ispod njezine tolerantne dubine.

O utjecaju dubine podzemne vode na prinos pojedinih poljoprivrednih kultura, kao i o reguliranju visoke razine podzemne vode, do danas je proveden znatan broj istraživanja. Značajna su istraživanja Vissera (1958) u Nizozemskoj. Po njemu je optimalna dubina podzemne vode veća što su tla sitnijeg teksturnog sastava. Nakon toga, prinos opada s povećanjem dubine vode s tim da krivulja o smanjenju prinosa naglje pada što su teksturne čestice tla krupnije. Objašnjenje za ovakav odnos nalazi se u tome, da, pri plitkoj podzemnoj vodi biljke trpe od nedostatka kisika, dok pri dubokoj razini pad prinosa uzrokuje nedostatak vode u zoni rizosfere. Isto tako i podaci Feddesa (1971) potvrđuju da krupno teksturna tla zahtijevaju pliću razinu podzemne vode u odnosu na tla s finom teksturom. Po njemu, optimalna dubina podzemne vode za pjeskovita tla iznosi 60—90 cm, a 100—150 cm za glinasta tla. Osim toga, značajni su kultura i klimatski uvjeti. To je logično, jer biljke s plitkim korijenom podnose, ili im odgovara, plića razina podzemne vode, a obratno od toga je s biljkama koje imaju razvijeni korijen. Williamson i Kriz (1970) navode odnos prinosa određenih poljoprivrednih kultura i dubine podzemne vode. Njihovi rezultati su pokazali da pojedine kulture (trave i djeteline) postižu najveće prinose pri plitkoj razini podzemne vode (čak, pri 15 cm ispod površine tla), dok neke kulture kao što su: žitarice, grašak, grah i šećerna repa, ostvaruju najveći prinos pri dubini podzemne vode od 150 cm. Ovi su rezultati dobiveni u eksperimentu gdje su održavane konstantne dubine podzemne vode. Međutim, Sieben (1964) je ukazao na utjecaj visoke fluktuirajuće podzemne vode, iz razdoblja listopad—travanj, na prinose ozimih i jarih kultura. Pri vrijednostima SEW_{30} od 100—200 prinos žitarica opada.

$$SEW_{30} = \sum_n^{i=1} (30 - X_i).$$

Dakle, Sieben je preporučio tzv. SEW_{30} vrijednost, uzimajući da je tolerantna dubina podzemne vode 30 cm, a X_i dnevna dubina vode manja od 30 cm, u razdoblju listopad—travanj. Znači da je SEW_{30} vrijednost, u stvari, zbroj vrijednosti prekoračenja granične dubine od 30 cm. Rezultati Tomića et al (1977) su pokazali da je vrijednost SEW_{30} za površine na području Vinkovaca iznosio više od 200, dok je u proljetnom razdoblju ovaj broj još i veći, a time je za proljetne kulture situacija izrazito nepovoljna. Iz ovog kraćeg prikaza, jednog dijela literature o problemu podzemne vode, može se primijetiti da fizikalne karakteristike tla, zatim klimatski uvjeti i vrsta kulture utječu na dozvoljenu (tolerantnu) dubinu podzemne vode. U svakom slučaju potrebno je poznavati dozvoljenu dubinu podzemne vode kako bi se njezina razina uspješno regulirala primjenom adekvatnih mjera detaljne odvodnje. Danas se smatra da je cijevna drenaža, kao sustav općenito, najefikasnija za reguliranje visoke razine podzemne vode. U zadnje vrijeme i u našoj su zemlji provedeni eksperimenti i objavljeno je više radova, koji su razmatrali sustave reguliranja prekomjerne vlažnosti tla, a osobito visoke razine podzemne vode. Istraživanja Tomića et al (1977), Plamenca i Uzelca (1977), Tomaša i Tomića (1977), Tomića i Marinčića (1979), Tomića et al (1985), Petošića (1994) pokazala su da se uređenje vodnog režima tla, na hidromorfnim tlima gdje je prisutna podzemna voda, najefikasnije rješava primjenom detaljne odvodnje sustavom cijevne drenaže. Ako je podzemna voda, koja se nalazi na neposrednoj dubini, slana, to još više otežava mogućnost uzgoja kultura. Naime, u tom slučaju dolazi do pojave zaslanjivanja tla u zoni rizosfere, što je znatno štetnije od pojave zamočvarivanja. Međutim, problem zaslanjivanja je specifičan pa se ne obrađuje u ovom radu.

Slika 3: *Prevlaživanje hidromorfni tala*

3. Način prevlaživanja tla i formiranje melioracijskih tipova tala

Hidromorfna tla se razlikuju po hidropedološkim značajkama. Na temelju ovih značajki ona se mogu svrstati u određene skupine melioracijskih tipova tala, koja olakšavaju izbor melioracijskih mjera za rješavanje problema suvišnih voda. U našim uvjetima najrasprostranjeniji su melioracijski tipovi tala: aluvijalno semiglejna tla, hipoglejna, pseudoglejna i amfoglejna tla. Ovi melioracijski tipovi tala imaju različiti način i intenzitet vlaženja. Način i intenzitet vlaženja (hidrogenizacija tla) su rezultat ulaska, zadržavanja, gibanja i gubitka vode u tlu. Prekomjerno prevlaživanje u pojedinim hidromorfni tlima se odvija na principu, kao što je prikazan na slici 3.

Način reguliranja suvišnih voda, pri melioriranju hidromorfni tala u praksi, prvenstveno ovisi o tipu prevlaživanja tla (Tomić, 1987). U našim uvjetima najčešće se pojavljuju: aluvijalni, semiglejni, hipoglejni te pseudoglejni i pseudoglej-glejni način hidrogenizacije tla. U daljnjem tekstu obrađuje se ova problematika za najrasprostranjenije melioracijske tipove tala.

3.1. Melioracijski tip tla – aluvijalno semiglejna tla

Ovaj melioracijski tip tla se razvija na priobalnom pojasu prirodnih vodotoka. Priobalni pojas najčešće je uski recentni aluvijalni nanos uz prirodni vodotok. Uz to, ova tla, se mogu širiti i na prostor koji predstavlja prijelazni dio prema bazenskom prostoru. Tla ovog melioracijskog tipa imaju semiglejni ili modificirani hipoglejni način vlaženja. Naime, vlaženje tla nastaje od vrlo dubokih, dubokih, pa i srednje dubokih podzemnih voda. Zbog toga neke lokacije ovih tala nije potrebno podvrgavati mjerama detaljne odvodnje. To se odnosi na aluvijalna tla koja su povremeno vlažena vrlo dubokom ili dubokom podzemnom vodom, koja dopire maksimalno do 1 m ispod površine tla.

Dio aluvijalno semiglejnih tala je vlažen procijednim površinskim vodama (naročito u potpovršinskim slojevima) i podzemnom vodom koja se uglavnom u vlažnom dijelu godine diže bliže površini (slika 4) i, zajedno s procijednom površinskom vodom, izaziva procese oglejavanja u zoni 30—80 cm dubine.

U cilju sprečavanja dizanja i stagniranja podzemne vode u zonu korijenova sustava (prvenstveno u doba sjetve usjeva u proljeće) te bržeg odstranjivanja procijednih površinskih voda koje dopijevaju u ovu zonu, primjenjuje se detaljna odvodnja sustavom podzemne cijevne drenaže. S obzirom na povoljnu strukturu tla, lagani teksturni sastav i povoljnu propusnost tla iznad dubine drenova, nisu potrebne dodatne mjere za ubrzanje dotoka vode u drenove pri melioriranju ovih tala.



Slika 4: Aluvijalno semiglejno tlo prevlaživano podzemnom vodom

3.2. Melioracijski tip tla – hipoglejna tla

Ova tla se razvijaju, uglavnom, na prostoru od povišenog aluvijalnog nanosa (zaobalja) do bazenskog dijela amfiglejnih tala. Vrlo intenzivno su vlažena dubokom, srednje dubokom ili plitkom podzemnom vodom. Razina podzemne vode većim dijelom godine je prisutna do 1 m ispod površine tla. Međutim, povremeno se dižu do 0,5 m dubine, a na nekim lokacijama i do same površine tla, te vrše gleizaciju, odnosno stvaranje glej horizonta. Kod ovog tipa tla mogu postojati i različiti intenziteti povremenog suficitnog vlaženja oborinskim vodama, čija je perkolacija usporena visokom podzemnom vodom, pa govorimo o suficitnom vlaženju 'poduprtim vodama'. Ovaj slučaj posebno dolazi do izražaja na onim lokacijama gdje je inače slabija profilna drenažnost uslijed težeg teksturnog sastava. Ovaj tip tla je evolucijski predstadij amfiglejnog tla, pa u korištenju tih tala treba posvetiti određenu pažnju kako bi se održala najčešće prisutna povoljna profilna drenažnost i povoljna struktura tla.

Pri melioriranju hipoglejnih tala treba sniziti razinu podzemne vode na odgovarajuću dubinu za uzgajane kulture. To se najefikasnije postiže sustavom podzemne cijevne drenaže (Sl. 5). Na onim hipoglejnim tlima (lokacijama), gdje je potrebno poboljšati vertikalnu propusnost slojeva tla, iznad drenova, i ubrzati dotok površinske vode prema njima, preporuča se podiranje do 60 cm dubine, kao dodatna agromelioracijska mjera.

Slika 5: Reguliranje podzemne vode na hipoglejnom tlu



3.3.

Melioracijski tip tla – amfiglejna tla

Ovaj tip tla uglavnom zauzima dolinski reljef. Razvija se na najnižim dijelovima, odnosno, u centralnom bazenu prirodnih vodotoka kao i njegovih pritoka, te u mezo depresijama i mrtvajima ranijih vodotoka. Ovakav reljef zauzima u našim prilikama priličan prostor. Ovaj melioracijski tip tla je u stvari rezultanta suficitnog vlaženja poplavnim, oborinskim i podzemnim vodama (Sl. 6).

Slika 6: Amfiglejno tlo prevlaživano površinskim i podzemnim vodama



Utjecaj poplavnih voda je periodičan, ovisno o učestalosti i dužini trajanja poplava, odnosno ovisno o lokaciji na kojoj se nalazi. Utjecaj oborinskih stagnirajućih voda je obično najduži, a intenzitet njihovog prevlaživanja ovisi o položaju i granulometrijskom sastavu sedimentata tla. Utjecaj podzemnih voda (plitke, srednje duboke, duboke) također ovisi o lokaciji, ali često kraće djeluju od oborinskih stagnirajućih voda. U tim amfiglejnima i hidrološkim uvjetima dolazi do akumulacije glinene komponente putem sedimentacije i neogenetskih promjena, što rezultira horizontalnom građom profila – uglavnom Aa-Gr-Gso—Gr. Ostale značajke amfiglejnih tala su:

- vrlo slaba eksterna dreniranost zbog vrlo malog relativnog pada terena,
- vrlo slaba interna (profilna) dreniranost zbog vrlo male vertikalne propusnosti za vodu, odnosno, zbog teškog teksturnog sastava posebno u potpovršinskom (Gr) horizontu (sadržaj glinastih čestica iznosi uglavnom preko 40 %),
- amfiglejni tip hidrogenizacije, gdje na prevlaživanje tla utječu površinske (oborinske, slivne, poplavne) i fluktuirajuće podzemne vode,

— najčešće su nepovoljna fizikalna svojstva tla, posebno Gr horizonta (uz teži teksturni sastav i slabu propusnost za vodu, još i velika plastičnost, slabija struktura, nepovoljan kapacitet za zrak), kao i nepovoljna kemijska svojstva tla (kisela reakcija, slaba zasićenost adsorpcijskog kompleksa bazama, te slaba opskrbljenost fiziološki aktivnim hranjivima),

— površine ovih tala najčešće se ne obrađuju i na njima su uglavnom zastupljene lošije ili močvarne livade ili pašnjaci.

U cilju rješavanja problema suvišnih voda, na amfiklejnim tlima, primjenjuju se kombinirana detaljna odvodnja. Ona se sastoji od cijevne drenaže, krtičenja kao dodatne mjere, te hidrauličnog filter materijala kojim se poboljšava hidraulična propusnost drenažnog jarka iznad postavljene cijevi.

3.4. Melioracijski tip tla – pseudoglejna tla

Zauzimaju uglavnom rubni dio bazenskih tala (pseudoglej-glej), obronačne dijelove područja (obronačni pseudoglej), te priterasna i terasna područja (ravničarski pseudoglej). Ove pozicije reljefa utječu na umjerenu pa i dobru eksternu dreniranost. Međutim, obronačni zemljišni prostor ima stariju geomehaničku građu (pleistocen) s visokim udjelom frakcije praha u teksturnom sastavu, anizotropne je građe i slabe stabilnosti strukturnih agregata u vodi. Profil je nehomogene poligenetičke građe, čiji su horizonti (A-Eg-Bg-C) različitih drenažnih karakteristika.



Slika 7: Pseudoglejno tlo prevlaživano oborinskim vodama

Ovaj specifičan tip hidromorfni tala je periodično i prekomjerno vlažen oborinskim vodama (Sl. 7). U tim uvjetima dolazi do debazifikacije, acidifikacije i konačno ilimerizacijom gline iz površinskog horizonta u Btg horizont. Teksturni sastav površinskog horizonta je uglavnom praškasta ilovača s udjelom čestica praha do 75 %. Ispod toga pojavljuje se glinasto ilovasti sastav, koji je u sklopu Bg horizonta zbit i slabo propustan za vodu. Dubina pojave slabo propusnog Bg horizonta, inklinacija i ekspozicija (forme reljefa), izravno utječu na vrijeme stagniranja oborinskih voda u fiziološki aktivnoj zoni profila. Izmjena mokre faze (anaerobni uvjeti – redukcija) i suhe faze tla (aerobni uvjeti – oksidacija) rezultira tipičnom morfološkom građom profila. Horizont Bg je išaran vertikalnim mramoriranim prugama maslinasto sive boje (redukcijski procesi) s mazotinama žuto smeđe boje (oksidacijski procesi).

Pseudoglej–glej tlo ima, do oko 1 m dubine, isti karakter vlaženja i gotovo identična fizikalna i kemijska svojstva, odnosno pedogenetske procese kao i uvjetno rečeno klasični pseudoglej. Ispod dubine oko 1 m, kod pseudoglej–glejnih tala dolazi do oksidoredukcijskih procesa izazvanih sufcitnim vlaženjem dubokih podzemnih voda, te nastaje glejni horizont. Prisustvo dubokih podzemnih voda rezultira iz lokacije ovih tala, jer zauzimaju niže položaje u odnosu na pseudoglej tlo.

Dakle, melioracijski tip tla – pseudoglejna tla – mogu biti različite forme (pedološke jedinice), ali imaju zajedničke probleme koji se u principu jednako rješavaju. Osnovni problemi ovih tala su:

- nestabilna struktura površinskog horizonta, zbog velikog sadržaja praškaste komponente u teksturnom sastavu i malog sadržaja organske tvari,
- nepovoljna uslojenost, odnosno nehomogenost tla do oko 2 m dubine,
- postojanje Bg, odnosno Btg horizonta, koji se odlikuju nepovoljnim vodozračnim režimom (vrlo slaba propusnost za vodu, vrlo nepovoljan kapacitet za zrak),
- dolazi do kraćeg ili dužeg stagniranja površinskih voda u gornjem solumu tla, a kod pseudoglej–glejnih tala i do povremene pojave podzemnih voda ispod 1 m dubine,
- najčešće je prisutna kisela reakcija tla i slaba opskrbljenost hranjivima.

Rješavanje navedene kompleksne problematike zahtijeva primjenu agro i hidrotehničkih melioracijskih zahvata koji se trebaju pravilno i u određenom trenutku izvesti:

- ugraditi podzemnu cijevnu drenažu
- izvršiti podrivanje tla kao dodatnu mjeru,
- graditi hidraulični filter materijal u drenažne jarke, koji će obavljati ulogu mehaničkog filtera,
- primijeniti kalcifikaciju u svrhu poboljšanja fizikalnih i kemijskih svojstava tla.

4. Rješavanje suvišnih voda na hidromorfnim tlima

S opravdanjem se može konstatirati da povećanje poljoprivredne proizvodnje, na hidromorfnim tlima, najviše ovisi o poboljšanju vodozračnih značajki. U Hrvatskoj ova tla zauzimaju više od 2 milijuna hektara (Tomić, 1981). To su uglavnom tla kod kojih prisustvo suvišnih voda čini najveći čimbenik ograničenja. Za reguliranje suvišnih voda (površinskih, stagnirajućih i podzemnih) potrebno je primijeniti mjere:

- obrana površina od vanjskih voda,
- osnovnu odvodnju,
- detaljnu odvodnju.

Pojedine zahvate navedenih melioracijskih mjera potrebno je izvoditi pojedinačno ili u njihovoj kombinaciji – ovisno o vrsti tla i njegovim značajkama, kao i o stvarnim prilikama poljoprivrednih površina na kojima se namjerava izvršiti reguliranje suvišnih voda.

Budući da će se zahvatiti obrane površina od vanjskih voda i pitanja osnovne odvodnje obraditi u drugim radovima, ovdje će se samo označiti njihova temeljna uloga, a detaljnije će se razraditi sustavi detaljne odvodnje, u svrhu melioriranja hidromorfnih tala.

4.1. Obrana površina od vanjskih voda

Vanjske vode su one koje pritječu na proizvodne površine sa strane, bilo površinski bilo podzemno. One često uzrokuju pojavu suvišne vode ili čak poplavu. Njihovo pritjecanje može biti s viših terena (obronaka) koji graniče s proizvodnim površinama u nizini i iz postojećih vodotoka koji se izlijevaju pri visokim vodostajima. Za obranu od vanjskih voda primjenjuje se hidrotehničke mjere, kojih ima više. Koja će se od njih primijeniti, ovisit će o konkretnim prilikama na terenu. Za obranu od voda, koje nailaze u nizinski dio s viših terena (brdske vode) služi obodni kanal. Postavlja se u podnožju nagnutih terena, a njegova duljina ovisi o konkretnim prilikama. Vanjske vode, koje nailaze iz vodotoka u obliku poplava, najčešće se rješavaju regulacijom vodotoka i nasipima. U specifičnim uvjetima obrane primjenjuju se odušni kanali te retencijska ili akumulacijska spremišta. Problem obrane površina od vanjskih voda uglavnom se rješava za veći broj posjeda istodobno, odnosno za cijelo melioracijsko područje i u djelokrugu je vodoprivrede. Zbog toga će se pojedinosti o toj problematici obraditi u drugoj temi ovog rada.

4.2. Osnovna odvodnja

Nakon osigurane obrane od vanjskih voda može se djelotvorno riješiti problem vlastitih suvišnih voda, na proizvodnim površinama, sustavom odvodnje. Sustav se sastoji od osnovne i detaljne odvodnje.

Osnovnu odvodnju čine kanali I. i II. reda te objekti za odvođenje sakupljene suvišne vode u recipijent.

Kanali I. reda imaju uglavnom tranzitnu funkciju. Izvode se uglavnom po najnižem terenu. Izlijevaju se u recipijent gravitacijski ili pomoću crpne stanice (najčešće kombinirano jer je razina vode u recipijentu promjenjiva u usporedbi s razinom vode u sustavu odvodnje proizvodnih površina). Kanali II. reda (Sl. 8) prihvaćaju vodu iz kanala III. reda (kanala detaljne odvodnje) i odvođe ju u glavni kanal (kanal I. reda).

Slika 8:
*Otvoreni kanal
I. reda*



Kanali osnovne odvodnje dimenzioniranja se na temelju velikih voda povratnog razdoblja 5—10 godina, uz normu odvodnje koja odgovara slobodnom izljevu (dubini) drenaže. Osnovna odvodnja se najčešće rješava kompleksno, za veće ili manje područje, i uglavnom pripada u djelokrug vodoprivrede pa je i ona obrađena u drugoj temi ovog rada.

4.3. Detaljna odvodnja

Suvišne vode, u zoni rizosfere na proizvodnim parcelama, reguliraju se površinskom, podzemnom i kombiniranom detaljnom odvodnjom.

4.3.1. Površinska detaljna odvodnja

Najstariji je način reguliranja suvišnih voda u tlu. Temeljna zadaća ove odvodnje je da višak oborina sakupi i što prije odvede ih u kanale osnovne odvodnje. Postoji više načina površinske odvodnje, a najčešći su: srednje duboki kanali, slogovanje ili baulacija i 'random' sustav otvorenih kanala.

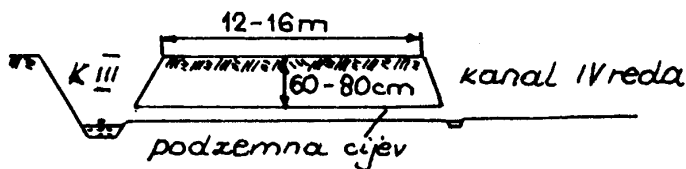
Srednje duboki kanali

Mreža kanala ovog sustava sastoji se od kanala II., III. i IV. reda. Kanali II. reda mogu biti raznolikog razmaka (500—200 m), a III. reda 300—600 m. Razmak između kanala IV. reda je svega 100—150 m, a dubina im je do 1 m. (Silka 9).

Slika 9:
*Srednje duboki
kanali*



Zbog bolje iskoristivosti poljoprivrednih strojeva mogu se izgraditi 'uvratine' čija je širina 12—16 m, a ispod uvratine se postavlja cijev promjera 25 cm, koja služi za izlivanje kanala IV. reda u kanal III. reda (slika 10).



Slika 10: *Presjek uvratine (izljev kanala IV. reda u kanal III. reda)*

Budući da ovaj sustav nema dublju kanalsku mrežu, a dodatne agromelioracijske mjere zbog povoljnih svojstava tla najčešće nisu potrebne, jeftiniji je pri izvođenju od ostalih načina detaljne odvodnje. Nedostaci ovog sustava su u tome što smanjuje obradivu površinu, što se ne može primijeniti za reguliranje previsoke razine podzemne vode i što ga je teže (skuplje) održavati.

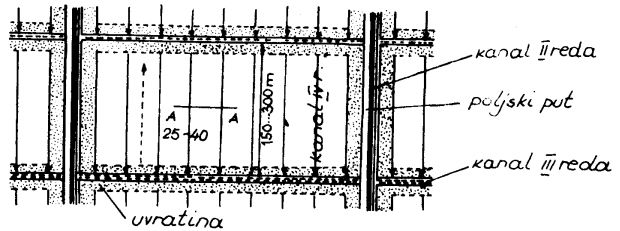
Slogovanje ili bauliranje tla

Može se primijeniti na tlima težeg i teškog teksturnog sastava, gdje je prirodni pad površine nedovoljan za uspješno otjecanje suvišnih oborinskih voda. Ovaj sustav može imati različitu širinu sloga i različitu dubinu kanala IV. reda. Na većim površinama najčešće se izvodi primjenom plitkih kanala i sa širinom sloga 25—40 m. (Slika 11).

Pri izvođenju baula primjenom naoravanja treba paziti na ostvarenje potrebnog jednoličnog pada, od sredine baule do kanala IV reda.

Ispod uvratine postavlja se cijev za odvođenje vode iz plitkih kanala IV reda u kanal III reda (kao na sl. 10).

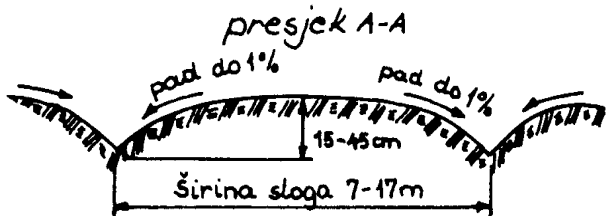
Slika 11: Slogovanje ili bauliranje tla



Budući da se pri uporabi ovog sustava gubi dosta obradive površine, da se ostvaruje neujednačen usjev (obično je slabiji što je bliže kanalima IV. reda ili jarcima), da je teže njegovo održavanje, taj se sustav može preporučiti samo onda ako je nužno. Na manjim površinama gdje su proizvodne jedinice (table) male i gdje se koriste traktori manjih snaga može se primijeniti način 'usko slogovanje'. (Slika 12.).

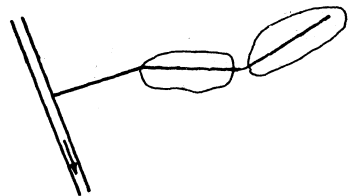
I u ovom slučaju slogovi se formiraju naoravanjem. Dužina sloga iznosi 90—300 m, dok je širina sloga 7—17 m, a pad sloga 1%.

Slika 12: Usko slogovanje



Random sustav otvorenih kanala

Može se primijeniti također na težim tlima gdje se pojavljuju suvišne površinske vode. Ove pojedinačne plitke kanale ili jarke posebno preporučamo za terene gdje se suvišne vode u postojećim depresijama, na obradivim površinama, ne mogu na drugi način sanirati. Najčešće se random sustav izvodi kao na sl. 13.



Slika 13: Random sustav

4.3.2. Podzemna detaljna odvodnja

Izvodi se za sniženje razina podzemne vode u tlima koja imaju dobru propusnost za vodu. To su u prvom redu hipoglejna, humoglejna i semiglejna tla. Ona su uglavnom prekomjerno vlažena u aktivnom dijelu profila zbog dizanja podzemne vode. Za primjenu cijevne drenaže značajno je da tlo ima horizontalnu propusnost za vodu veću od 30 cm/dan, u suprotnom je nužno primijeniti kombiniranu detaljnu odvodnju. Podzemna detaljna odvodnja može se izvesti sustavom otvorenih kanala i pomoću ukopanih podzemnih cijevi (cijevna drenaža). Danas se cijevna drenaža češće primjenjuje, jer ne oduzima obradivu površinu, ne smeta pri obrađivanju tla te su manja ulaganja za njezino održavanje. Za drenažu najviše se koriste rebraste perforirane plastične cijevi (Sl. 5). One se polažu u tlo pomoću dva različita stroja. Jedan od njih kopa, na principu freze, uske jarke širine 20—40 cm, dubine 70—200 cm, s padom oko 3 promila (Sl. 14).



Slika 14:
*Polagač drenova
u obliku freze*

Istodobno polaže i drenažne cijevi svih profila i filtarski materijal – ako se upotrebljava. Uz spomenute radne operacije može paralelno zatrpavati jarke ili se to zatrpava naknadno buldožerom. Preporučuje se drenažu postavljati onda kad je moguće orati površinu (Sl. 15).



Slika 15:
*Povoljni uvjeti za
postavljanje drenova*

Norma za taj način izvođenja drenaže iznosi 200—300 m/h.

Drugi sustav ovih strojeva postavlja cijevi na principu izvođenja krtične drenaže. Taj stroj samo presijeca tlo i postavlja cijevi na određenu dubinu u potrebnom padu, bez iskopa, i za sobom ne ostavlja vidljivih tragova. U osnovi, stroj je buldožer koji ima priključen specijalno konstruiran plug kroz koji prolazi drenažna cijev (Sl. 16). Brzina rada ovog stroja znatno je veća, pa je i učinak postavljanja cijevi veći, i to 300—500 m/h.

Svaki od ova dva navedena načina postavljanja cijevi ima prednosti i nedostataka. Izbor načina postavljanja svakako ovisi, u prvom redu, o tlu. U tlima s jednoličnim profilom, odnosno jednoličnom propusnošću tla za vodu, drenaža je efikasna bez obzira na način postavljanja, ali je ekonomičnost veća pri izvođenju na principima krtične drenaže. Međutim, na teškim tlima koja imaju pojedine horizonte slabo propusne (kao što je čest slučaj na našim hidromorfnim tlima) efikasnija je drenaža kada se cijevi postavljaju u prije iskopane jarke pa je bolje primijeniti postavljanje na principu freze, iako je skuplje. Naime, pri kopanju jaraka izbačena zemlja izmiješana je i prorahljena. Ta zemlja, pošto se njome zatrpavaju cijevi u jarku, postaje znatno propusnija i u sustavu cijevne drenaže ima ulogu filtra, što je vrlo važno. Glavni elementi, važni za primjenu cijevne drenaže u praktične svrhe jesu: promjer cijevi, dubina, razmak, pad, položaj cijevi i fazonski komadi. Ove elemente stručnjak će predvidjeti pri izradi projekta za svaki konkretan slučaj.

Promjer cijevi razlikuje se za cijevi sisala od cijevi hvatala. Sisala se izrađuju sa standardnim promjerom od 50, 65 i 80 mm. Promjer hvatala je veći od 80 mm, a dobije se dimenzioniranjem na temelju količine vode koju treba odvoditi (ovisi o površini i intenzitetu pritjecanja vode), pada cijevi i materijala od kojeg je cijev izvedena. Dužina plastičnih cijevi iznosi 70—200 m, a dobavlja se u kolutima. Najčešće cijevi imaju šest redova rupica s oko 100 rupica na dužni metar. Promjer otvora (rupice) je 0,6—0,9; 1,1—1,5 i 1,7—2,0 mm, tako da ukupna površina otvora rupica po dužnom metru iznosi 12—48 cm². Veličina i oblik otvora na cijevi ovisi o geomehaničkim svojstvima tla.



Slika 16: Polagač drenova u obliku pluga

Dubina postavljanja drenova ovisi o uslojenosti tla, uzgajanoj kulturi, mogućnosti oplavi, te dodatnim mjerama ako se radi o kombiniranoj detaljnoj odvodnji. Najčešće dubina cijevi iznosi 0,8—1,3 m.

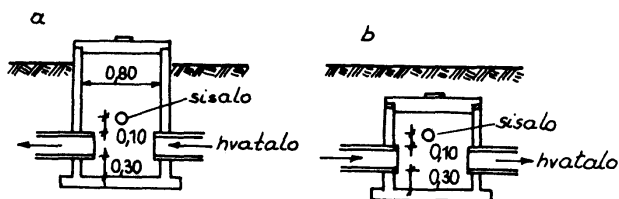
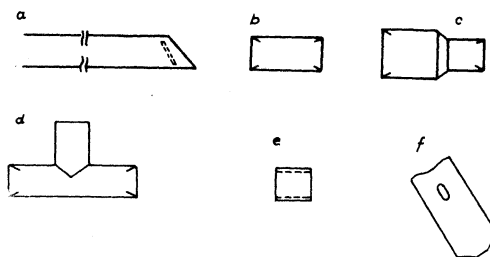
Razmak cijevi u prvom redu ovisi o propusnosti tla za vodu, zatim o dubini nepropusnog sloja tla i iznosi 10—40 m.

Položaj drenova vrlo je važan. U odnosu na pad terena moguće je drenove postaviti: paralelno s padom, okomito na pad i koso na pad terena, odnosno na smjer gibanja podzemne vode. Najpovoljniji je kosi položaj, jer u tom slučaju presijeca put gibanja vode, te vodu prima, a potom je uspješno odvodi.

Pad drenova ovisi o promjeru cijevi i brzini vode u cijevima. Za sisala pad se praktično uzima 1,5—3,0 ‰, a za hvatala 1,0—2,0 ‰. Napominje se da minimalna brzina vode u cijevima iznosi 0,25 m/sec (radi sprečavanja zamuljivanja drena), a maksimalna 1,0 m/sec (veća brzina može narušiti funkciju drenaže).

Fazonski komadi (sl.17) najčešće su: izljevna cijev u otvoreni kanal s poklopcem (a) i štitnikom (f), spojnice za spajanje cijevi (b), redukcijske spojnice (c), T-spojnice (d) i čepovi (e). Za spajanje drenažnih cijevi primjenjuju se i kontrolna okna koja se mogu izvesti nadzemno (a) i podzemno (b) — slika 18.

Slika 17: Fazonski komadi



Slika 18:
Kontrolna okna za
spajanje drenova

Izvođenje cijevne drenaže moguće je u svim vremenskim uvjetima i zimi ako nema snijega više od 10 cm. Međutim, bolje je izbjegavati rad u vlažnim uvjetima jer se time izbjegava mogućnost bržeg zamuljivanja cijevi. Najbolje je drenažu postavljati u vrijeme kada se može obavljati oranje tla.

4.3.3. Kombinirana detaljna odvodnja

Ovaj sustav odvodnje se primjenjuje u svijetu i u nas. Pogodan je za reguliranje suvišnih površinskih i potpovršinskih voda istovremeno. Amfiglejna tla prekomjerno su vlažena oborinskim i podzemnim vodama, tako da se javljaju i suvišne stagnirajuće vode u rizosferi, zbog formiranog slabo propusnog horizonta u aktivnom dijelu profila tla. Stagnirajuće suvišne vode redovito se javljaju, u kraćem ili dužem dijelu godine, u pseudoglejnim tlima.

Sustav kombinirane detaljne odvodnje nastavlja se na kanalsku mrežu (najčešće na kanale III reda), a sastoji se od cijevne drenaže s filterskim materijalom i dodatnih agromelioracijskih mjera. Od dodatnih mjera primjenjuje se pojedinačno ili u kombina-

ciji: krtična drenaža, duboko rahljenje ili podrivanje, duboka obrada tla, kalcizacija, te meliorativna gnojidba organskim i mineralnim gnojivima, ovisno o postojećim prilikama i potrebnom poboljšanju vodo-zračnih značajki u tlu.

Filterski materijali. Za filterski materijal za drenažni sustav danas se upotrebljavaju razni prirodni materijali: šljunak, lomljeni kamen, otpaci cigle, crijepa i sl. Zatim materijali organskog porijekla: slama, trska, šiblje, pilovina, treset, vlakna od kokosa, te umjetni filterski materijali: otpaci plastičnih masa, stiropor, razne bitumenske tvari, tekstilna plastična vlakna. Kao filterski materijal s ograničenim svojstvima uzima se i prirodna prosušena zemlja (za površine koje imaju dobru i stabilnu strukturu), zemlja pomiješana s CaCO_3 razne emulzije pomiješane sa zemljom koje imaju svojstvo da stvaraju granulirane strukture. Međutim, mnogi ovi materijali još su u fazi ispitivanja, pa se o njihovoj funkciji ne može ništa definitivno reći. S obzirom na funkciju filterskih materijala u sustavu detaljne odvodnje razlikujemo mehanički filter, te hidraulični ili kontaktni filter.

Mehanički filter. Ima u prvom redu ulogu sprječavanja zamuljivanja drenskih cijevi od čestica sitnog pijeska i krupnog praha. Da bi filterski materijal izvršio tu ulogu, sipki materijal mora biti granuliran. Budući da je u praksi teško postići potrebnu granulaciju materijala, dosta se upotrebljavaju umjetni omotači oko drenskih cijevi kao mehanički filter (Sl. 16). Najraširenije je u upotrebi kokosovo vlakno, te razne filterske plastike. Drenažne cijevi omotaju se ovim materijalima, a nakon toga se polažu strojevima-drenopolagačima u tlo.

Hidraulični ili kontaktni filter. Treba ubrzati dotok vode kroz jarak u drensku cijev. Visina ovog filtra iznad drenske cijevi u jarku mora biti tolika da omogući spoj podrivanja ili krtičenja s drenskom cijevi, odnosno minimum 10 cm iznad spomenutih dodatnih mjera (slika 19). Širina filterskog sloja teoretski bi mogla biti 7—10 cm. Međutim, u praksi se ovo teško postiže jer su rijetki strojevi koji otvaraju drenski jarak uži od 20 cm. Na taj način troši se puno filterskog materijala i poskupljuje izvođenje drenažnih radova. Pri korištenju prirodnog filterskog materijala (šljunak, tucani kamen, otpaci cigle, crijepa) promjer zrna najčešće u praksi iznosi 5—50 mm.



Slika 19:
Kontaktni (hidraulični)

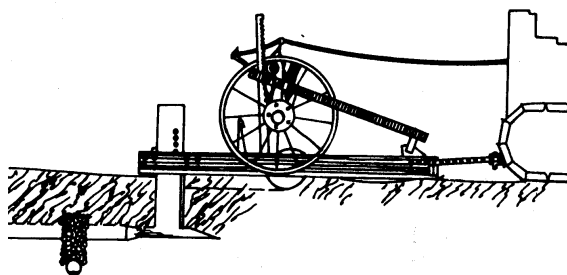
filter materijal

Radi potreba i načina primjene filtera potrebno je poznavati značajke tla, posebno uslojenost, zbijenost, mehanički sastav i propusnost za vodu. Ta značajke, kao i izbor melioracijskih mjera, određuju se prethodnim hidropedološkim istraživanjima na površinama gdje se planira urediti vodo-zračni odnos u tlu.

Krtična drenaža i podrivanje. Često se miješaju pojmovi ‘krtičenje’ i ‘podrivanje’ iako postoji znatna razlika. Krtičenjem se izvodi na određenoj dubini horizontalna bušotina koja prima i odvodi vodu (kao i cijevna drenaža) prema sabirniku, pa se naziva krtična drenaža. Podrivanjem ili dubokim rahljenjem postiže se raspucavanje i rahljenje zdravice na određenoj dubini i time se povećava propusnost za vodu, tj. poboljšava se odvođenje suvišne vode iz aktivnog profila tla.

Krtična drenaža. Nužna dodatna mjera u sklopu kombinirane detaljne odvodnje na tlima teškog teksturnog sastava. Ova tla su u aktivnom dijelu profila zbijena, slabo propusna za vodu, pa se oborinske vode (pogotovo ako su obilatih količina i većeg intenziteta) ne mogu procijediti u dublje slojeve tla, pa je tlo trajno ili periodično suviše vlažno. Krtičnom drenažom zapravo se izvode podzemne bušotine (horizontalni krtičnjaci) pa je djelotvornija na težim glinovitim tlima. Ne može se uspješno primijeniti u tlima s manje od 30 % glinenih čestica, tj. na pjeskovitim pa i ilovastim tlima. Izvodi se pomoću specijalnih krtičnih plugova koji imaju kuglu (u obliku torpeda) s promjerom od 5—10 cm. Plug vuče traktor adekvatne snage (kao na slici 20). Smjer je krtičenja u pravcu najvećeg pada terena i okomito na cijevnu drenažu, a može biti i pod izvjesnim kutom. Pad krtičenja treba iznositi minimalno 0,5 %, a može biti i do 7 %. Dubina rovova je 50—60 cm, a razmak 1—5 m (najčešće 2—3 m).

Slika 20:
Krtični plug u radu



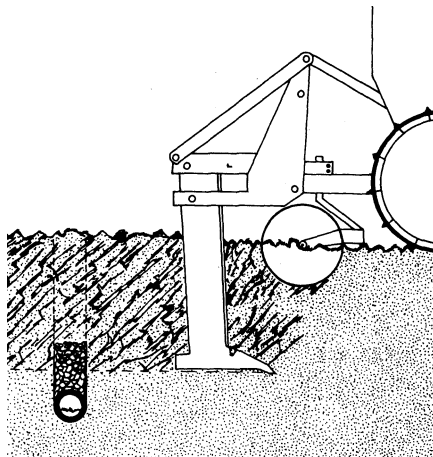
Pri izvođenju krtične drenaže stanje vlažnosti u tlu treba biti odgovarajuće, kako bi se formirale krtične bušotine. Ako je tlo suviše suho, dolazi do pucanja, a pri većoj vlažnosti ne može se stvoriti krtični dren. Tlo (zdravica) treba biti u stanju vlažnosti koje odgovara krutom do mekom stanju plasticiteta, a površinski sloj dovoljno suh kako kretanje stroja ne bi izazvalo nikakve štete. Krtičenje je privremena mjera i obnavlja se prema potrebi. Trajnost (3—5 godina) ovisi o vrsti tla, uvjetima i kvalitetnom izvođenju. Drenski jarak treba napuniti filterskim materijalom do 10 cm iznad dubine krtičnjaka, kako bi suvišna voda nesmetano, iz krtičnjaka, dolazila u cijevne drenove.

Podrivanje. Podrivanje ili duboko rahljenje tla (slika 21) primjenjuje se kao dodatna agromelioracijska mjera u sklopu kombinirane detaljne odvodnje, radi reguliranja vodo-zračnog odnosa u tlu.

Ovom mjerom dobiva se rastresito tlo, koje može dobro prihvatiti vodu i tlo postaje prozračno u aktivnom dijelu profila. Izvodi se na tlima u kojima postoji zbijeni podoranični sloj, a on sprječava ocjeđivanje vode. Podrivanje nije pogodno za vlažno – plastična tla bogata glinom (više od 30 % gline). Posebno je značajno izvoditi podrivanje za vrijeme dovoljno osušenog tla (granice krutosti), jer se samo tada ostvaruje

potrebno rahljenje tla. S toga se ljeti, obično poslije žetve žitarica, repice, graška, te košnje djetelina i trava. Poslije dubokog rahljenja, u pravilu, treba doći ozima pšenica, jer se tako smanjuje obrada i gaženje površine. Osim pšenice može doći ozima repica ili jarine. Podrivanje se izvodi u smjeru pada terena, odnosno okomito ili koso na drenažne cijevi u padu do 5 %. Dubina podrivanja ovisi o dubini cijevne drenaže (podrivanje biti pliće, najmanje 20 cm) i dubini zbijenog sloja tla, pa se izvodi od 50 do 80 cm. Razmak prolaza podrivača iznosi 75—150 cm. Radi poboljšanja strukture tla, uz duboko rahljenje, primjenjuje se na kiselim tlima i kalcizacija. Ova mjera se izvodi prije ili poslije podrivanja. Jednolično rasipani kalcij po suhoj površini unese se plitko u tlo izvođenjem tanjuranja ili frezanja.

Slika 21: Podrivač u radu



LITERATURA

1. Feddes, R. A. (1971): Eater, heit and crop growth, Med. Landbouevhogeschool, Wageningen, 184 p.
2. Plamenac, N., Uzelac, M. (1977): Cevna drenaža kao mera uređenja vodnog režima zemljišta Godomirskog rita, Vodoprivreda br. 45–46, Beograd.
3. Sieben, W.H. (1964): Het verband tussen outwatering en opbrengst bij de jange zavelgronden in de Noordoosspolder, Van Zec tot Land 40, Tjeenk Willink V. Zwolle, The Netherlande.
4. Tomaš, I., Tomić, F., (1977): Rješavanje problema vodnog i sobnog režima pri intenzivnom uzgoju kultura u staklenicima, Vodoprivreda br. 45–46, Beograd.
5. Tomić, F., Vukušić, S., Levaković, F. (1977): Potrebe i mogućnosti rješavanja vodnog režima u Slavoniji i Baranji, Vodoprivreda br. 45–46, Beograd.
6. Tomić, F., Marinčić, I. (1979): Detaljna odvodnja teških tala, Savjetovanje o uređenju površina s gledišta hidro i agromelioracija, Knjiga II, Zadar.
7. Tomić, F. (1981): Melioracije, Tehnička enciklopedija, Knjiga 8, str. 360–380, Zagreb.
8. Tomić, F. (1984): Prekomjerna vlažnost i proizvodna sposobnost tla, Priručnik za hidrotehničke melioracije, Knjiga 2, Društvo za odvodnju i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
9. Tomić, F. Marinčić, I., Petošić, D. (1985): Primjenjene metode detaljne odvodnje za reguliranje suvišnih voda na površinama Črnc polja, Savjetovanje »Veliki odvodni sustavi« s posebnim osvrtom na Črnc polje, Zbornik radova, Zagreb.

10. Tomić, F. (1987): Sistem detaljne odvodnje za reguliranje suvišnih voda u tlu, Priručnik za hidrotehničke melioracije, Odvodnja, Knjiga 4, str. 169–222 Zagreb.
11. Tomić, F. (1992): Reguliranje vodnog režima tla, Hrvatski farmer, Nakladni zavod Globus, str. 81–93, Zagreb.
12. Tomić, F., Petošić, D., Romić, D., Šimunić, I., Stričević, I. (1993): Posljedice nepravilnog izvođenja i neadekvatnog održavanja odvodnih sustava, Poljoprivredna aktualnosti br. 3–4, str. 521–527, Zagreb.
13. Tomić, F., Šimunić, I., Petošić, D., (1994): Djelotvornost različitih sustava detaljne odvodnje cijevnom drenažom na teškom pseudoglej–glejnom tlu Srednje Posavine, Agronomski glasnik br. 1–2, str. 159–175, Zagreb.
14. Visser, W.C. (1958): De Landbouwaterhuishouding in Nederland, Comm. Onderz. Landb. waterhuisk Ned. TNO, Repport br. 1, 231 p.
15. Williamson, R. E., Kriz, G.J. (1970): Response of agricultural crops to flooding, depth of water table and soil gaseous composition, Amer. Soc. Agr. Eng. Trans. 13, 216–220.

7

HIDROGRAMI VELIKIH VODNIH VALOVA

Prof.dr.sc. Nevenka Ožanić
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

1. UVOD	
2. Prikaz pojedinih klasičnih načina određivanja hidrograma velikih vodnih valova	200
2.1. Metoda Reitz-Kreps	200
2.2. Metoda Srebrenovića	201
2.3. Shematizacija hidrograma prema Goudrichovoj raspodjeli	203
2.4. Shematizacija hidrograma po Pearson III raspodjeli	205
2.5. Definiranje hidrograma velikih voda analizom dvodimenzionalne funkcije raspodjele pojave maksimalnih protoka i volumena vodnih valova	206
2.6. Metoda tipskog hidrograma	213
2.7. Kompozicijski postupak	215
2.8. Metode temeljene na teoriji jediničnog hidrograma	216
2.9. Metode sintetičkih hidrograma	221
2.10. Metoda izokrona	223
3. Prikaz pojedinih modelskih prisupa pri određivanju hidrograma velikih vodnih valova	225
3.1. Općenito	225
3.2. Model HEC - 1	226
3.3. SSARR model	227
3.4. Model Sacramento	227
3.5. Model HBV	229
3.6. Tank-model	230
3.7. Modelski sustav oborine-otjecanje - PRMS	232
3.8. MIKE 11 – općeniti paket za modeliranje tečenja	234
4. LITERATURA	236

1. UVOD

Hidromelioracijski sustavi grade se da bi se na odabranom zemljištu pogodnom za razvoj intenzivne poljoprivrede osigurala primjerena zaštita toga lokaliteta od pojave poplavnih voda, kao i voda za navodnjavanje. U ranijim fazama razvoja hidromelioracijskih sustava, u domaćoj su se praksi uglavnom gradili sustavi koji nisu bili upotpunjeni dijelom koji se odnosi na navodnjavanje. Takav je pristup bio posljedica nekada uvriježenog mišljenja da su klimatski uvjeti u našim regionalnim prostorima uglavnom primjereni i pogodni za osiguranje željene poljoprivredne proizvodnje. U takvom se konceptu promišljanja, o problematici voda vodilo računa uglavnom kao o

problemu koji ugrožava odvodne sustave, te su se razmatrali problemi odvodnje suvišnih voda s područja branjenih sustava, kao i problemi zaštite od vanjskih voda.

Međutim, u kontekstu integralnog upravljanja vodama, pojave velikih voda koje ugrožavaju hidromelioracijske sustave nužno je sagledavati šire u okviru ukupnog hidrološkog ciklusa, tj. periodičkih izmjena sušnih i vodnih razdoblja. Građenjem samo regulacijskih građevina sustava za brzo odvođenje ekstremno velikih poplavnih valova iz područja mogućeg ugrožavanja melioracijskih sustava – poljoprivrednih površina, problem se samo dijelom rješava, ili bolje rečeno prenosi na nizvodnije područje. Iz tih je razloga problematiku vanjske odvodnje hidromelioracijskih sustava nužno sagledavati u kontekstu analize mogućnosti istovremenog akumuliranja tih velikih voda za potrebe osiguranja vode za navodnjavanje.

U radu je razmatrana problematika definiranja hidrograma velikih vodnih valova u svrhu dimenzioniranja akumulacija i retencija na malim slivovima, a vezano uz hidromelioracijske sustave. Danim sagledavanjima obuhvaćeni su slivovi, odnosno hidrološki profili na kojima postoje praćenja hidroloških parametara, kao i slivovi na kojima ne postoje takva mjerenja i podloge, ili su iste skromnog opsega. Pri tome je naglasak stavljen na ove potonje, a što je i češći slučaj pri planiranju objekata za redukciju i zadržavanje vodnih valova u svrhu osiguranja sezonskih zalih voda za potrebe navodnjavanja.

Oblik i veličina vodnog vala ovisni su o brojnim utjecajnim parametrima koji se određuju analizom značajki sliva i jakih oborina koje su izazvale pojavu velikih voda. Reakcije hidrografske jedinice – sliva bitno se razlikuju kod različitih oborinskih prilika na istome slivu, a posebno je to izraženo kod različitih slivova. Zbog toga se pri hidrološkim analizama velikih vodnih valova nastoje pronaći parametri oblika vodnog vala koji imaju kvalitetu generaliziranja. Oblici vodnog vala mogu se definirati s 2, 3 i više parametara, a njihov je izbor, odnosno analiza njihovih pripadajućih vrijednosti, najčešće rezultat složenih hidroloških proračuna (Srebrenović, 1986). Najčešće nas zanima odnos između vrijednosti maksimalne protoke i volumena vodnog vala, odnosno problem kakav volumen i oblik vodnog vala pridružiti vodnom valu maksimalne protoke.

Ovaj se rad nastavlja na neke ranije radove predmetnog znanstvenog projekta vezane uz problematiku hidrograma velikih voda (Bonacci, 1984; Bonacci i Roglić, 1985), publicirane u okviru prva dva kola Priručnika za hidrotehničke melioracije, te bi trebao dopuniti uočenu prazninu u domeni analize metodoloških postupaka u domaćoj praksi.

Inače, koliko je obrađivaču poznato, prva primjena proračuna hidrograma velikih vodnih valova na području Hrvatske vezana je uz rad Reitzsa i Krepsa (1943) koji su na osnovu obrade podataka o velikim vodama više alpskih slivova razvili metodu definiranja karakterističnog oblika vodnog vala u funkciji dvaju parametara – maksimalnoj protoci i vremenu podizanja, a čemu se onda, na osnovu definiranog oblika, jednoznačno pridružuje i treći osnovni parametar hidrograma vodnog vala – volumen.

Uz taj najjednostavniji pristup kojime su za osnovne inženjerske potrebe – prije svega proračuna transformacije vodnih valova, određivani karakteristični oblici hidrograma vodnih valova, u domaćoj su inženjerskoj praksi do sedamdesetih godina, pa i dalje, korišteni i klasični hidrološki pristupi toj problematici osnovani na teoriji jediničnog hidrograma, metodi izohrona ili pak u slučaju raspolaganja duljim nizovima mjerenih podataka i potvrđene određene statističke analize međuodnosa osnovnih parametara vodnog vala. No, problematika obrade vodnih valova u smislu definiranja njihova oblika u domaćoj je hidrotehničkoj praksi uglavnom svedena na šabloniziranu primjenu nekih od jednostavnijih uobičajenih postupaka. Ipak, treba istaknuti i ostvareni razvoj metodoloških postupaka pri definiranju oblika velikih vodnih valova dali su

Srebrenović (1960), Bonacci (1984), te Bonacci i Roglić (1985). Srebrenović je svoj doprinos problematici velikih vodnih valova dao svojim regionalnim istraživanjima međuodnosa pojedinih utjecajnih parametara, na osnovu čega je definirao sadržaj i oblik vodnog vala u funkciji maksimalnog protoka i vremena koncentracije. Predmet istraživanja Bonaccija i Roglić bila je metoda izokrona, u okviru koje je poseban doprinos autora dan u domeni primjene metoda dinamičkog programiranja na razvoj modela tečenja pri definiranju izokrona.

No, osim u slučaju obrada kojih su bili nositelji spomenuti autori i prilikom kojih su provedene kompleksnije analize značajki otjecanja velikih voda, u inženjerskoj je praksi uglavnom korišten tzv. oblik vodnog vala po Srebrenoviću (ponegdje i po Krepšu) pa i na slivovima bitno različitim od onih na kojima je istraživani spomenuti oblik hidrograma. Ipak, bilo je i inventivnijih izuzetaka, te u tom smislu treba istaknuti obrade vodnih valova koje je provela K. Cesarec (1979;1987) stohastičkom analizom bivarijantnih veza između parametara vodnog vala, pri čemu je korištena dvodimenzionalna normalna funkcija raspodjele s rezultirajućim elipsama vjerojatnosti. Detaljniju analizu i definiranje oblika vodnih valova metodom tipskog hidrograma proveli su i Ožanić i Rubinić (1994) koristeći se stohastičkom analizom koeficijentata oblika vodnog vala za jedan manji sliv u Gorskom kotaru. Moguće je bilo i nekih drugih, autoru ovog rada, nepoznatih primjera provođenja kompleksnijih analiza vodnog vala.

Općenito se može reći da, nakon radova Bonaccija i Roglić, sve do primjene novijih modelskih pristupa, na području Hrvatske nije bilo većih pomaka u načinu definiranja hidrograma velikih voda. Razvojem računarske tehnike omogućena je primjena sve većeg broja determinističkih i stohastičkih hidroloških modela. Treba naglasiti da se pri tome koriste uglavnom isti pristupi na osnovu kojih su definirani i klasični metodološki postupci vezani uz problematiku definiranja hidrograma velikih voda.

Pri konstrukciji hidrograma velikih vodnih valova (Petković, 1978 – preuzeto iz Voskresenskij, 1969) u klasičnim metodološkim postupcima za definiranje hidrograma vodnog vala uglavnom se koristi:

- shematizacija po geometrijskim figurama
- shematizacija po tipskim hidrogramima
- shematizacija po realnim hidrogramima
- modeliranje preko jediničnog hidrograma
- modeliranje po izokronama otjecanja

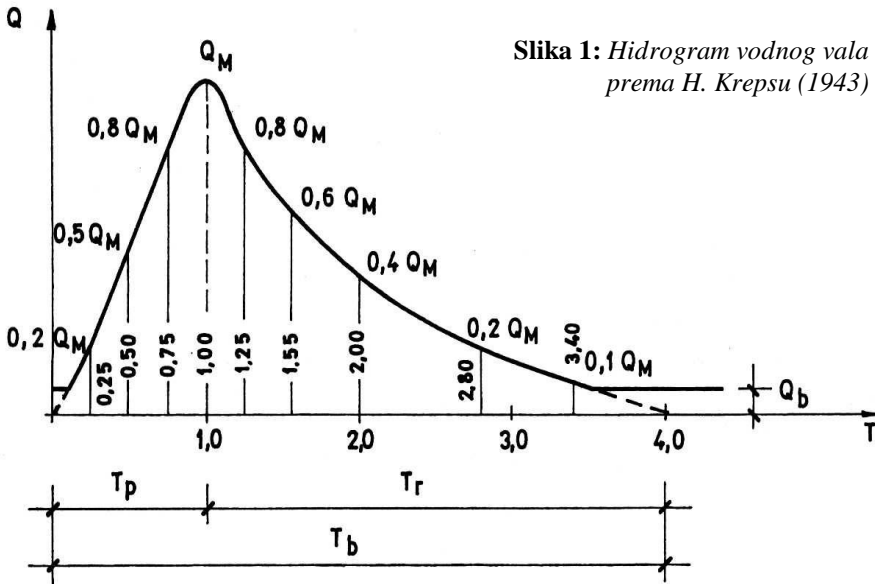
Rezultati takvih modelskih sagledavanja u sebi sadrže i komponentu analize i predviđanja karakterističnih oblika hidrograma vodnih valova. Rješenja tih zadataka uglavnom su integrirana u šira vodnogospodarska sagledavanja koje pružaju suvremeni modeli.

Namjena predmetnog rada je analizirati neke od kod nas najčešće primjenjivanih metodoloških postupaka, odnosno uputiti korisnike na izvorne dokumente, te pružiti osnovne informacije o nekoliko poznatijih modela koji imaju mogućnost prognožiranja hidrograma velikih vodnih valova. Pri izboru te literature vodilo se računa da se zainteresirani korisnici upute na literaturu dostupniju na našem području. Rezultati definiranja oblika velikih vodnih valova osnova su za daljnje analize dimenzioniranja akumulacijskog prostora, u kojima bi, u okviru predmetne teme istraživačkog projekta, uz redukcije vodnih valova i time ostvarenu zaštitu hidromelioracijskih sustava, trebale osiguravati i vodne zalihe za navodnjavanje. Za razliku od brojnih metodoloških postupaka za proračun maksimalnih protoka, u domaćoj su znanstvenoj teoriji i praktičnoj primjeni značajnije manje zastupljene metode za definiranje karakterističnih hidrograma velikih voda.

2. Prikaz pojedinih klasičnih načina određivanja hidrograma velikih vodnih valova

2.1. Metoda Reitz-Kreps

Ovo je jedna od prvih metoda čija je primjena počela na području Hrvatske, a trajala je toliko (nedopustivo) dugo, da su i veliki objekti, kakva je i 1987.godine izgrađena akumulacija Botonega u Istri, dimenzionirana koristeći tipski hidrogram spomenutih autora. Na osnovu obrade podataka o velikim vodama alpskih slivova dan je oblik hidrograma velikog vodnog vala u općem obliku, prikazanom na slici 1 (Žugaj, R., 2000 – prema Reitz, Kreps, 1943). Hidrogram vodnog vala ovisan je o dva parametra: maksimalnom protoku Q_M i vremenu podizanja vodnog vala T_P .



Slika 1: Hidrogram vodnog vala prema H. Krepsu (1943)

Tu je:

Vrijeme podizanja vodnog vala T_P

$$T_p = 0,872A^{0,4} \quad (\text{sati})$$

gdje je A (km^2) površina sliva.

Volumen vodnog vala je:

$$V = 5400Q_m T_p \quad (\text{m}^3)$$

gdje je

Q_M (m^3/s) vršni protok hidrograma;

T_P (sati) vrijeme podizanja vodnog vala.

Trajanje vodnog vala T_b je:

$$T_b = 4T_p \quad (\text{sati})$$

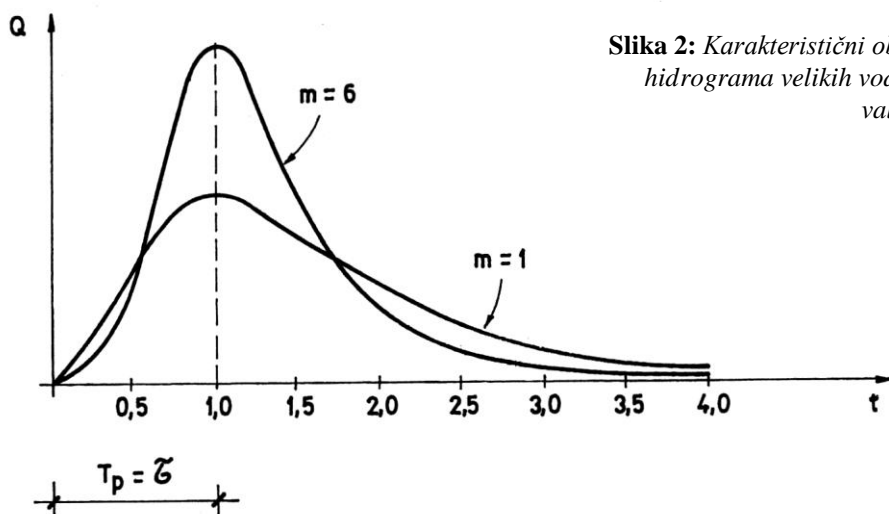
Vrijeme podizanja vodnog vala odredio je Kreps za slivove u Austriji na kojima nema prirodnih retencija u kojima se voda zadržava i na taj način produljuje vrijeme podizanja T_p .

2.2. Metoda Srebrenovića

Oblik hidrograma velikog vodnog vala dao je Srebrenović, (1960; 1970). U tim se radovima može vidjeti razvojni put spomenute metode, a kratak prikaz završnog oblika te metode dao je Žugaj, R., (2000). Srebrenović je oblik hidrograma vodnog vala definirao pomoću triju parametara: maksimalnog protoka Q_M , vremena podizanja vodnog vala τ i koeficijenta oblika vodnog vala m . Protok vodnog vala u zadanome vremenu t je:

$$Q = Q_m \left(\frac{t}{\tau} \right)^m e^{-m \left(1 - \frac{t}{\tau} \right)} \quad (m^3 / s)$$

U ovoj jednadžbi poznata su dva parametara: maksimalni protok Q_M (m^3/s) i vrijeme podizanja vodnog vala τ (sati). Nepoznati parametar je koeficijent oblika vodnog vala m , a kreće se u granicama $m = 1 - 6$. Na slici 2 prikazani su karakteristični oblici hidrograma za $m=1$ i $m=6$.



Slika 2: Karakteristični oblici hidrograma velikih vodnih valova

Ako se odnos baznog protoka Q_b i maksimalnog protoka Q_m označi sa φ , onda je:

$$\varphi = \frac{Q_b}{Q_M}$$

Volumen vodnog vala je:

$$V = Q_{\max} \tau \gamma(\varphi, m)$$

a za veličinu γ se na osnovu osnovnog izraza za protok vodnog vala Q u nekom vremenu t dobiva:

$$\gamma = 9450m^{-0,515}(1-\varphi)^{1,5} e^{-0,5\varphi}$$

Kada se ovaj izraz uvrsti u onaj predhodni dobije se volumen vodnog vala uslijed djelovanja izravnog dotoka (ukupni volumen vodnog vala umanjen za volumen baznog dotoka):

$$V = 9450Q_M \tau m^{-0,515}(1-\varphi)^{1,5} e^{-0,5\varphi} \quad (m^3)$$

dane jedinice su: Q_M (m^3/s); τ (sati).

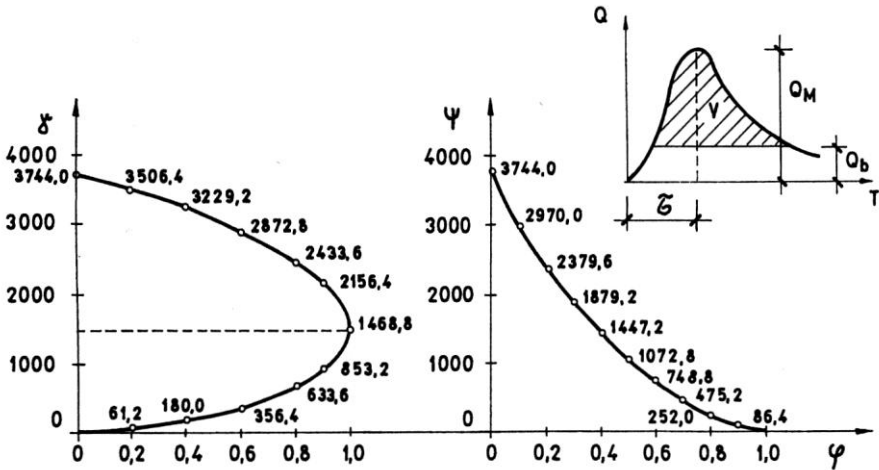
Na osnovu toga izraza parametar m je:

$$m = \left(\frac{9450Q_M \tau (1-\varphi)^{1,5}}{Ve^{0,5\varphi}} \right)^{1,94}$$

Prema tome, da bi izračun parametra m bio moguć treba poznavati volumen vodnoga vala uslijed izravnoga dotoka, koji je:

$$V = Q_M \tau \psi \quad (m^3)$$

Na slici 3 prikazana je veličina ψ kao funkcija odnosa baznog i maksimalnog protoka φ . Veličina ψ , na osnovu koje se može proračunati koliki je volumen izravnoga dotoka vodnog vala u zadanome vremenu t prikazano je na slici 3 kao funkcija $\varphi = Q_b/Q_M$.



Slika 3: Odnosi $\gamma=f(\varphi)$ i $\psi=f(\varphi)$

2.3. Shematizacija hidrograma prema Goudrich-ovoj raspodjeli

Shematizacija hidrograma otjecaja može se vršiti primjenom zakona raspodjele po Goudrichu (Petković, Prohaska, 1990). Hidrogram velikih voda u tom se slučaju može izraziti jednadžbom:

$$Q_i = Q_{\max,p} 10^{-a \frac{\left(1 - \frac{t}{T_p}\right)^2}{\frac{t_i}{T_p}}}$$

gdje su:

- $Q_{\max,p}$ — maksimalni proticaj vjerovatnoće p%
- T_p — vrijeme porasta valova
- Q_i, t_i — tekuće koordinate hidrograma
- a — parametar, koji zavisi od koeficijenta oblika hidrograma

$$\lambda^* = \frac{Q_{\max,p} T_p}{W_{\max,p}}$$

gdje je $W_{\max,p}$ — volumen hidrograma

Svakom koeficijentu oblika hidrograma λ^* odgovara određena veličina koeficijenta nesimetričnosti K_m .

$$K_s = \frac{\bar{W}}{W_{\max,p}} = \frac{\bar{h}}{h_{\max,p}} = f(\lambda^*)$$

gdje je:

- \bar{W}, \bar{h} — volumen (sloj otjecanja) za period porasta hidrograma
- $h_{\max,p}$ — ukupan sloj otjecanja.

U tablici 1 dano je nekoliko vrijednosti parametara a , K_s i λ^* .

Tablica 1: Vrijednosti parametara $a=f_1(K_s)=f_2(\lambda^*)$

K_s	0.193	0.231	0.262	0.289	0.310	0.328	0.343	0.355	0.367	0.377
λ^*	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
a	0.210	0.325	0.460	0.615	0.800	1.010	1.245	1.515	1.800	2.100

K_s	0.385	0.392	0.399	0.405	0.410	0.414	0.423	0.430	0.435	0.439
λ^*	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
a	2.46	2.82	3.22	3.65	4.10	4.60	5.53	6.75	8.00	9.41

Ako je poznata veličina K_s , tada se iz tablice može odrediti λ^* , a zatim po izrazu za λ^* odrediti računsko vrijeme porasta valova kao:

$$T_p = \frac{0,278\lambda^* h_{\max,p}}{q_{\max,p}}$$

gdje je:

$q_{\max,p}$ — maksimalni koeficijent otjecanja ($m^3/s m^2$)

$h_{\max,p}$ — sloj otjecanja (mm).

Koeficijent K_s može se odrediti na osnovu podataka sa analognih rijeka, ili, ako se koristi trokutasti oblik hidrograma i ovisnosti:

$$K = \frac{T_r}{T_p} = f(F)$$

tada je:

$$K_s = \frac{1}{1 + K}$$

K — koeficijent odnosa vremena recesije i vremena porasta velikih vodnih valova ($K > 1$) koji se lako može dovesti u vezu s površinom sliva.

Sloj otjecanja određuje se prema izrazu:

$$h_{\max,p} = \alpha P_{\max, dn,p} \psi(\tau) \quad (mm)$$

a volumen otjecanja:

$$W_{\max,p} = 1000 h_{\max,p} F \quad (m^3)$$

gdje su:

$\psi(\tau)$ — ordinata redukcijske krivulje kiše

τ — vrijeme koncentracije kiše (min).

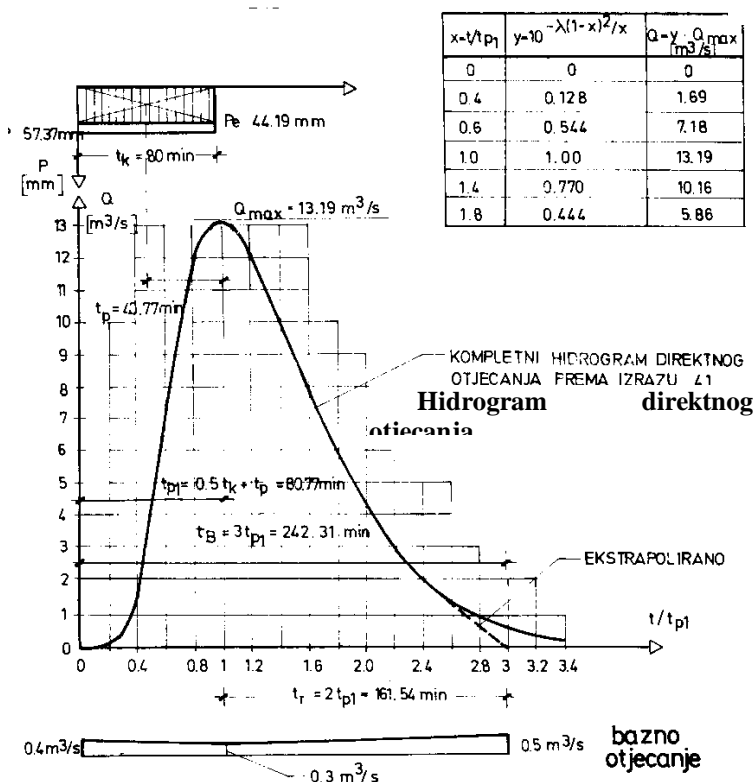
Dani princip korištenja Goudrichove raspodjele za konstrukciju tipskog hidrograma otjecanja predložili su i Bonacci i Roglić (1985) u Knjizi 3 Prvog kola Priručnika za hidrotehničke melioracije (iz čega je preuzet primjer proračuna hidrograma-oblika vodnog vala za sliv sa $Q_{\max} = 13.19 m^3/s$) (slika 4).

2.4. Shematizacija hidrograma po Pearson III raspodjeli

Analogno prethodnom slučaju, shematizacija hidrograma otjecaja može se vršiti i primjenom Pearson III zakona raspodjele (Petković, Prohaska, 1990). U tom je slučaju:

$$Q_t = Q_{\max,p} \left(\frac{t}{T_p} \right)^\alpha e^{-\alpha \left(1 - \frac{t}{T_p} \right)}$$

gdje je: $\alpha = f(\lambda^*)$ parametar koji ovisi o koeficijentima oblika hidrograma (λ^*) — tablica 2.



Slika 4: Hidrogram direktnog otjecanja

Tablica 2: Parametri hidrograma po Pearson-ovom zakonu raspodjele

K_s	0.23	0.28	0.34	0.37	0.40	0.42	0.43	0.44	0.44	0.45	0.45	0.46	0.46
λ^*	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
α	0.70	1.16	2.42	4.18	6.42	9.0	12.3	16.1	20.4	25.2	30.4	36.2	42.5

2.5. Definiranje hidrograma velikih voda analizom dvodimenzionalne funkcije raspodjele pojave maksimalnih protoka i volumena vodnih valova

Dvodimenzionalni zakon raspodjele koristi se u hidrologiji za definiranje istovremene vjerojatnosti pojave dvije hidrološke pojave (Jevđević, 1977; Cesarec, 1979; Prohaska i Petković, 1989). Tako se na pr. pri analizi hidrograma velikih voda često javlja potreba definiranja vjerojatnosti pojave maksimalnih protoka i volumena, ili trajanja poplavnog vala. Na ušću dva vodotoka važno je znati vjerojatnost istovremene pojave (koincidencije) velikih voda glavnog vodotoka i pritoka. Odgovori na ova pitanja mogu se dobiti nakon proračuna integralnih dvodimenzionalnih funkcija raspodjele, koji pokazuju vjerojatnost prekoračenja unaprijed određenog rasporeda pronjenjivih varijabli. U nastavku su dane osnovne teoretske postavke dvodimenzionalne normalne raspodjele, kao i njezinu primjenu na definiranje oblika hidrograma vodnog vala (Cesarec, 1979, 1987).

Za potrebe definiranja parametara vodnog vala spomenutom dvodimenzionalnom raspodjelom izabiru se parovi varijabli – npr. (Q_{\max}, V) i (V_{\max}, Q) , gdje su V i Q korespondentni volumen pri pojavi maksimalne protoke, odnosno protoka pri pojavama maksimalnog volumena vodnog vala. Za napomenuti je da je kod analize volumena potrebno definirati i izdvojiti bazni volumen i to način da se definira bazna protoka Q_p , te se za vrijednosti hidrograma iznad te bazne protoke određuje i bazno trajanje hidrograma T_B (u sebi uključuje i uzlaznu i opadajuću granu).

Isto tako, potrebno je analizirati i bivarijantne međuovisnosti maksimalne protoke Q_{\max} i baznoga vremena trajanja hidrograma T_B , odnosno maksimalnoj protoci korespondentnoga volumena V i T_B , te maksimalnoga volumena V_{\max} i baznoga vremena trajanja T_B , te maksimalnom volumenu korespondentne protoke Q i baznoga vremena trajanja T_B .

Za svaki je od spomenutih parametara vodnog vala nužno sprovesti i proračun vjerojatnosti pojave njihovih karakterističnih veličina. Kako između prethodno spomenutih parova vrijednosti ne postoji jednoznačna funkcionalna veza, nužno je stohastičku povezanost tih varijabli, odnosno odrediti vjerojatnost zajedničke istodobne pojave tih varijabli. Kako bazno trajanje hidrograma T_B obično pokazuje značajnije manji stupanj korelacije s ostalim analiziranim parametrima, uglavnom se ne uzima u daljnje analize bivarijantnih ovisnosti, već ga se definira prema usvojenoj 1-dimenzionalnoj funkciji raspodjele, uz pretpostavku da ima istu frekvenciju pojave kao i volumen V iznad praga Q_p . U tom se slučaju ispituju dalje samo međuovisnosti parova vrijednosti maksimalne protoke i maksimalnih volumena vodnog vala s njihovim korespondentnim vrijednostima.

Kada se slučajne varijable mogu smatrati stohastički neovisnim veličinama, tada se vjerojatnost njihove zajedničke pojave $p(X,Y)$ odnosno funkcija gustoće može jednostavno proračunati umnoškom njihovih marginalnih funkcija vjerojatnosti $p_1(X)$ i $p_2(X)$, dakle:

$$p(X,Y) = p_1(X) \cdot p_2(Y) \quad \text{—1}$$

Ako su varijable X i Y stohastički neovisne ($r = 0$) i normalno distribuirane s parametrima (\bar{X}, σ_x) i (\bar{Y}, σ_y) tada njihova funkcija gustoće prema izrazu 1 glasi:

$$p(X, Y) = \frac{1}{2 * \pi * \sigma_X * \sigma_Y} * e^{-\frac{1}{2} * \left[\left(\frac{X - \bar{X}}{\sigma_X} \right)^2 + \left(\frac{Y - \bar{Y}}{\sigma_Y} \right)^2 \right]} \quad \text{—2}$$

gdje je:

$p(X, Y)$ funkcija gustoće dvodimenzionalne normalne raspodjele

X, Y prosječne vrijednosti varijable X i Y

σ_X, σ_Y pripadajuća standardna odstupanja

Skup svih točaka u ravnini koordinatnog sistema X i Y kojima pripada ista gustoća vjerojatnosti $p(X, Y) = \text{const.}$ je prema formuli 2 definiran jednačbom:

$$\left(\frac{X - \bar{X}}{\sigma_X} \right)^2 + \left(\frac{Y - \bar{Y}}{\sigma_Y} \right)^2 = C^2 \quad \text{—3}$$

gdje je C^2 označena konstanta

Ovo je jednačbza elipse s centrom u točki (X, Y) i poluosima $(C\sigma_X, C\sigma_Y)$. Osovine ove elipse, koja se naziva elipsa rasipanja, paralelne su s koordinatnim osima X i Y . Ako jednačbzu 3 prikažemo sa standardnim varijablama

$$t_1 = \frac{X - \bar{X}}{\sigma_X} ; \quad t_2 = \frac{Y - \bar{Y}}{\sigma_Y} \quad \text{—4}$$

dobivamo da njihova suma kvadrata

$$t_1^2 + t_2^2 = \chi^2 \quad \text{—5}$$

pripada poznatoj χ^2 raspodjeli sa dva stupnja slobode: $f = 2$.

Shodno tome, vjerojatnost da par varijabli (X, Y) leži unutar elipse definirane jednačbom 3:

$$\left(\frac{X - \bar{X}}{\sigma_X} \right)^2 + \left(\frac{Y - \bar{Y}}{\sigma_Y} \right)^2 = \chi_p^2 ; \quad f = 2 \quad \text{—6}$$

iznosi p .

Za vjerojatnost $p = 90\%$ odnosno za 90% -tnu elipsu rasipanja $\chi_{p=90\%}^2 = 4,605$ (za $f = 2$)

Kada varijable nisu stohastički neovisne, tada se u njihovu funkciju gustoće 2 mora uvesti koeficijent korelacije r , koji karakterizira ovisnost između X i Y . U tom slučaju bivarijantna funkcija gustoće glasi:

$$p(X, Y) = \frac{1}{2 * \pi * \sigma_X * \sigma_Y * \sqrt{1 - r^2}} * e^{-\frac{1}{2 * (1 - r^2)} * \left[\left(\frac{X - \bar{X}}{\sigma_X} \right)^2 - 2r * \left(\frac{X - \bar{X}}{\sigma_X} \right) * \left(\frac{Y - \bar{Y}}{\sigma_Y} \right) + \left(\frac{Y - \bar{Y}}{\sigma_Y} \right)^2 \right]} \quad \text{—7}$$

Budući da je forma dvodimenzionalne normalne distribucije izražena formulom 2 daleko pogodnija za proračune od općeg oblika 7, koristimo se izvjesnim transformacijama koordinatnog sustava (X, Y) u novi koordinatni sistem (Y₁, Y₂) da bi se izraz 7 sveo na oblik 2. Dakle, umjesto para (X, Y) promatra se drugi par varijabli (Y₁, Y₂) čije su veličine u određenoj funkcijskoj ovisnosti s parom (X, Y), ali su istovremeno međusobno stohastički neovisne.

U tom cilju koristi se slijedeća linearna transformacija:

$$\begin{aligned} X - \bar{X} &= Y_1 * \cos\alpha - Y_2 * \sin\alpha \\ Y - \bar{Y} &= Y_1 * \sin\alpha - Y_2 * \cos\alpha \end{aligned} \quad \text{—8}$$

gdje je:

$$\text{tg}2\alpha = \frac{2 * r * \sigma_X * \sigma_Y}{\sigma_X^2 - \sigma_Y^2} \quad \text{—9}$$

Rotiranjem koordinatnog sustava (X, Y) oko ishodišta (\bar{X} , \bar{Y}) za veličinu kuta α dobivamo koordinatni sistem (Y₁, Y₂) u kojem funkcija gustoće prema izrazu 2 dobiva oblik:

$$p(Y_1, Y_2) = \frac{1}{2 * \pi * \sigma_{Y_1} * \sigma_{Y_2}} * e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{Y_1^2}{\sigma_{Y_1}^2} + \frac{Y_2^2}{\sigma_{Y_2}^2} \right)} \quad \text{—10}$$

a varijance $\sigma_{Y_1}^2$ i $\sigma_{Y_2}^2$ varijabli (Y₁, Y₂) se izračunavaju pomoću varijanci σ_X^2 i σ_Y^2 i koeficijenta korelacije r varijabli (X, Y) relacijama:

$$\begin{aligned} (\sigma_{Y_1} + \sigma_{Y_2})^2 &= \sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + 2 * \sigma_X * \sigma_Y * \sqrt{1 - r^2} \\ (\sigma_{Y_1} - \sigma_{Y_2})^2 &= \sigma_X^2 + \sigma_Y^2 - 2 * \sigma_X * \sigma_Y * \sqrt{1 - r^2} \end{aligned} \quad \text{—11}$$

Ako je koeficijent varijacije r negativan, tada će i suma ($\sigma_{Y_1} - \sigma_{Y_2}$) imati negativan predznak.

Elipsa rasipanja koja odgovara funkciji gustoće 7, odnosno 10 dobiva oblik:

$$\left(\frac{y_1}{\sigma_{y_1}} \right)^2 + \left(\frac{y_2}{\sigma_{y_2}} \right)^2 = \chi_p^2; f = 2 \quad \text{—12}$$

Vjerojatnost da par veličina (x,y) leži unutar elipse 12 je:

$$P[\chi^2 \leq c^2] \quad \text{za } f=2$$

Na slici 5 prikazana je pozicija elipse rasipanja, pozicija regresijskih linija u odnosu na elipsu, te transformacija koordinatnog sustava (x,y) u sustav (y₁, y₂).

Elipsa je smještena u središte (x, y) ishodišta koordinatnog sustava (y₁, y₂), sa poluosima ($\chi_p \sigma_{y_1}$, $\chi_p \sigma_{y_2}$). Može se opisati sa pravokutnikom, čije su stranice paralelne sa koordinatnim sustavom (x,y), a imaju dužinu ($2\sigma_x \chi_p$) i ($2\sigma_y \chi_p$). Regresijski pravac yox, definiran je jednadžbom:

$$y = \bar{y} + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{x}) \quad \text{—}p_1 \quad \text{—13}$$

prolazi kroz središte vertikalnih odsječaka elipse, dok drugi regresijski pravac xoy , čija je jednačnja:

$$x = \bar{x} + r \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (y - \bar{y}) \quad \text{—}p_2 \quad \text{—14}$$

prolazi kroz središte horizontalnih odsječaka elipse. To je zbog toga, što je regresijski pravac p_1 suma kvadrata odstupanja po ordinati y , a za p_2 po apscisi x minimalna. Glavna os elipse koja ima jednačnju:

$$y = \bar{y} + tg \alpha (x - \bar{x}) \quad \text{—15}$$

se također naziva i ortogonalna regresija, jer je suma kvadrata poprečnih devijacija od toga pravca minimalna.

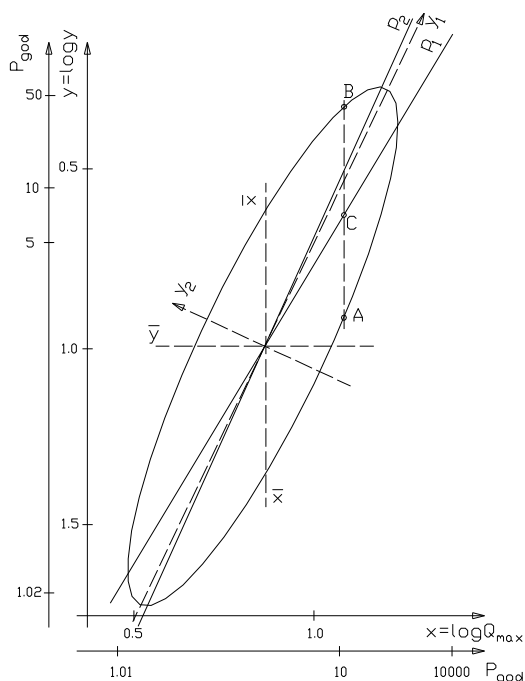
Prikazani postupak nam omogućuje definiranje bivarijatnih međuovisnosti pojedinih parova varijabli interesantnih za definiranje oblika hidrograma vodnog vala. No, dana dvodimenzionalna raspodjela može se primijeniti na promatrani par varijabli samo ako se:

- marginalne raspodjele pokoravaju normalnom zakonu raspodjele
- testiranjem dokaže da se $p(x,y)$ pokorava dvodimenzionalnoj normalnoj razdiobi.

Da bi se utvrdila stohastička povezanost između pojedinih varijabli, potrebno je najprije utvrditi koliki je među njima koeficijent korelacije. Obično je najveća stohastička veza između parova varijabli (Q_{\max}, V) i (V_{\max}, Q) , odnosno između pojava maksimalne protoke i odgovarajućih volumena vodnog vala, te maksimalnog volumena i odgovarajućih protoka velikih voda. Stoga se proračun zajedničke funkcije gustoće obično vrši samo za ova dva para varijabli.

Nakon toga za odabrane se parove varijabli računaju parametri elipse (obično 90%-tnog) rasipanja. Ukoliko spomenuti parametri zadovoljavaju prethodne uvjete, znači da postoji znatna stohastička povezanost varijabli maksimalne protoke Q_{\max} i odgovarajućih volumena vodnog vala V , te se može pristupiti daljnjim koracima ka konstrukciji hidrograma vodnog vala maksimalnih protoka. Isti je postupak i pri utvrđivanju stohastičke povezanosti maksimalnog volumena vodnog vala V_{\max} i odgovarajućih protoka, iako rezultati obično pokazuju veća rasipanja, a što je i razumljivo s obzirom na karakter međuodnosa tih pojava u prirodi.

Radi ilustracije, na slici 5 dan je prikaz pravca regresije i 90%-tna elipsa rasipanja za postaju Vela Voda na istoimenom vodotoku u Crnom Lugu.



Slika 5: Prikaz pravaca regresije i 90% elipsa rasipanja (hidrološka postaja Crni lug – Vela voda)

Ukoliko želimo analizirati međudnose maksimalne protoke i odgovarajućih volumena vodnog vala za odabranu vrijednost povratnog perioda, to je moguće na slijedeći način. Za odabrani slučaj uzima se maksimalna proračunata protoka analiziranog (za dani slučaj odabranog) povratnog perioda. Pravac $x = \log Q_{\max}$ siječe konstruiranu elipsu 90%-tnog rasipanja u točkama A i B. Te su točke simetrično locirane u odnosu na proračunati regresijski pravac p_1 , a kojega pravac x siječe u točki C. Točke A i B predstavljaju donju i gornju granicu intervala mogućih pojava volumena analiziranog vodnog vala definiranih s 95%-tnom razinom sigurnosti. Točka C nam definira upravo najvjerojatniju (očekivanu) veličinu volumena vodnog vala kod analizirane maksimalne protoke.

Time smo odabranoj veličini maksimalne protoke pridružili i volumen, čime su dobivena dva osnovna parametra za konstrukciju vodnog vala. No, oni nisu i dovoljni, već je potrebno odrediti i funkcionalni oblik samoga hidrograma koji će udovoljavati danim parametrima. Jedan od mogućih oblika je i oblik koji je usvojen u radu Cesarec (1987), a u literaturi postoji i više drugih oblika kao npr. Srebrenovićev (1986). U radu iz 1987.g. to je učinjeno na slijedeći način:

Za uzlaznu granu hidrograma: $t < \tau$

$$Q = Q_{\max} \sin^2 \frac{\pi t}{2\tau} \quad \text{—16}$$

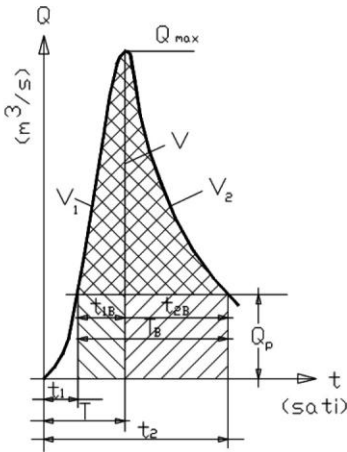
Za silaznu granu hidrograma: $t \geq \tau$

$$Q = Q_{\max} \left(\frac{t}{\tau} \right)^{-m} \quad \text{—17}$$

U ovim je jednadžbama protoka Q u vremenu t ovisna o parametrima: Q_{\max} , τ i m , od kojih je poznata maksimalna protoka Q_{\max} , dok se vrijeme koncentracije τ i parametar oblika vodnog vala m mora proračunati. Za ove su nam nepoznanice definirani parametri:

- volumen vodnog vala u bivarijantnoj funkciji sa maksimalnim protokom i
- bazno vrijeme hidrograma T_B u visini reperne protoke Q_p

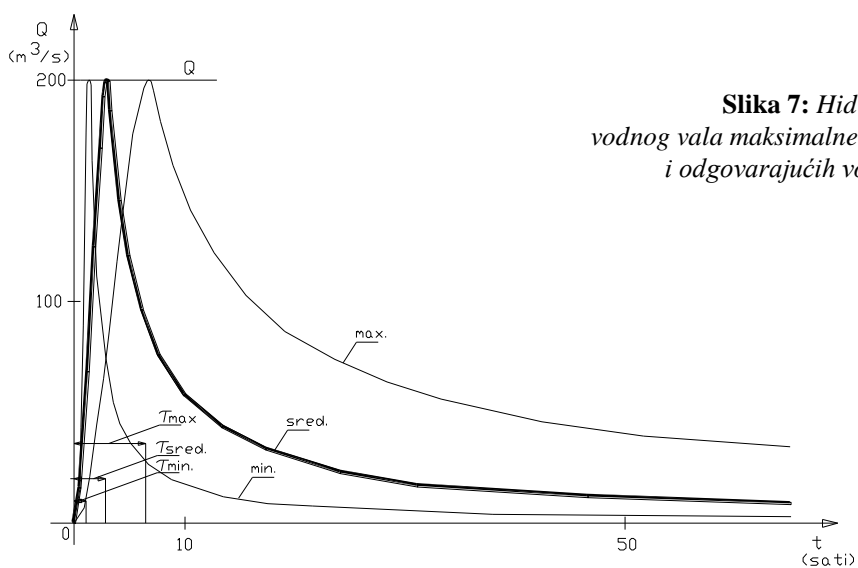
Na slici 6 dana je skica vodnog vala s obilježenim simbolima.



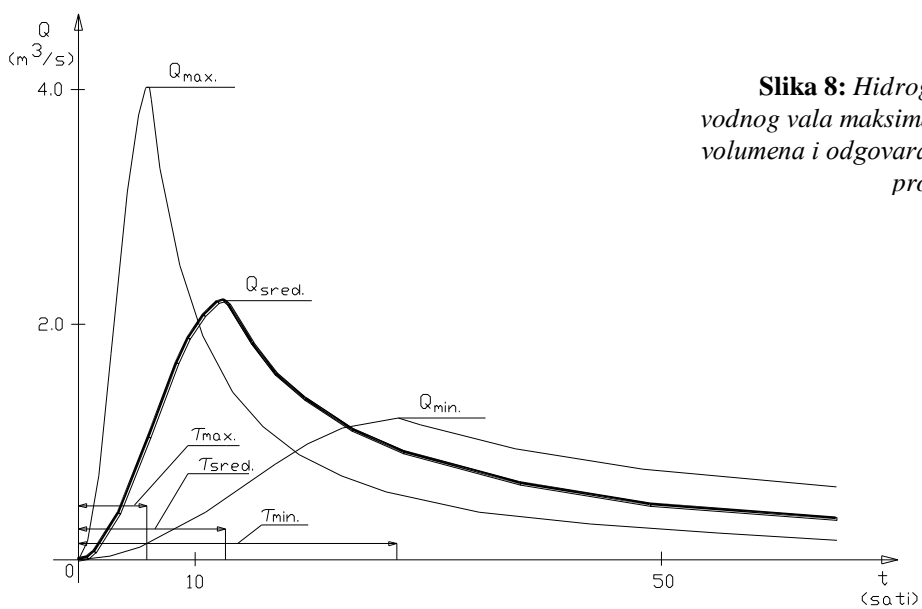
- Q_{\max} maksimalna protoka
- τ vrijeme koncentracije
- Q_p protoka praga
- t_1, t_2 konjugirana vremena vodnog vala u porastu i recesiji za protoku praga Q_p
- T_B vrijeme trajanja reperne protoke Q_p ; $T_B = t_2 - t_1$ ili bazno vrijeme hidrogr.
- t_{1B}, t_{2B} vrijeme trajanja reperne protoke Q_p u porastu odnosno opadanju vodnog vala $t_{1B} = \tau - t_1$; $t_{2B} = t_2 - \tau$
- m parametar oblika opadajućeg dijela vodnog vala (jednadžba 16)
- V_1, V_2 volumeni vodnog vala u porastu i opadanju iznad protoke praga Q_p
- V ukupan volumen iznad protoke praga Q_p $V = V_1 + V_2$

Slika 6: Skica vodnog vala

Analitičkim izjednačenjem međusobnih funkcionalnih međuovisnosti te sređivanjem prikazanih izraza, kao i uvrštavajući odgovarajuće vrijednosti Q_{\max} , V i T_B , odnosno V_{\max} , Q i T_B , iterativnim se postupkom dobivaju nepoznati elementi oblika vodnog vala m i vrijeme koncentracije τ , a čime je omogućena njihova konstrukcija. Zbog opsežnosti prikaza isti se u nastavku neće detaljnije prikazivati, već se zainteresirani upućuju na izvornu literaturu, kao i analitički pristup pri samostalnom određivanju nekoga moguće i pogodnijeg oblika u smislu jednostavnijega postupka definiranja njegovih parametara. Na slici 7 je dan grafički prikaz rezultata jedne takve obrade. Prikazana su tri hidrograma vodnog vala maksimalne protoke Q_{\max} i odgovarajućih volumena vodnog vala V (ujedno i odgovarajućih vremena koncentracija τ). Pri tome najistaknutije je označen vodni val s najvjerojatnijim volumenom, a preostala dva vodna vala su valovi maksimalne protoke s odgovarajućim najvjerojatnijim minimalnim i maksimalnim volumenom definiranim s 95%-tnim stupnjem osiguranja. Na sličan se način određuju i oblici hidrograma maksimalnog volumena vodnog vala V_{\max} određenog povratnog perioda s odgovarajućim protokama (slika 8).



Slika 7: Hidrogrami vodnog vala maksimalne protoke i odgovarajućih volumena



Slika 8: Hidrogrami vodnog vala maksimalnog volumena i odgovarajućih protoka.

2.6. Metoda tipskog hidrograma

Na profilima gdje postoje duga i sistematska hidrološka osmatranja konstruira se tzv. 'tipski' hidrogram (Petković, 1989.). U tu svrhu analiziraju se hidrogrami velikih voda u cijelom periodu osmatranja i nakon odvajanja baznog otjecanja određuju se slijedeći parametri velikih voda:

- maksimalni protok $Q_{\max}^* = Q_{\max} - \bar{Q}$ (m^3/s)
- Q približno višegodišnji srednji protok
- trajanje poplavnog vala T
- volumen poplavnog vala W (m^3)

Na osnovu svih elemenata za svaki hidrogram se određuje koeficijent oblika hidrograma

$$\gamma = \frac{W}{Q_{\max}^* \cdot T}$$

i konstruiraju se bezdimenzionalni hidrogrami izraženi u relativnim koordinatama od trajanja valova T i maksimalnog protoka Q_{\max}^* .

U slučaju značajnih promjena koeficijentata γ ovakvi bezdimenzionalni hidrogrami se grupiraju u nekoliko grupa (2—3) po veličini γ , a zatim, se za svaku grupu određuje (srednji) tipski hidrogram sa koeficijentom oblika γ_k .

Množeći apcise 'X_i' računskog tipskog hidrograma sa računskim trajanjem poplavnog vala T_p i ordinate 'Y_i' sa veličinom $Q_{\max, p} - Q$ dobija se hidrogram poplavnog vala.

U skladu sa usvojenom vrijednosti γ_k (najveća vrijednost za γ_k uzima se pri dimenzioniranju preljevnih organa), računsko trajanje poplavnog vala računa se po izrazu:

$$T_p = \frac{W_p}{\gamma_k (Q_{\max, p} - \bar{Q})}$$

gdje je: W_p , $Q_{\max, p}$ volumen vala i maksimalni protok određene vjerojatnosti pojave $p\%$.

Paralelno sa ovom analizom, vrši se analiza ovisnosti maksimalnih protoka vode i volumena poplavnih valova:

$$Q_{\max} = f(W)$$

na osnovu koje se, ako je ona jasno definirana, određuje veličina W_p , za određenu vrijednost

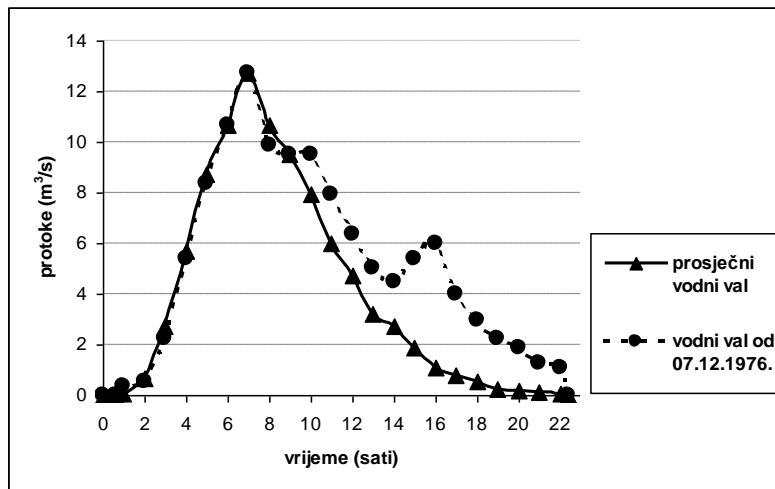
$$Q_{\max, p}$$

Međutim, u slučaju ako se takva ovisnost ne može uspostaviti, tj. $P(Q_{\max}) \neq P(W)$, onda je potrebno primjeniti tzv. kompozicijski postupak (t. 2.7.).

Prilikom provedenih obrada za sliv Križ potoka (Ožanić, Rubinić, 1994) primijenjena je modifikacija metode tipskog hidrograma, pri čemu su analizirani slijedeći parametri vodnih valova:

- T_p — vrijeme podizanja vodnog vala (sati)
- T_o — vrijeme opadanja vodnog vala (sati)
- T — ukupno vrijeme trajanja vodnog vala (sati) ($T = T_p + T_o$)
- Q_{\max} — maks. protoka vodnog vala (m^3/s)
- V — volumen vodnog vala (m^3)
- γ — koeficijent oblika vodnog vala

Na osnovu tih parametara, za svaki je zabilježen vodni val proračunat koeficijent oblika vodnog vala γ . Nakon toga provedene su statističke analize vjerojatnosti pojave maksimalnih godišnjih protoka, analiza međusobne ovisnosti pojedinih parametara hidrograma vodnog vala, te njihova međusobna regresijska analiza. Zbog nepostojanja čvršćih regresijskih veza između utjecajnih parametara vodnog vala, daljnja analiza međuodnosa maksimalne protoke i oblika vodnog vala vršena je na osnovu utvrđenih prosječnih vrijednosti parametara hidrograma vodnog vala iz tablice. To je provedeno na način da je za utvrđeni prosječni koeficijent oblika vodnog vala iz analiziranih zabilježenih hidrograma vodnog vala izdvojen vodni val koji je imao najbližije značajke – koeficijent oblika i vrijeme trajanja. Prema tome izdvojenom, stvarno opaženom hidrogramu, izvršeno je daljnje modeliranje vodnih valova. U konkretnom slučaju izvršeno je reduciranje sekundarnog vrha vodnog vala, čime je popravljen i koeficijent oblika vodnog vala na prosječnu proračunatu vrijednost, kao i ukupno vrijeme trajanja vodnog vala (slika 9).



Slika 9: Prosječni hidrogram vodnog vala i hidrogram za vodni val od 07.12.1976.

Karakteristični oblici vodnih valova maksimalne protoke po pojedinim povratnim periodima određeni su na osnovu međuodnosa vrijednosti protoka i tako odabranog prosječnog tipskog hidrograma vodnog vala. U ovisnosti o proračunatom vršnim protokama za odabrane povratne periode, promjenom ordinata hidrograma tipskog vodnog vala generirani su hidrogrami određene vjerojatnosti pojave. S obzirom na navedene transformacije oblika vodnog vala u odnosu na tipski hidrogram, generirani hidrogrami imaju i donekle različite koeficijente oblika u odnosu na početni – tipski

hidrogram. Budući da su rezultirajuće vrijednosti bile na strani sigurnosti u pogledu odabira karakterističnog hidrograma maksimalne protoke, ocijenjeno je da se dobivene aproksimacije hidrograma velikih voda mogu smatrati prihvatljivim za potrebe inženjerske prakse. Sličan postupak primijenjen je i za generiranje hidrograma maksimalnih volumena.

Ukoliko se analizama utjecajnih parametara osmotrenih hidrograma dobiju čvršće ovisnosti između pojedinih parametara, ili pak ovisnosti između vrijednosti tih parametara i povratnog perioda, sasvim sigurno da ih je moguće uvažiti pri konstrukciji tipskog hidrograma, odnosno generiranih hidrograma određene vjerojatnosti pojave.

2.7. Kompozicijski postupak

Konstrukcija računskog hidrograma velikih voda kompozicijskim postupkom zasniva se na određivanju takvog hidrograma, čiji bi dijelovi, karakteristični po maksimalnoj veličini otjecanja, odgovarali i po volumenu otjecanja određenoj vjerojatnosti pojave (Petković, 1989). Drugim riječima, maksimalni trenutni protok vode, otjecanje za najvodnije dane, tjedne, mjesece, itd., trebaju odgovarati zahtijevanoj vjerojatnosti pojave.

Hidrogrami velikih voda u svakoj godini promatranja fiksiraju se u koordinatnom sustavu pri čemu se nulti trenutak vremena prestavlja kao trenutak prolaska maksimalnog protoka vode. U daljem, hidrogrami se raščlanjuju na intervale vremena, kako u fazi porasta, tako i u fazi opadanja. Na taj način dobija se matrica protoka:

$$Q_t^{(n)} = \begin{matrix} Q_{21}^{(1)}, & Q_{19}^{(1)} & \dots & Q_0^{(1)} & Q_2^{(1)} & \dots & Q_{22}^{(1)} \\ Q_{21}^{(n)}, & Q_{19}^{(n)} & \dots & Q_0^{(n)} & Q_2^{(n)} & \dots & Q_{22}^{(n)} \\ Q_{21}^{(N)}, & Q_{19}^{(N)} & \dots & Q_0^{(N)} & Q_2^{(N)} & \dots & Q_{22}^{(N)} \end{matrix}$$

koja predstavlja polaznu osnovu za daljnje proračune.

Granice intervala vremena t se proizvoljno biraju vodeći računa da iste mogu dati opću formu računskog hidrograma. U tom cilju, odabiraju se granice intervala $t_j - t_{j+1}$ oko maksimalnog protoka bliže jedna drugoj, dok su na krajevima hidrograma te granice na većem razmaku.

Za svaki naznačeni interval vremena određuje se volumen u svakoj godini i formiraju se vremenske serije sumarnih volumena poplavnih valova za naizmjenične intervale vremena: $0 - t_1, t_1 - t_2, t_2 - t_3 \dots t_i - t_j$ ($j = i+1$), $i = 0, 1, 2 \dots 21$.

Na taj način dobivaju se serije sumarnih zapremina otjecanja na dannoj hidrološkoj postaji. Nadalje, ove vremenske serije podvrgavaju se statističkoj analizi, primjenjujući različite funkcije raspodjele i odgovarajuće statističke testove podudarnosti.

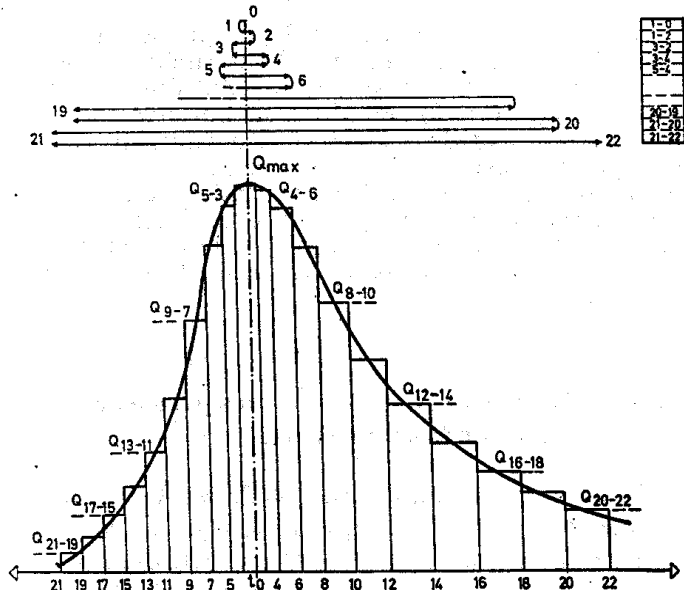
Na osnovu ovih analiza određuju se sumarni računski volumeni valova za različite vjerojatnosti pojave $W_{t_i - t_j}^P$. Konstrukcija računskog hidrograma velikih voda zadane vjerojatnosti pojave — P , temelji se na naizmjeničnoj raspodjeli sumarnih volumena na susjedne diferencijalne intervale vremena $0 - t_1, 0 - t_2, t_1 - t_3, t_2 - t_4 \dots t_{20} - t_{22}$ i proračunu srednjeg protoka za dani interval vremena, odnosno,

$$\bar{Q}_{t_i - t_{j-2}} = \frac{W_{t_i - t_j} - W_{t_{i-1} - t_{j-1}}}{t_i - t_{j-2}}$$

Na osnovu izračunatih srednjih protoka za diferencijalne intervale vremena, konstruiraju se računski hidrogrami u obliku histograma. Maksimalni protok vode $Q_{\max, P}$ ($t=0$) određuju se koristeći odgovarajuću krivulju raspodjele $P(Q_{\max})$. Kontinuirani

računski hidrogram konstruira se polazeći od uvjeta očuvanja jednakosti volumena računskog hidrograma u obliku histograma, kako je to pokazano na slici 10, gdje je dan grafički prikaz hidrograma velikih voda izračunat kompozicijskim postupkom.

Slika 10:
Shema
konstrukcije
računskog
hidrograma



2.8. Metode temeljene na teoriji jediničnog hidrograma

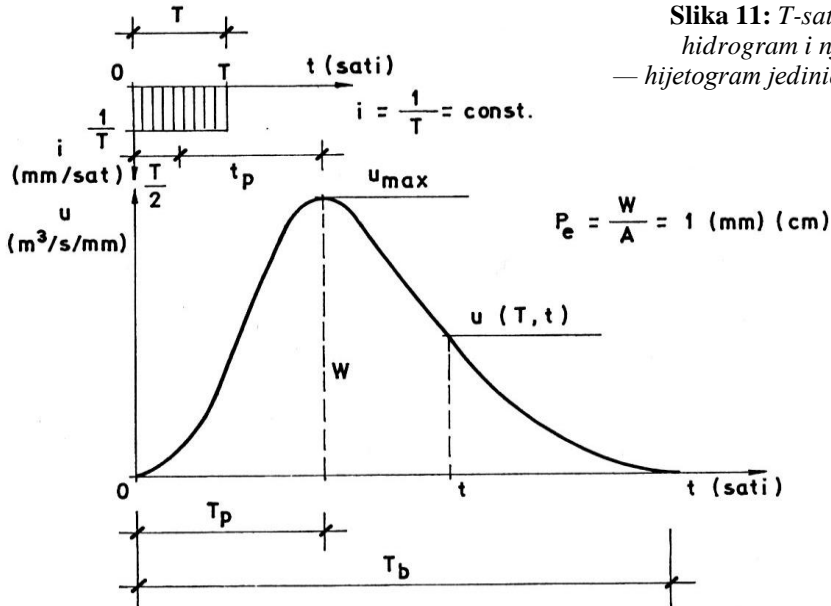
Teorija jediničnog hidrograma temelji se na analizi korelativnih ovisnosti između palih efektivnih oborina i površinske komponente hidrograma otjecanja (Sherman, 1932). Po tome, jedinični hidrogram analiziranog sliva je hidrogram koji je posljedica jedinične količine efektivnih oborina (izvorno 1 inchea, tj. odgovarajućih 1 mm, 1 cm...) jednokomjernog rasporeda na određenom slivnom području tijekom nekog određenog vremena. Dijelom je to teorijska, a dijelom empirijska metoda koja objašnjava tu vezu, čije su osnovne postavke, odnosno usvojene aproksimacije (prema Srebrenović, 1986):

- Jake kiše koje uzrokuju otjecanje na određenom slivu jednakog trajanja dat će površinske hidrograme otjecanja sa približno istim vremenskim bazama, bez obzira na intenzitet oborina.
- Veličina ordinate koje u hidrogramu predstavljaju trenutnu protoku bit će proporcionalna s volumenom površinskog otjecanja kojeg proizvode kiše jednakog trajanja.
- Vremenska raspodjela otjecanja od dane kiše neovisna je o oborinama iz prethodnih razdoblja.

Iako dane postavke imaju opravdane zamjerke (npr. sigurno je da su zadnje pale oborine važne za pojavu otjecanja zbog njihovog utjecaja na brzinu infiltracije, te ukupno stanje vodnih zaliha u slivu kao posljedice analizirane jake kiše), te unatoč tome što je proteklo više od 70 godina od njezinog nastanka, ova metoda ni do danas nije izgubila od svoje aktualnosti. Njezini se pristupi koriste se i kod nekih od suvremenih modelskih pristupa kod kojih se, kao i kod izvornog pristupa pri određivanju jediničnog hidrograma, problem rješavanja tog zadatka svodi se na problem indentifikacije

nepoznatog funkcioniranja sustava kada su poznati njegov ulaz (hijetogram) i izlaz (hidrogram). Pri tome, teorija jediničnog hidrograma temelji se na pretpostavci da se sliv ponaša kao linearni i stacionaran sustav, odnosno uzima se da vrijede principi proporcionalnosti i superpozicije (slika 12). Iako je u prirodi vrlo malo pojava kojima se može pripisati linearno ponašanje, kvantitativni učinci te nelinearnosti u pojedinim se slučajevima mogu zanemariti (zbog relativno malih razlika), ili pak u slučaju prisutnosti većih razlika nadomjestiti nekim dodatnim postupcima i rješenjima. Naime, zbog složenijih načina primjene pojedinih nelinearnih modela, moguće je izraditi i više tipova jediničnog hidrograma – npr. za prethodno suho i prethodno vlažno razdoblje.

Sama je metoda jediničnog hidrograma također obrađena u okviru ranijih knjiga Priručnika za hidrotehničke melioracije – knjiga 2 – I kolo (Bonacci, 1984), te se stoga neće detaljnije ulaziti u obrazloženja, već će se zadržati na osnovnom ilustrativnom prikazu. T-satni jedinični hidrogram je hidrogram direktnog otjecanja od 1 cm (ili 1mm) efektivne kiše koja je uniformno raspoređena na površini sliva i ujednačenog je intenziteta tijekom vremena T (slika 11). Za jedan sliv se može konstruirati jedinični hidrogram bilo kojeg trajanja T.



Slika 11: T-satni jedinični hidrogram i njegov uzrok – hijetogram jedinične oborine trajanja T

S obzirom na definiciju jediničnog hidrograma, njegova je ordinata u trenutku t označena sa:

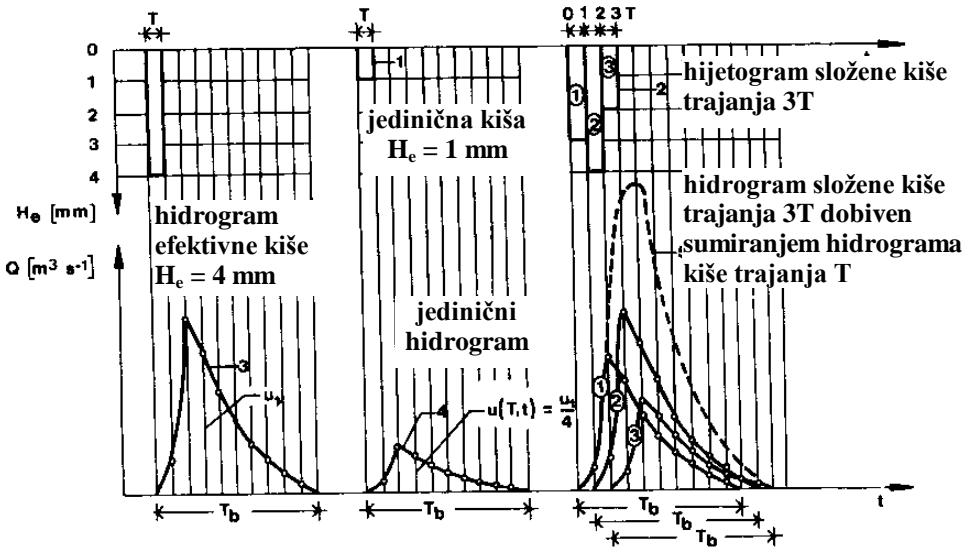
$$u = u(T, t)$$

Pod pojmom trajanja T kod jediničnog se hidrograma podrazumijeva trajanje efektivne oborine, a ne npr. trajanje otjecanja što se ponekad u praksi greškom poistovjećuje. Za određivanje jediničnog hidrograma to trajanje ne može biti veće od vremena koncentracije, tj. kreće se od nule do vremena koncentracije.

Podaci koji se koriste za konstrukciju jediničnog hidrograma obično su vezani uz izolirane jake kiše približno ujednačenog intenziteta na cijelom slivnom području, čime se pojednostavljuje postupak proračuna. Kod slivova sa značajnijim utjecajem

podzemnih voda ili baznoga dotoka (veći slivovi), nužno je prije analize jediničnog hidrograma na raspoloživim – zabilježenim hidrogramima velikih voda, odijeliti baznu komponentu tečenja od samoga površinskoga dotoka. U dostupnoj literaturi na ovim prostorima postoje brojne preporuke za taj postupak (Jovanović, 1974; Srebrenović, 1986; Bonacci, 1984; 1987), te Žugaj, 2000). Isto tako, za optimalizaciju izbora parametara pri određivanju oblika jediničnog hidrograma moguće je koristiti i optimalizacijske tehnike. Radi se o metodi koju je prvi opisao Deiniger (1969), a kod nas razradili Bonacci i Roglić (1981) i Bonacci (1985) primjenom metode linearnog programiranja.

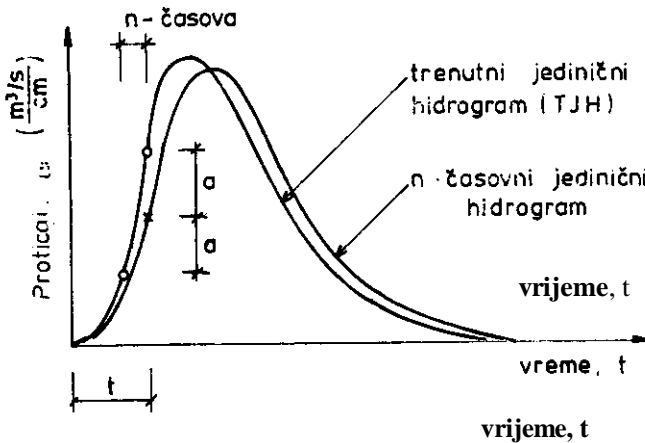
Jedinični hidrogram površinskog otjecanja od složene kiše dužeg trajanja (trajanje mora biti višekratnik trajanja jedinične kiše T) pomoću jediničnog hidrograma kiše kraćeg trajanja određuje se superponiranjem hidrograma dobivenih iz kiša na osnovu kojih je i definiran početni jedinični hidrogram za vrijeme T (Wilson, 1974). Način njegove konstrukcije zorno je prikazan u radu Bonaccija (1984) (slika 12).



Slika 12: Odnos efektivne oborine jediničnog hidrograma i hidrograma složene efektivne oborine

U graničnom slučaju, kada se trajanje kiše T smanjuje na nulu, dobiva se trenutni jedinični hidrogram. On je apstraktni pojam koji ima značenje odgovora sliva na trenutačni ulaz jedinične kiše na taj sliv. U tom je smislu trenutni jedinični hidrogram jedinstveni integralni pokazatelj načina formiranja otjecanja u slivu, neovisno o trajanju pale oborine. Zbog akumulacijskih osobina sliva, zadržavanja pale vode po terenu i u koritima hidrografске mreže sliva i njegove inercije po pitanju otjecanja, ordinate i vremenska baza jediničnog hidrograma imaju konačne vrijednosti. Iz trenutačnog jediničnog hidrograma moguće je dobiti hidrogram konačnog trajanja na način prikazan na slici 13.

U graničnom slučaju, kada se trajanje kiše T smanjuje na nulu, dobiva se trenutni jedinični hidrogram. On je apstraktni pojam koji ima značenje odgovora sliva na trenutni ulaz jedinične kiše na taj sliv. U tom je smislu trenutni jedinični hidrogram jedinstveni integralni pokazatelj načina formiranja otjecanja u slivu, neovisno o trajanju pale oborine. Zbog akumulacijskih osobina sliva, zadržavanja pale vode po terenu i u koritima hidrografske mreže sliva i njegove inercije po pitanju otjecanja, ordinate i vremenska baza jediničnog hidrograma imaju konačne vrijednosti. Iz trenutalnog jediničnog hidrograma moguće je dobiti hidrogram konačnog trajanja na način prikazan na slici 13.



Slika 13: *Određivanje n-satnog jediničnog hidrograma pomoću trenutnog jediničnog hidrograma*

Ordinata n-satnog jediničnog hidrograma u trenutku t prosječna je vrijednost ordinate trenutnog hidrograma n sati prije t . Trenutni jedinični hidrogram podijeli se u n vremenskih intervala, pa se prosječne vrijednosti ordinate na početku i na kraju svakog intervala nanose na krajevima tih intervala kako bi se dobio n -satni jedinični hidrogram (Zelenhasić i Ruski, 1991).

Ukoliko je potrebno odrediti jedinični hidrogram za kišu kraćeg trajanja koristeći jedinični hidrogram kiše dužega trajanja, to je moguće postići koristeći tzv. S-krivulju (Jovanović, 1974, Bonacci, 1984, Srebrenović 1986, Žugaj, 2000). S-krivulja se može upotrijebiti i za konstrukciju jediničnih hidrograma duljega trajanja od određenoga za početni jedinični hidrogram.

Teoretski, sumarna ili tzv. S-krivulja je S-hidrogram koji je posljedica kontinuirane i ravnomjerne kiše intenziteta $1/T$ (cm/sat), beskonačnog trajanja. Ovakav hidrogram ima oblik S-krivulje i njegove ordinate poslije nekog vremena dostižu vrijednost efektivnih oborina u trenutku kada je dostignuta ravnoteža – otjecanje sa sliva postaje konstantno nakon n prekoračenja vremena koncentracije T_c . Tada svaki dio sliva daje doprinos izlaznom protjecanju – nastupa stacionarno stanje otjecanja sa sliva.

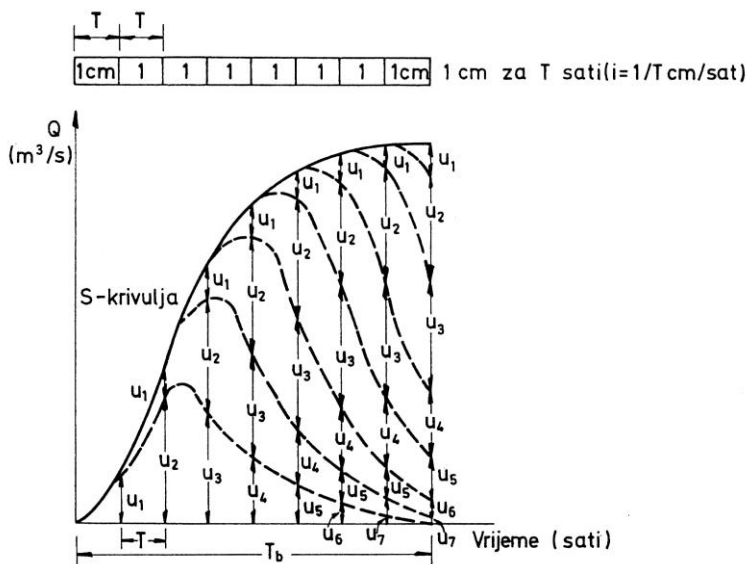
Serijski blokovi neto kiše trajanja T , koja je ekvivalentna kontinuiranoj kiši intenziteta $1/T$ cm/sat, daje seriju T -satnih jediničnih hidrograma, koji su pomaknuti za vremenske intervale T . Suma ordinata daje hidrogram direktnog otjecanja intenziteta $i=1/T$ cm/sat; gdje je najčešće $T \neq 1$ sat, a $i < 1$ cm/sat.

Znači da je $S(t)$ suma ordinata jediničnih hidrograma na intervalima T , pomnožena sa T (slika 14).

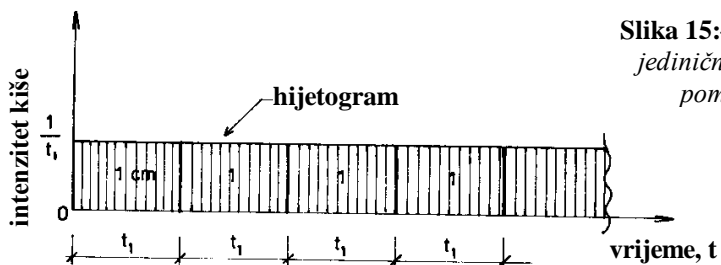
Kada je $T \rightarrow 0$, bit će:

$$S(t) = \int_0^t u(0, t) dt$$

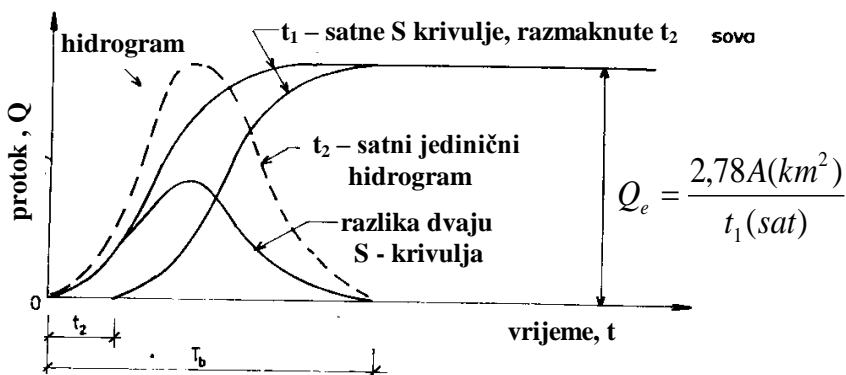
Slika 14:
S-hidrogram



5114.



Slika 15:— Određivanje jediničnog hidrograma pomoću S - krivulje



Svaka S-krivulja je jedinstvena za dano trajanje kiše jediničnog hidrograma i za dani sliv. Ukoliko se ista takva S-krivulja na vremenskom dijagramu pomakne udesno, za vremenski razmak od jediničnog vremena, onda razlika njihovih ordinata predstavlja otjecanje t_1 -satnog jediničnog hidrograma. Ukoliko se želi odrediti jedinični hidrogram za kraću kišu – npr. t_2 sati, koristi se spomenuta S-krivulja. Ovaj puta ju je potrebno ponovno nacrtati, ali s pomakom od t_2 sati duž vremenske osi. Vrijeme t_2 može biti bilo koji dio t_1 . Razlika ordinata ovih S-krivulja predstavlja otjecanje od t_2 satne kiše, s pripadajućim intenzitetom od $1/t_1$ (cm/sat). Iz tog je razloga nužno da se ordinate te razlike pomnože faktorom t_1/t_2 . Time će se dobiti intenzitet kiše od $1/t_2$ (cm/sat), a što je potreban intenzitet kiše za traženi t_2 -satni jedinični hidrogram (Zelenhasić i Ruski, 1991). Svi su ostali elementi zorno prikazani na slici 15.

2.9. Metode sintetičkih hidrograma

Čest je slučaj da je jedinični hidrogram nužno odrediti za slivove, odnosno profile na vodotocima slivova kod kojih ne postoje mjereni hidrološki podaci. Tada se rade tzv. sintetski jedinični hidrogrami, kod kojih se koriste saznanja dobivena iz nekih sličnih mjerenjima i njihovom analizom obuhvaćenih slivova. Podlogu takvim konstrukcijama čine različite regionalne empirijske ovisnosti osnovnih parametara jediničnog hidrograma i fizičko-geografskih značajki sliva.

Razvoj metoda sintetičkih jediničnih hidrograma načelno se može podijeliti na metode koje uvažavaju različitost oblika jediničnih hidrograma za različite slivove kao npr. Snyder (1938), Clark (1945), Nesh-ov model (1958), kao i na metode koje polaze od pretpostavke da se svi jedinični hidrogrami mogu predstaviti jednom krivuljom, ili pak familijom krivulja, kao npr. Commons (1942), Williams (1945), SCS (1964). No, i spomenutoj drugoj grupi metoda uglavnom se ipak može utjecati na konačan oblik hidrograma – uobičajeno redukcijama tipa Q/Q_{\max} i $t/t_{\text{vršno}}$ za usvojeni bezdimenzionalni oblik. Kako je volumen otjecanja ispod jediničnog hidrograma po definiciji jednak jedinici, kod te je grupe metoda u njihovim početnim fazama bilo potrebno poznavati samo jedan parametar da se odredi jedinični hidrogram. Kako metode s jednoparametarskim pristupom nisu dovoljno fleksibilne prilagodbi različitim slivovima i uvjetima otjecanja, pristupilo se razvoju dvoparametarskih metoda u okviru spomenutog pristupa.

Još i danas jedan od najpoznatijih postupaka za određivanje parametara sintetičkog jediničnog hidrograma dao je Snyder (1938), a koji je u okviru ranijih serija Priručnika za hidrotehničke melioracije opisan u radu Bonaccija (1984), te se ovdje neće detaljnije opisivati. Razvijena je regionalnom analizom podataka s planinskih 20 slivova na istočnoj obali SAD, i za koju vrijede koeficijenti i relacije utvrđene tom metodom.

Pojednostavljenje postupka konstrukcije sintetičkog hidrograma dala je američka institucija »The Soil Conservation Service«-a (SCS) svojom preporukom o upotrebi sintetičkog hidrograma u vidu trokuta (slika 16).

Sintetički hidrogram otjecanja u obliku trokuta definiran je:
maksimalnim protokom

$$Q_{\max,p} = U_{\max} P_{e,p}$$

vremenom porasta

$$T_p = t_p + \frac{T_k}{2}$$

i vremenom opadanja

$$T_r = K T_p$$

gdje su:

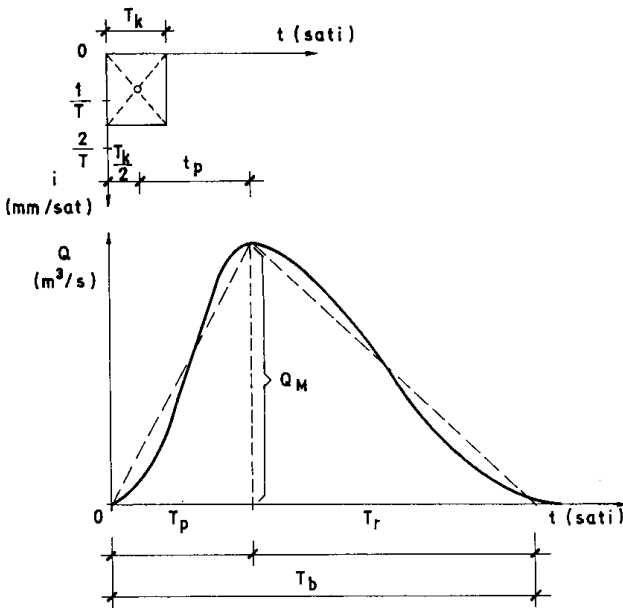
t_p — vrijeme ‘zakašnjenja’ sliva

T_k — mjerodavno trajanje kiše

K — faktor sliva, koji je funkcija površine sliva

U_{max} — maksimalna ordinata jediničnog hidrograma

$P_{e,P}$ — efektne (neto) kiše, za mjerodavno trajanje T_k .



Slika 16:
Aproximacija
stvarnoga
hidrograma
trokutom

Vrijeme porasta hidrograma (T_p), odnosno vrijeme zakašnjenja (t_p), kao i vrijeme opadanja (T_r), ovise o brojnim parametrima koji su karakteristični za pojedini sliv. Za ‘vrijeme zakašnjenja’ (t_p) može se uzeti da predstavlja jednu približno konstantnu karakteristiku slivnog područja.

Potrebno je napomenuti da postoje i razni analitički izrazi za oblik sintetičkog jediničnog hidrograma, od kojih su neki prethodno i izloženi u danom radu. No, važno je voditi računa da su parametri tog oblika izvedeni su za različite regije i imaju lokalni karakter, što svakako treba imati u vidu pri primjeni u drugačijim uvjetima.

Treba istaknuti da je za konstrukciju sintetičkih hidrograma vrlo korisno imati i kratkotrajne nizove opažanja na nekom interesantnom profilu, od svega 1—2 godine dana praćenja. Na temelju njih moguće je daleko bolje vršiti procjenu pojedinih elemenata jediničnog hidrograma.

2.10. Metoda izokrona

Metoda izokrona koristi genetski pristup kojim je također moguće konstruirati sintetičke hidrograme otjecanja. Razvojem prostornih modela terena i tečenja, ta metoda ponovno sve više dobiva na značaju kao jedan od elementarnih pristupa u modelskim sagledavanjima tečenja velikih voda. Osnovna je pretpostavka metode izokrona da voda s pojedinih dijelova sliva stiže do izlaznog profila u različitim vremenskim intervalima Δt – najprije se pojavljuje voda koja otječe s dijelova sliva najbliže profilu, a u kasnijim vremenskim intervalima i s udaljenijih dijelova. Prema tome, gravitirajuća se slivna površina može podijeliti u zone s kojih voda u uzastopnim vremenskim dijelovima stiže do izlaznog profila. (Bonacci, Roglić, 1984). Izokrone otjecanja ili izokrone su linije jednakih vremena otjecanja vode sa sliva. Na temelju površine sliva s izokronama, hijetograma efektivne oborine i dijagama vrijeme-površina određuje se rezultirajući hidrogram otjecanja. Metodološki pristup dobro je opisan u radu prethodno spomenutih autora iz 1984., kao i u jednom njihovom ranije publiciranom radu (1981), te u novije doba u radu Žugaja (2000). Treba istaknuti da su Bonacci i Roglić (1981, 1984) dali i originalni doprinos razvoju te metode primjenom originalnog modela definiranja izokrona u slivu primjenom analize tečenja po terenu na principima dinamičkog programiranja.

Uobičajeni postupak određivanja hidrograma površinskog otjecanja (slika 17) provodi se na slijedeći način:

- Najprije se na slivu sa kojega se otjecanje računa konstruiranju linije jednakih vremena otjecanja – izokrone. Vrijeme otjecanja vode od jedne do druge izokrone je Δt , a ukupno vrijeme otjecanja od najudaljenije izokrone do izlaznog profila jednako je vremenu koncentracije sliva T_c . Izokronama je sliv podjeljen na manje površine.
- Nakon toga se konstruira hijetogram efektivne kiše konstantnih intenziteta u vremenima Δt . Temeljna je pretpostavka da je na cijeli sliv pala kiša i da su intenziteti kiše i_1, i_2, \dots, i_k u vremenskim razmacima Δt . Trajanje efektivne kiše T_k je:

$$T_k = k \Delta t = T_b - T_c + \Delta t$$

gdje je T_c vrijeme koncentracije sliva.

- Ispod hijetograma se u dijagram vrijeme – površina nanese površine sliva između pojedinih izokrona a_1, a_2, \dots, a_{tc} . Površine između izokrona se nanose u razmacima Δt , a vrijeme za sve površine od a_1 do a_{tc} jednako je vremenu koncentracije sliva T_c .
- Sada se može pristupiti izradi hidrograma otjecanja, i to slijedećim redoslijedom: u prvoj jedinici vremena Δt do izlaznog profila dolazi voda s površine a_1 uslijed efektivne kiše intenziteta i_1 , pa je protok na kraju vremena Δt :

$$Q_1 = i_1 a_1$$

- Na kraju druge vremenske jedinice, nakon $2\Delta t$, do izlaznog profila dolazi voda s površine a_1 , na koju je pala kiša intenziteta i_2 (u drugoj vremenskoj

jedinici Δt) te voda s površine a_2 , na koju je u prvoj vremenskoj jedinici pala kiša intenziteta i_1 , pa je protok nakon druge vremenske jedinice:

$$Q_2 = i_2 a_1 + i_1 a_2$$

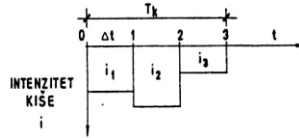
te je protok u i -tome trenutku:

$$Q_i = \sum_{k=1}^{k=i} i_k a_{i-k+1} = \sum_{k=1}^{k=i} i_{i-k+1} a_k$$

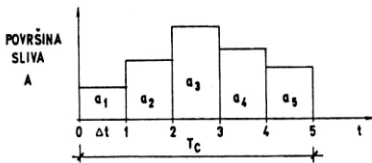
a) POVRŠINA SLIVA S IZOKRONAMA



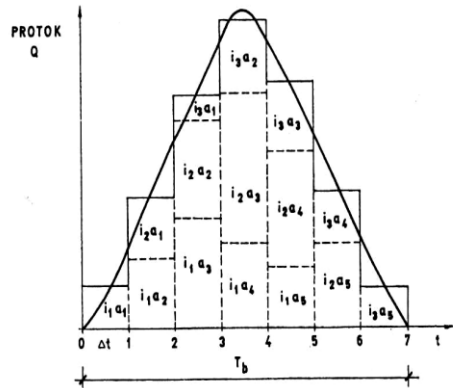
b) HIJETOGRAM EFEKTIVNE KIŠE



c) DIJAGRAM VRIJEME - POVRŠINA SLIVA



d) REZULTIRAJUĆI HIJEDROGRAM



Slika 17: Određivanje hidrograma površinskog otjecanja

Vremenska baza hidrograma površinskog otjecanja, odnosno ukupno trajanje površinskog otjecanja je:

$$T_b = T_c + T_k - \Delta t$$

Tako dobiveni oblici hidrograma nisu realni, jer metoda izokrona uzima u obzir samo inercijalne osobine sliva (zakašnjenje). Naime, potrebno je obraditi i utjecaj retencijske sposobnosti sliva, jer sliv akumulira određenu količinu vode. Hidrogram dobiven metodom izokrona moguće je određenim metodama transformirati (kroz linearni ili nelinearni razervoar).

Prema tome, osnovni su problemi u vezi s primjenom metode izokrona određivanje položaja izokrona u slivu, veličine površine sliva između pojedinih izokrona i vremena koncentracije sliva. U vremenu koncentracije sadržano je vrijeme otjecanja vode po terenu i vrijeme otjecanja u koritu vodotoka. Vrijeme koncentracije ovisi o obliku,

veličini i padu sliva, intenzitetu, trajanju i raspodjeli kiše, te obraštenosti sliva. Osim toga, pretpostavka o uniformnoj raspodjeli površina sa kojih je isto vrijeme dotjecanja do izlaznog profila nije točna, budući da brzina tečenja ovisi o količini vode. Zbog toga, metoda izokrona daje bolje rezultate za manje slivne površine.

Oblik hidrograma može se popraviti različitim transformacijama. Polazi se od Saint-Venantove parcijalne diferencijalne jednačbe kojom se opisuje nestacionarno tečenje. Na toj su osnovi razvijene metode retardacije kojima se transformira hidrogram vodnog vala: metoda Puls, koeficijent metoda, metoda Muskingum, Kalininova metoda, sukcesivna 'lag'-metoda i sl.

3. Prikaz pojedinih modelskih prisupa pri određivanju hidrograma velikih vodnih valova

3.1. Općenito

Pod nazivom modeliranje hidroloških sustava obično mislimo na aplikacije matematičkih i logičkih izraza koji definiraju kvantitativne odnose između karakteristika tečenja (izlaz) i čimbenika koji utječu na formiranje tečenja (ulaz). To je opća definicija koja pokriva cijeli spektar pristupa, od čisto empirijskih do modela koji su utemeljeni na fizikalnim zakonima.

Danas se pred hidrologe stavljaju razna pitanja iz domene upravljanja vodnim resursima, a neka od njih uključuju (Brezak, 2000):

- raspoloživost vodnih resursa za određeni sliv
- prostornu i vremensku raspodjelu količine i kvalitete voda
- određivanje vodnih valova maksimalnog otjecanja
- procjena količina vode potrebnih za navodnjavanje
- određivanje volumena akumulacija
- proračun zapunjavanja akumulacija nanosom
- definiranje utjecaja ljudskih aktivnosti na hidrološki režim

Jedan od načina da se kvalitetno odgovori na ova pitanja jest upravo korištenje hidroloških modela. Stoga se kao osnovni cilj modeliranja nameće osiguravanje pouzdanih informacija za upravljanje vodnim resursima radi razvoja i napretka društva u cjelini.

Prema kriteriju odredivosti ponašanja razlikujemo determinističke i stohastičke hidrološke modele. Deterministički modeli bave se opisom međudjelovanja i povezanosti različitih komponenti prostorno i vremenski promjenjivog hidrološkog sustava putem opće poznatih matematičkih izraza. Stohastički modeli pak, podrazumijevaju transformaciju ulaznih veličina u izlazne bez razmatranja procesa zbog kojih se dogodila transformacija.

Prednosti uporabe determinističkih hidroloških modela su: ulazne veličine za modeliranje dobivene su mjerenjem na slivu, modeli mogu simulirati odgovor sliva s obzirom na pretpostavljene uvijete, mogu se simulirati nelinearni procesi i kašnjenja u hidrološkim procesima. Osim toga, deterministički se modeli koriste pri modeliranju slivova s premalo podataka jer su temeljeni na principu uzrok-posljedica, te na pitanje što se događa pružaju odgovor s gledišta hidrologije u slučaju promjena parametara sliva uzrokovanih npr. promjenom načina korištenja zemljišta ili klimatskim promjenama.

Glavna nedoumica današnjice u hidrološkom modeliranju jest treba li se posvetiti razvoju novih modela ili unapređivati postojeće. Naime, često se u praksi pokazalo da puno modela daje dobre rezultate, ali ne uvijek i ne zbog pravih razloga. Zagovornici

pristupa da se modificiraju postojeći modeli, predlažu nadogradnju određenog broja odabranih, dovoljno pouzdanih modela koji bi na početku poslužili kao eksperimentalna područja. Nezaustavljivi razvoj kompjutorske tehnologije, te paralelna uporaba modernih tehnologija (GIS, baze podataka, ekspertni sustavi, digitalni modeli terena i sl.) već u znatnoj mjeri pridonose poboljšanju hidroloških modela u smislu prezentacije rezultata, brzine modeliranja, te dostupnosti podataka potrebnih za modeliranje.

U nastavku je dan kronološki prikaz osnovnih značajki nekoliko na našim prostorima najčešće korištenih modela pri problemima modeliranja hidrograma otjecanja velikih voda sa sliva.

3.2. Model HEC – 1

Hydrologic Engineering Center, HEC, razvio je nekoliko malih kompjuterskih programa za simuliranje različitih dijelova oborine-otjecanje procesa u ranim šezdesetim godinama (Singh, 1994). Mali individualni programi bili su neophodni zbog, u to vrijeme, ograničene kompjuterske memorije. Kada je kompjuterska memorija postala dovoljno velika (naravno, misli se na kasne šezdesete), nekoliko je malih programa spojeno u jedinstveni paket za hidrologiju riječnog sliva. Prva verzija HEC-1 programa objavljena je u listopadu 1968. Nakon toga je proširivan, revidiran i objavljivan sa novim poboljšanjima u samim hidrološkim algoritimima, kao i u hardverskim i softverskim unapređenjima. Da bi se pojednostavili ulazni zahtjevi i da bi izlazni dio programa bio sadržajni i čitljiviji, napravljena je najveća revizija 1973. godine.

Godine 1981. u jedan jedinstveni paket-program uključeni su proračuni mogućnosti rušenja brane, optimalizacija i specijalna verzija kinematike vodnog vala. Na kraju 1984. godine razvijena je PC – mikrokompjuterska verzija programa. Standardna verzija (4.0) iz rujna 1990., predstavlja poboljšanja i proširenja na mogućnosti hidroloških simulacija zajedno sa kontaktom sa HEC Data Storage System. Ta veza sa DSS dozvoljava da HEC-1 ima međuvezu sa ulazom i izlazom mnogih HEC i drugih modela. Nove hidrološke mogućnosti u HEC-1 uključuju Green i Ampt infiltraciju, Muskingum-Cunge proračun poplave, slobodni ulaz rezervoara i poboljšano numeričko rješenje jednadžbe kinematskog vodnog vala. U rujnu 1991, verzija 4.0.1.E HEC-1 je puštena u uporabu na proširenoj memoriji PC-a. Sada se razvija nova generacija HEC sustava za hidrološko modeliranje. Novi će sustav imati šire mogućnosti od HEC-1 programa, ali će i dalje primarno biti model za hidrološku analizu poplave.

Osnovna namjena HEC-1 modela je simulacija hidroloških procesa, i to tako da omogući korisnicima analizu povijesnih podataka o poplavama i projektiranje objekata za smanjenje šteta od poplava. HEC-1 je ograničen na studije pojava poplava jer je zaštita od poplava osnovna odgovornost Države. Simulacija poplava i poplavnih vodnih valova počinje sa oborinama, proračunom gubitaka na infiltraciju i na kraju slijedi proračun otjecanja kroz vodotok. Alat za hidrološku analizu uključuje automatski proračun parametara, proračun složene kiše, usklađivanje odnosa visina kiše-površina i određivanje krivulje učestalosti poplava. Projekti za smanjenje šteta od poplava analiziraju mogućnosti uključivanja složenih-projektnih analiza, modificiraju krivulje učestalosti i optimalizaciju veličine projekta.

HEC je razvio i podržao puni doseg simulacijskih modela za razumjevanje funkcioniranja sustava vodnih resursa. Zaključeno je da stručnjaci sa iskustvom mogu donositi prikladnija rješenja problema pri korištenju simulacijskih modela, jer postupno mijenjaju ulazne parametre. Taj proces zaključivanja bio je u povijesti dominantna metodologija za planiranje i operacionalizaciju odluka u vodnim zajednicama i to se nastavlja i dalje. HEC koristi metode hidroloških simulacija u raznim situacijama sa

značajnim uspjehom. Neki modeli za optimalizaciju koriste se za razvoj sustava rezervoara.

3.3. SSARR model

SSARR model se razvija i primjenjuje od 1956. godine. Započeli su ga inženjeri državnih službi za upravljanje vodama da bi osigurali hidrološku simulaciju za planiranje, projektiranje i poslove upravljanja vodama sliva rijeke Kolumbije (Singh, 1994). Model se koristi širom svijeta za različite hidrološke režime i brojne namjene.

Program SSARR osigurava korisniku mogućnost razvoja numeričkog hidrološkog modela riječnog sliva. To uključuje odaziv sliva na oborine ili snjeg, akciju riječne mreže i hidrotehničkih građevina. Proračunsko središte programa je u dva osnovna modula, model sliva i model sustava riječnih rezervoara. To uključuje brojne korisne programe i nekoliko baza podataka, osiguravajući korisnika različitim izborom konfiguracija i aplikacija u korištenju programa.

SARR modeli – model sliva i rijeke, kalibrirani su ručno uspoređivanjem opaženih i proračunatih protoka. Nakon toga vrši se prilagodba podataka stvarnim karakteristikama i popravljaju se vrijednosti parametara. U kalibraciji se koriste kontinuirani podaci trajanja od 20—30 godina tako da su dobiveni rezultati značajni. Učinkovitost modeliranja postiže se ako se točno poštuje procedura kalibriranja i ako se iskoriste sve statističke i grafičke mogućnosti.

Komponenta model sliva simulira kišu, snijeg, upijanje, stanje tla kao utjecaja na otjecanje i prenošenje otjecanja u nekoliko komponenti u sustav vodotoka. Evapotranspiracija i proračun dugoročnog spremanja zemljišne vlage omogućavaju da se kontinuirano kroz višegodišnje vremensko razdoblje za vrijeme niskih kao i visokih protoka u vodotoku simulira tečenje. Proračunski vremenski porast može biti ili kraći od 0.1 sata ili dug 24 sata.

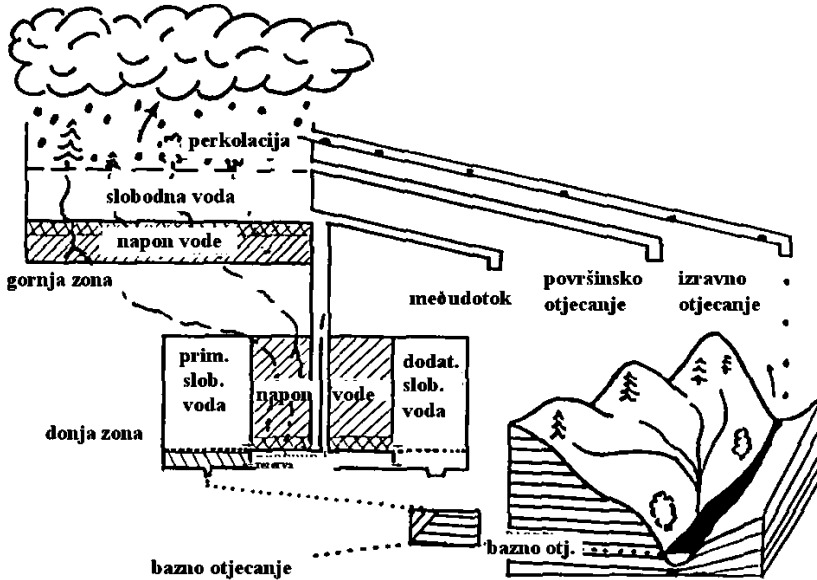
Komponenta model rijeke/rezervoara simulira tečenje kroz riječnu mrežu. Moguće je napraviti više varijacija u specifičnoj metodologiji proračuna kanala, uključujući mogućnost proračuna efekta povratne vode (uspora) neovisnih nizvodnih izvora. Skretanja, tečenja preko obale, lokalni utoci i dr. Uračunati su kao efekti prirodnih jezera. Model također sadrži i algoritme za simulaciju operacija s rezervoarima, a raznolikosti operativnih podataka su dozvoljene. Ulazni podaci za ovaj model mogu biti izlaz modela sliva (pri prognozi), ili može biti povijesni zapis protoka (pri sustavu rezervoara).

3.4. Model Sacramento

Model Sacramento razvili su stručnjaci Burnash, R. J. C., Ferral, R. L. i McGuire, R. A. i osoblje National Weather Service River Forecast centra u Sacramento, Kalifornija, SAD (1973). Taj model uključuje složeni algoritam proračuna vlažnosti da bi se dobio volumen (sadržaj) komponenti otjecanja, dok se jednostavne empirijske metode koriste za pretvaranje tih ulaznih parametara u izlazni hidrogram (WMO, 1994). Zemljišni se pokrov tretira na dva načina – kao gornja i donja zona, gdje svaki dio ima kapacitet za vezanu i slobodnu vodu. Vezana voda je ona koja je uže povezana sa dijelovima tla i gubitkom samo kroz evapotranspiraciju. Osigurano je da se slobodna voda drenira prema dolje i u horizontalnom smjeru. Kapaciteti spremnika za vezanu i slobodnu vodu u svakoj zoni specificirani su kao parametri modela. Ulazna voda u područje dodana je rezervoaru za vezanu vodu toliko dugo koliko su veliki kapaciteti, a svaki se višak doda slobodnoj vodi. Udio bilo kakvih oborina odmah je skrenut u sustav kanala kao direktno otjecanje. To je dio koji padne na kanalski sustav i na nepropusna područja koja s njime

graniče. Dužina tih područja utječe na vrijeme u modelu. Sva kiša i snijeg koji nisu usmjereni kao direktno otjecanje, ulaze u gornju zonu. Slobodna voda iz gornjih zona smatra se kao međudotok ili kao perkolacija u nižim zonama. Ako je vlažnost u gornjim zonama veća od potrošnje, tada višak postaje površinsko otjecanje. Slobodna voda u gornjoj zoni dijeli se na osnovni (sporo otjecanje) i drugorazredni rezervoar.

Princip funkcioniranja modela prikazan je na slici 18.



Slika 18: Princip funkcioniranja modela Sacramento

Perkolacija iz gornje u donju zonu definirana je sa:

$$PRATE = PBASE(1 + ZPERC * RDC^{REXP}) UZFWC / UZFWM$$

gdje je:

PRATE – perkolacija

PBASE – dio perkolacije ako su donje zone pune i ako je neograničena opskrba vodom dostupna u gornjim zonama. Numerički je jednaka maksimalnoj izlaznoj količini donje zone i izračunata je kao suma primarnog i sekundarnog kapaciteta slobodne vode, koji je svaki pomnožen svojim koeficijentom gubitka (potrošnje).

RDC – omjer manjka donje zone i kapaciteta, što znači da je RDC nula kada je donja zona puna, a jedan kada je prazna.

ZPERC – modelski parametar koji definira rang vrijednosti perkolacije.

REXP – modelski parametar koji definira oblik krivulje između minimalnih i maksimalnih vrijednosti ranije opisanih.

UZFWC – zadovoljenje slobodnom vodom u gornjoj zoni.

UZFWM – slobodan kapacitet gornje zone.

Ako je gornja zona prazna, nema perkolacije, a ako je puna vrijednost će ovisiti o manjku u donjoj zoni.

Ta je formula srž modela. Ona povezuje ostale komponente modela tako da kontrolira kretanje vode u svim dijelovima zemljišnog profila – odnosno iznad i ispod područja dodira s perkolacijom, a sa svoje strane je kontroliran kretanjima u svim dijelovima profila.

Kretanje vlage kroz zemljišni pokrivač je kontinuirani proces. Vrijednost protoka u bilo kojoj točki mijenja se sa vrijednošću opskrbe vlagom i sa sadržajem relevantnih elemenata rezervoara. Taj je proces simuliran kvazi-linearnim proračunima. Jedan vremenski korak proračuna perkolacijskih i otjecajnih procesa uključuje bezuvjetnu pretpostavku da je kretanje vlage za vrijeme vremenskog koraka definirano uvjetima koji su postojali na početku koraka. Ta je pretpostavka prihvatljiva samo ako je vremenski korak relativno kratak. Duljina vremenskog koraka u modelu ovisna je o volumenu, što znači da je korak izabran na taj način da više od 5 mm vode ne može biti uključeno u bilo koji pojedinačni izračun proračunske petlje.

Pet komponenti otjecanja dobiveno je u modelu. Tri gornje komponente (izravni, površinski i međudotok) zbrojeni su i transformirani jediničnim hidrogramom. Dvije komponente donje zone, primarni i sekundarni bazni dotok dodani su izravno u izlazni hidrogram dobiven iz druge tri komponente. Osigurano je također i određivanje rezultantnog hidrograma sa promjenjivim koeficijentima oblika.

3.5. Model HBV

Prošlo je više od 25 godina od kada je napravljena prva prezentacija rezultata dobivenih korištenjem HBV modela (Singh, 1994).

HBV model u velikoj mjeri slijedi ideju Nasha i Sutcliffea (1970), a oni su uvidjeli da povećanje mogućnosti računala može rezultirati u previše kompleksnim modelskim formulacijama osim ako značaj modelskih komponenti nije pažljivo provjeren. Ova je filozofija odgovorna za relativnu jednostavnost HBV modela. Isprobane su mnoge modifikacije modela, ali je malo bilo onih koje su dale poboljšanje rezultata. Prva uspješna primjena rane verzije HBV hidrološkog modela provedena je u proljeće 1972. Razvojni proces se nastavio povećanjem broja testiranih aplikacija i uvođenje u rutinu za snježne akumulacije i otapanje snijega. U rano ljeto 1975. provedena je prva upotrebljiva prognoza.

Poslije 20 godina HBV je postao standardno oruđe za simulaciju otjecanja u nordijskim zemljama a sve je veći broj aplikacija i u drugim zemljama.

Rad s HBV modelom rezultirao je nizom korisnih nusprodukata budući se njegov općeniti pristup pokazao vrijednim oruđem za rješavanje velikog broja problema koji se odnose na kvantitativne aspekte vodenih resursa. Njegov nasljednik PULSE model se koristi za hidrokemijske simulacije i simulacije u slivovima bez mjerenja.

HBV model pripada drugoj generaciji modela koje karakterizira pokušaj da se pokriju najvažniji procesi koji nastaju uslijed otjecanja uz pomoć što jednostavnijih mogućih struktura. HBV model može najbolje biti klasificiran kao polu-distribucijski konceptualni model. U njemu su podslivovi osnovne hidrološke jedinice a unutar njih raspodjelu površina-nadmorska visina i grubu klasifikaciju korištenja tla (šume, livade, jezera) (slika 17).

Model se sastoji od tri temeljne komponente:

- proračun snježnih akumulacija i otapanja snijega
- proračun zemljišne vlage
- proračun odgovora sliva i tečenja

SMHI verzija (proizvod Švedskog meteorološkog i hidrološkog instituta) HBV modela obično koristi dnevne vremenske intervale, ali se mogu koristiti i kraći intervali

ako su takvi podaci dostupni. Ulazni su podaci oborine, a u krajevima sa snijegom i temperature zraka. Druge verzije modela mogu zahtijevati više ulaznih podataka za proračun snježnih akumulacija.

Postupak proračuna vlažnosti tla zahtijeva podatke o potencijalnoj evapotranspiraciji. Prosječne mjesečne standardne vrijednosti u dovoljne, ali se mogu koristiti i precizniji podaci. Izvor tih podataka mogu također biti proračuni dobiveni upotrebom Penmanove formule ili slično ili rezultata mjerenja dobivenih mjerenjem na evaporimetru. U ovom posljednjem slučaju neophodno je izvršiti korekciju sistemskih grešaka prije unosa u model. Površinski prosjeci klimatoloških podataka odvojeno su proračunati za svaki podsliv jednostavnim postupkom otežavanja gdje su težine određene klimatološkim i topografskim uvjetima ili nekom geometrijskom metodom kao što su Thiessenovi poligoni. Klimatološki ulazni podaci su nadalje korigirani kliznim konstantama za nadmorsku visinu. Temperaturni gradijent obično se kreće oko $-0,6$ °C za 100 m visinske devijacije (krećući od polazne visine). Oborinski gradijent je izrazito lokalnog karaktera i ovisi o lokalnim klimatskim uvjetima.

HBV model u svom najjednostavnijem obliku sa samo jednim podslivom i jednim tipom vegetacije ima ukupno 12 slobodnih parametara. Kalibracija modela obično se radi ručnim postupkom i tehnikom pogrešaka, a relevantne se vrijednosti parametara mijenjaju sve dok se ne postigne prihvatljiv stupanj podudarnosti sa opaženim podacima. Za prosudbu dobivenih rezultata također postoje statistički kriteriji kao npr. R^2 -vrijednost (u skladu sa Nash i Sutcliffe 1970). R^2 ima vrijednost 1 ako se simulirani i zabilježeni podaci u potpunosti slažu, ili vrijednost 0, ako model ne može dati ništa bolje od srednjih vrijednosti zabilježenih podataka. Negativne vrijednosti mogu biti rezultat ili lošeg modeliranja ili loših mjerenih podataka.

Drugi koristan alat za prosudbu valjanosti modeliranja je graf ukupnih razlika između simuliranih i zabilježenih podataka. Taj graf otkriva svaku pristranost u vodnom bilancu i posebno je koristan u početnoj fazi kalibracije, kao na primjer pri procjeni korekcija snježnih padalina.

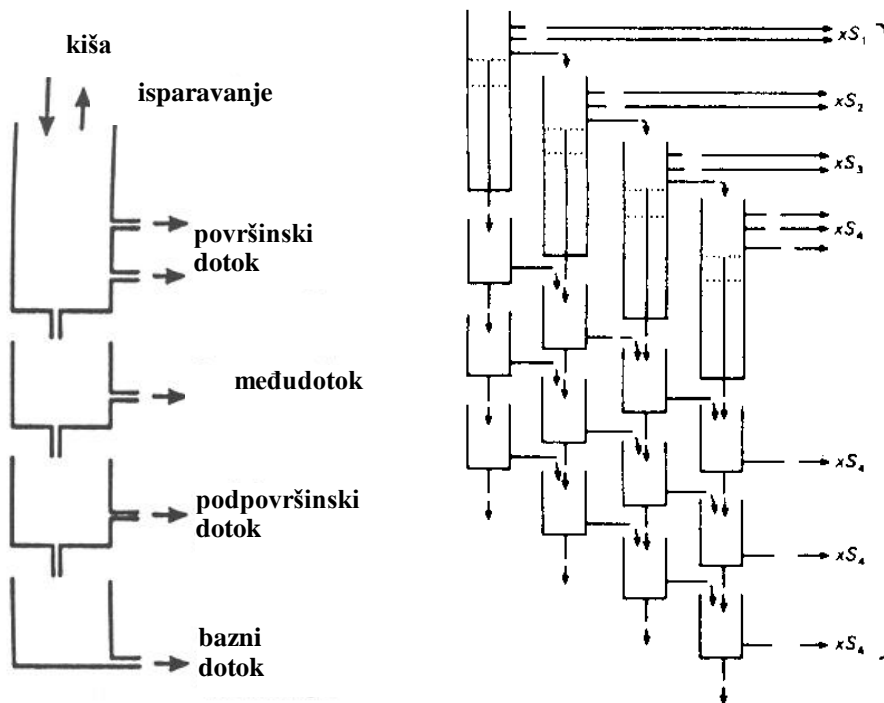
Razvijena je i procedura automatske kalibracije (Harlin, 1991.). Ta se metoda temelji na iskustvu dobivenom velikim brojem ručnih kalibracija. Nije međutim vjerojatno da će vizualni pregled i ručno usklađivanje biti u potpunosti zamijenjeno u budućnosti zbog poteškoća da se pronađu statistički kriteriji koji će biti tako osjetljivi kao ljudsko oko.

Nije moguće specificirati potreban niz podataka neophodnih za postojanu modelsku kalibraciju za sve vrste aplikacija. Važno je da podaci uključuju različite hidrološke događaje, tako da se efekat svih postupaka modeliranja može razaznati. Uglavnom je 5 do 10 godina podataka dovoljno kada se model primjenjuje u skandinavskim uvjetima.

3.6. Tank-model

Ovaj je model razvijen u National Research centru za prevenciju elementarnih nepogoda u Tokiju, Japan, Sugawara i dr. (1974). Kao što i samo ime govori, površina tla je simulirana nizom tankova posloženih jedan povrh drugih, kako je to prikazano i na slici 19.

Pretpostavlja se da sva kiša i snjeg uđu u najgornji tank (WMO, 1994). Svaki tank ima preljev na dnu i jedan ili dva sa strane na istoj udaljenosti iznad dna. Voda koja izlazi kroz dno prethodnog tanka ulazi u slijedeći niži tank, osim kod najnižeg tanka u kojem slučaju to istjecanje predstavlja gubitak u sustavu. Voda koja napušta tank preko bočnog preljeva postaje ulaz u sustav kanala. Broj tankova, veličina, kao i pozicija preljeva parametri su modela.



Slika 19: Shematski prikaz jednostavnijeg i složenijeg tank modela

Ova konfiguracija može predstavljati proces kiša-otjecanje u vlažnim područjima. U suhim i polusuhim područjima potrebna je znatno složenija konfiguracija. Svaka serija prezentira dio sliva.

Svaka se serija smatra reprezentantom dijela površine sliva s tim da se najniža odnosi na područje najbliže kanalima. Kako hidrološki uvjeti čine sezonsku progresiju od vlažnog prema suhom, područje najbliže kanalima može ostati relativno vlažno nakon što ono područje koje je najdalje pomaknuto postane prilično suho. Tvorcima modela ne tvrde da je prikaz elemenata rezervoara u cijelosti realističan, već da je konfiguracija tankova zapravo aproksimacija koja je donekle slična metodi konačnih elemenata. Nadalje, matematička formulacija koja definira tok vode kroz tankove nalikuju klasičnim hidrološkim konceptima.

Model prepoznaje dva tipa vode – ograničena voda (vlažnost tla) i slobodna voda koja se može drenirati i naniže i horizontalno. Zalihe slobodne vode ujedno osiguravaju nadopunu vlažnosti tla kapilarnom akcijom. Model izračunava evapotranspiracijske gubitke iz sliva na temelju mjerenih ili procijenjenih dnevnih isparavanja prema raspoloživosti vode u rezervoaru i prema hijerarhiji prioriteta različitih elemenata rezervoara. Temeljni numerički proračun tanka uključuje korištenje funkcije definirane izrazom:

$$dx/dt = \alpha x$$

gdje je x sadržaj tanka, a t vrijeme. Istjecanje u konačnoj jedinici vremena Δt je stoga $(1 - e^{-\alpha \Delta t})x$. Količina $(1 - e^{-\alpha \Delta t})$ se izračunava za svaki izljev temeljem vrijednosti α i određenog vremenskog intervala.

Izračun pojedinog vremenskog intervala provodi se prema sljedećem redu:

- a) Za najgornji tank
 - i) ekstrakcija evapotranspiracije
 - ii) prijelaz slobodne vode u vlažnost tla
 - iii) dodavanje kiše i otopljenog snijega i
 - iv) izračun i ekstrakcija unosa u kanalski sustav (bočni preljev) i perkolacije (otjecanje) iz sadržaja slobodne vode.
- b) Za niži tank:
 - i) ekstrakcija evapotranspiracije, ovisno o hijerarhiji prioriteta
 - ii) prijelaz slobodne vode u vlažnost tla
 - iii) dodatak vode perkolacije iz tanka neposredno iznad i
 - iv) izračun i ekstrakcija unosa u kanalski sustav (bočni preljev) i perkolacije (otjecanje) iz sadržaja slobodne vode.

Ulaz u kanalski sustav je izlaz iz faze izračuna vlažnosti modela. Izlazni hidrogram dobiven je iz ulaza kanalskog sustava trasiranjem pretpostavljajući da je:

$$Q = KS^2$$

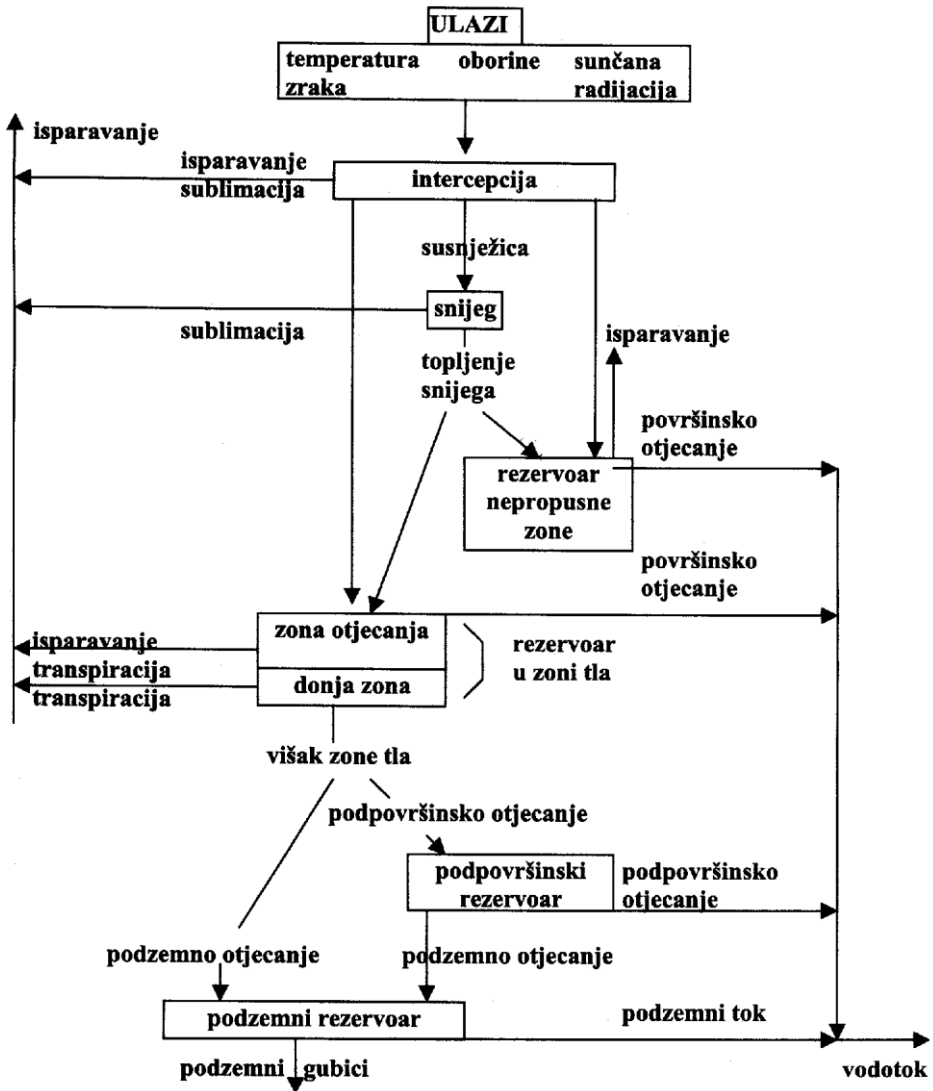
gdje je Q istjecanje, S je zapremina kanala, a konstanta K je dodatni parametar modela. Granica elementa (jedinice) zadana je sa dQ/dS da bi se spriječilo otjecanje iz rezervoara krajnjeg kanala. Jedna interesantna karakteristika ovog tank-modela je da mijenjanjem vrijednosti modelskih parametara može se zapravo mijenjati struktura modela.

3.7. Modelski sustav oborine-otjecanje – PRMS

Modelski sustav oborine-otjecanje (PRMS) kojeg su razvili Leavesley i dr., 1983. godine, je model razvijen da bi se procijenio utjecaj različitih kombinacija oborina, klime i korištenja zemljišta na odaziv sliva (Singh, 1994). Prikaz funkcioniranja modela dan je na slici 20. Odaziv sliva na normalne i ekstremne kiše i snježni pokrivač može biti simuliran za procjenu promjena odnosa vodne bilance, režima tečenja, maksimalnih protoka i volumena, odnosa tlo-voda, pronosa nanosa i obnavljanja podzemnih voda. Optimizacija parametara i mogućnosti osjetljivih analiza, osigurani su da se usklade modelski parametri i da se procijeni njihov pojedinačni i zajednički utjecaj na modelski izlaz (rezultat).

Napravljena pojačanja i programi za podršku spojeni su sa PRMS tako da dobije modeliranje sliva i korištenje podataka takvo da osigura mogućnost nizanja hidroloških simulacija i analizu podataka. Korištenje podataka i analiza komponenti osigurani su preko programa ANNIE (Lumb i dr., 1990.). ANNIE je interaktivan program koji prihvaća i reformatira podatke iz različitih izvora za modelsku aplikaciju. ANNIE također uključuje i brojne statističke, grafičke i funkcije obrade podataka za analizu mjerenih i simulacijom dobivenih podataka.

Vrijeme odaziva sliva u PRMS može biti simulirano kao dnevni i kratki oborinski događaj. Dnevna simulacija hidroloških komponenti uzima u proračun prosječne dnevne ili ukupne vrijednosti. Protok vodotoka proračunava se kao srednji dnevni protok. Kod korištenja kratkog oborinskog događaja simuliraju se odabrane hidrološke komponente u vremenskim intervalima kraćim od 1 dan, a minimalni je vremenski interval 1 minuta. Kod toga se načina proračunava poplavni hidrogram i pronos nanosa za određenu veliku kišu.



Slika 20: Prikaz funkcioniranja modela

Mogućnosti parametarske raspodjele osigurani su podjelom sliva na dijelove, koristeći karakteristike kao što su pad, oblik, uzdignuća, vrsta vegetacije, vrsta tla i raspodjeka oborina. Za svaku se jedinicu pretpostavlja da je homogena i predstavlja karakteristike dijela sliva ranije navedene. Vodni i energetski bilans proračunavaju se dnevno za svaku jedinicu.

3.8. MIKE 11 — općeniti paket za modeliranje tečenja

MIKE 11 je opsežan jednodimenzionalni modelski sustav za simuliranje tečenja, pronos nanosa i kvalitete vode na ušćima, rijekama, sustavima za navodnjavanje i drugim vodnim pojavama (Singh, 1994). To je četvta generacija modelskog paketa dizajniranog za mikrokompjutere sa DOS ili UNIX operativnim sustavom i omogućava korisniku interaktivni izbornik i grafičku potporu s logičnim i sistematskim izgledom i slijedom izbornika. Paket je izašao na tržište 1989, a nakon četiri godine broj instaliranih paketa širom svijeta premašio je brojku 300. Osnovna osobina modelskog sustava je njegova modulska struktura. Ona omogućuje primjenu pojedinog modula kad se za to pokaže potreba.

MIKE 11 je dizajniran za primjenu u hidrologiji, hidrodinamici, kvaliteti vode te za pronos nanosa. Dodatni moduli se mogu nadograditi na osnovni model. Modularna struktura MIKE 11 prikazana je na slici 21.

Sustav baze podataka može se neovisno koristiti kao opći hidrološki i kao topografski, a može biti povezan sa dodatnim modulima, kao što je npr. HIS (Hydrological Information System) koji osigurava korelaciju vremenskih serija i statističku analizu ili GIS (Geographical Information System). Vezu između MIKE 11 i Arc/Info sustava omogućava poboljšana grafička prezentacija primjerice:

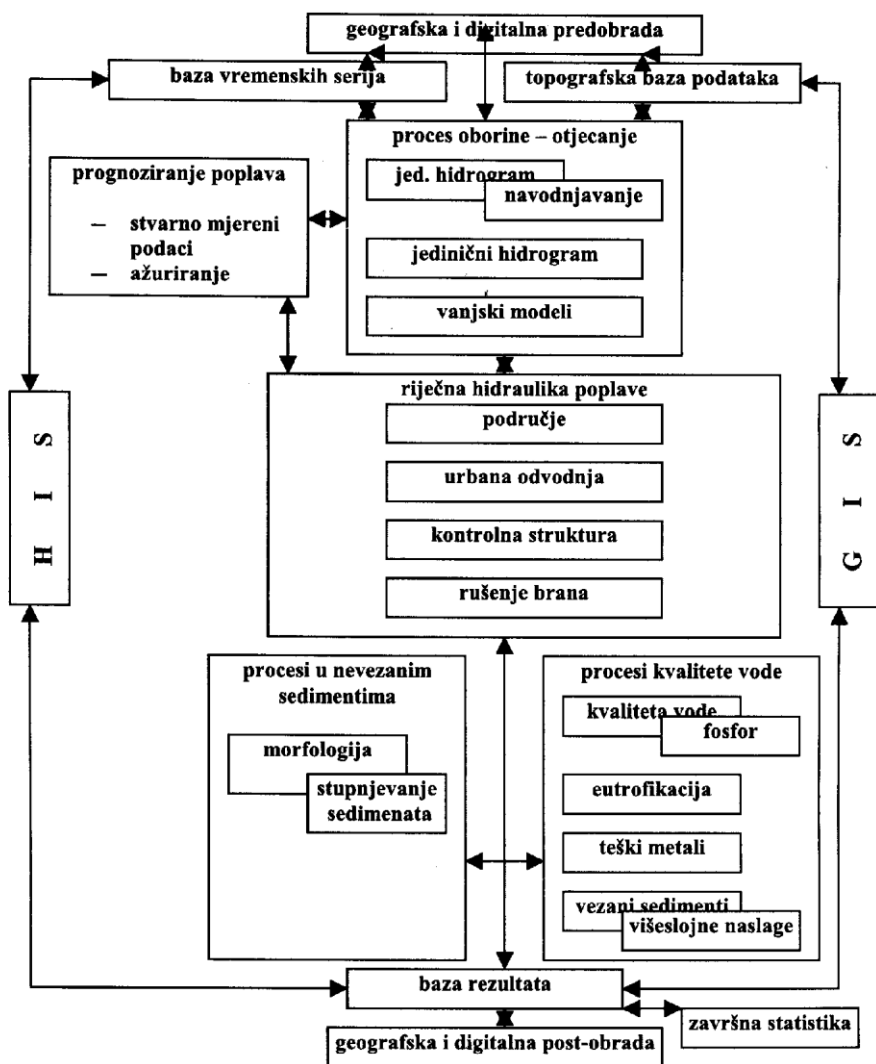
- topografije, poprečnih presjeka rijeka i plavljenih površina
- dvo ili trodimenzionalni prikaz zemljišta i vodnih površina
- prikaz inundacija

Proces oborina-otjecanje može se modelirati ili pomoću NAM modula ili Modula jediničnog hidrograma. Oba hidrološka modula mogu biti neovisna o MIKE 11 ili simulirano otjecanje sa sliva može biti korišteno izravno kao bočni dotok u riječnu ili kanalsku simulacijsku mrežu. NAM model sadrži velik broj povezanih matematičkih izraza koji opisuju u jednostavnoj kvantitativnoj formi ponašanje zemne faze hidrološkog ciklusa. Model je determiniran kao deterministički, konceptualni i glomazan tip modela s umjerenim zahtjevima za ulaznim podacima. Model simulira proces oborina-otjecanje na poljoprivrednim slivovima. Kontinuirano proračunava sadržaj zemljišne vlage u četiri različita ali međusobno isprepletana spremnika; snježni, površinski, plitka podpovršinska zona i zona podzemne vode, koji predstavljaju fizikalne elemente sliva. Modelska površina se može podijeliti u veći broj podslivova. Budući se svaki podsliv tretira kao jedna jedinica parametri i varijable predstavljaju prosječne vrijednosti cijelog podsliva.

Ulazni podaci u model su oborine, potencijalna evapotranspiracija i temperatura (kod simulacija snježnih oborina). Primarni rezultati su prosječne dnevne vrijednosti protoka i informacija o drugim elementima zemne faze hidrološkog ciklusa kao što je vremenska varijacija sadržaja zemne vlage i podzemni dotok. Ako su otjecanje i podzemni dotok bilo kojeg sliva pod utjecajem sustava za navodnjavanje mogu se pripremiti zasebni proračuni za svako područje navodnjavanja definirano unutar sliva.

Modul jediničnog hidrograma se koristi za simulaciju otjecanja pri pojedinačnom kišnom događaju. Model računa slučajeve kišnih događaja ovisno o gubicima na infiltraciju:

- početni stalni gubitak praćen konstantnom vrijednošću gubitaka
- vrijednost gubitaka proporcionalna intenzitetu oborina (isto kao kod racionalne metode)
- vrijednost gubitaka određena pomoću SCS metode



Slika 21: Modularna struktura modela MIKE 11

Za određivanje efektivnih oborina koristi se jedinični hidrogram ili metode vrijeme-površina koje uključuju SCS bezdimenzionalne i SCS trokutne sintetičke jedinične hidrograme, ili pak hidrograme koje definira korisnik.

Ulazni podaci zahtijevaju uključivanje podataka za opis sliva i vremensku seriju oborina.

Kompatibilan modelu MIKE 11 je i model MIKE SHE (Abbot i dr., 1986). Taj model s prostornom diskretizacijom sliva u obliku mreže kvadrata funkcionira po principu da svaka prostorna jedinica u slivu, tj. kvadrat, razmatra zasebno s opisom procesa otjecanja i erozije pomoću neovisne funkcije, a otjecanje sa svake jedinice usmjereno je prema susjednom kvadratu s obzirom na nagib. Pri tome svakako treba

voditi računa da se veličina kvadratne jedinice uzme dovoljno mala tako da su mjero-davni hidrološki parametri uniformni za promatranu jedinicu, što rezultira potrebom prikupljanja prilično velikoga broja podataka o slivu. Primjena ovog modela zahtijeva dobro poznavanje hidroloških procesa od strane korisnika, a njegovu uporabu prate vrlo visoki troškovi modeliranja.

4. LITERATURA

1. Abbott, M.B. i dr. (1986) An introduction to the European Hydrological System– Systeme Hydrologique Europeen, »SHE«, 2: Structure of a physically–based distributed modeling system. *Jurnal of Hydrology*, 87, 61–77
2. Bonacci, O., (1984) Meteorološke i hidrološke podloge, Priručnik za hidrotehničke melioracije I kolo – Odvodnjavanje, Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske: 39–130, Zagreb
3. Bonacci, O., (1987) *Karst Hydrology*, Springer–Verlag, Berlin
4. Bonacci, O., Roglić, S. (1981) Određivanje velikih voda na neizučenicim slivovima genetskom metodom. *Vodoprivreda* 13/74:441–586.
5. Bonacci, O., Roglić, S. (1985) Hidrološki proračun osnovne kanalske mreže za površinsku odvodnju. Priručnik za hidrotehničke melioracije I kolo – Odvodnjavanje, Knjiga 3. Osnovna mreža, Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske: 63–88, Zagreb.
6. Brezak, S. (2000) Hidrološki modeli – danas i sutra. *Hrvatske vode* 8/32:245–251.
7. Burnash, R.J.C. (1973) *A Generalized Streamflow Simulation System: Conceptual Modeling for Digital Computers*. National Weather Service and State of California Department of Water Resources, March.
8. Cesarec, K. (1987) Hidrološka analiza velikih vodnih valova na području Gorskog kotara – Fužine – Potok pod grobljem i Crni Lug – Vela voda. Dokumentacija Hidrometeorološkog zavoda iz Zagreba, Zagreb.
9. Cesarec, K. (1979) Režim Dunava i njegove reperkusije na probleme odvodnje područja Vuke, Magistarski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
10. Chow, W.T., (1964) *Handbook of Applied Hydrology*, New York
11. Clark, C.O. (1945) Storage and the unit–hydrograph, *Amer. Soc. Civ. Engin.* 110, 1416–1446
12. Commons, C.G. (1942) Flood hydrographs, *Civ. Engin.* 12. 571–572
13. Harlin, J. (1991) Development of a process oriented calibration Scheme for the HBV hydrological model. *Nordic Hydrology*, 22, 13–36
14. Jevđević, V. (1977) Vjerovatnoća i statistika u hidrologiji. Građevinski fakultet Sarajevo.309
15. Jovanović, S. (1974) Parametarska hidrologija, Jugoslavensko društvo za hidrologiju, Beograd
16. Leavesley, G.H. i dr. (1983) Precipitation – runoff modeling system, User manual. U.S. Geol. Surv. Water Resour. Invest. Rep. 83–4238
17. Linsley, R.K., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H., (1972) *Hydrology for Engineers*, McGraw–Hill, New York
18. Lumb, A.M. i dr. (1990) User's manual for ANNIE, a computer program for interactive hydrologic analyses and data management, U.S. Geol. Surv. Water Resour. Invest. Rep. 89–4080, 236
19. Nash, J.E. (1958) Determining runoff from rainfall, *Inst. Civ. Engin. (Ireland) Proc.* 10, 163–184

20. Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models, Part I. A discussion of principles. *Jurnal of Hydrology*, 10, 282–290
21. Ožanić, N., Mičetić, G., Santin, G. (1996) Hidrološki izvještaj o pojavi velikih voda na području Velog Lošinja dana 30.10.1995.godine, Fond stručne dokumentacije Hrvatskih voda VGO Rijeka, Rijeka.
22. Ožanić, N., Rubinić, J. (1994) Studija mogućnosti korištenja voda potoka Križ za vodoopskrbu, Fond stručne dokumentacije Hrvatskih voda VGO Rijeka, Rijeka.
23. Petković, T., Prohaska, S., (1990.) Metode za proračun velikih voda II dio – Proračun velikih voda na hidrološki nedovoljno izučenim i neizučenim slivovima, Građevinski kalendar –1990., Građevinski institut Zagreb, Beograd.
24. Prohaska, S., Petković, T., (1989.) Metode za proračun velikih voda I dio – Proračun velikih voda na hidrološki izučenim slivovima, Građevinski kalendar –1989., Građevinski institut Zagreb, Beograd.
25. Reitz, W., Kreps, H. (1943) Naherungsverfahren zur Berechnung des erforderlichen Stauraumes für Zwecke des Hochwasserschutzes, *Deutsche Wasserwirtschaft*, Vol. 38, Heft 1, 15–17
26. Sherman, L.K. (1932) Streamflow from rainfall by the unitgraph method, *Eng. News Record*, Vol. 108.
27. Singh, V.P. (1994) Computer models of watershed hydrology, Water Resours Publication, P.O.Box 260026, Highlands Ranch, Colorado 80126–0026, U.S.A.
28. Snyder, F.F. (1938) Synthetic unit graphs, *Amer. Geophys. Union Trans.*, 19 (1), 447–54
29. Srebrenović, D. (1960) Zapremina vodnog vala velikih voda s malih slivnih površina, *Vodoprivreda Jugoslavije III/10*, Organ savezne komisije za vodoprivredu, Beograd, 3–18
30. Srebrenović, D. (1970) Problemi velikih voda. Tehnička knjiga, Zagreb, 271–316
31. Srebrenović, D. (1986) Primijenjena hidrologija. Tehnička knjiga, Zagreb, 509
32. Sugawara, M. i dr. (1974) Tank model and its application to Bird Creek, Wollombi Brook, Bikin River, Kitsu River, Sanaga River and Nam Mune. Research note of the National Research Center for Disaster Prevention, No. 11. 1–64
33. U.S. Soil Conservation Service (1964) *Hydrology*, Section LV, SCS Natl. Engin. Handbook, Washington D.C.
34. Zelenhasić, E., Ruski, M. (1991) Inženjerska hidrologija. Naučna knjiga, Beograd, 562
35. Žugaj, R., (2000.) Hidrologija, Rudarsko–geološko naftni fakultet Zagreb, Zagreb
36. Williams, H.M. (1945) Discussion, *Military airfields: Design of drainage facilities*, by G.A. Hathaway. *Amer. Soc. Civ. Engin. Trans.* 110. 820–826
37. Wilson, E.M. (1974) *Engineering Hydrology*, The MacMillan Press Ltd., London, 232
38. WMO (1994) *Guide to Hydrological practices*. WMO–No.168 – Fifth edition.

8

BILANCIRANJE AKUMULACIJA ZA NAVODNJAVANJE

mr.sc. Josip Rubinić, dipl.ing.grad.
»Hrvatske vode« VGO primorsko-istarskih slivova, Rijeka

1. UVOD	
2. Opće značajke i hidrološki aspekti pri planiranju ostvarenja akumulacija	241
3. Osnovne metode dimenzioniranja potrebnog volumena akumulacija za osiguranje zaliha voda za zadovoljavanje sezonskih potreba za vodom	243
4. Metodologija proračuna volumena akumulacija korištenjem generiranih vremenskih serija o dotocima	246
5. Generiranje sintetičkih vremenskih serija dotoka u akumulaciju na primjeru akumulacije boljunčica	249
5.1. Referentna povijesna serija srednjih mjesečnih dotoka	249
5.2. Generiranje sintetičkih vremenskih serija dotoka u akumulaciju Boljunčica	251
6. Analiza osiguranja vodnih zaliha na primjeru akumulacije Boljunčica	259
6.1. Uvod u problematiku analize vodnih zaliha u akumulaciji simulacijskim modeliranjem	259
6.2. Modelske analize na primjeru akumulacije Boljunčica	260
7. Hidrološka praćenja vodne bilance akumulacije tijekom eksploatacije	266
8. ZAKLJUČCI	266
LITERATURA	267

1. UVOD

Hidrotehnički objekti služe za mijenjanje prostornog i vremenskog rasporeda voda. Među tim su objektima najznačajnije akumulacije kao ključni objekti za regulaciju vodnog režima (izravnanje prirodnog režima otjecanja i aktivno upravljanje vodnim režimom u slivu), a u funkciji postizanja nekoga gospodarskog cilja. Ti ciljevi mogu biti jednonamjenski – zaštita od poplava, osiguranje vodnih zaliha za vodoopskrbu, navodnjavanje, energetiku, kontrolu nanosa, održavanje razina vode u zaobalju, ambijentalo-rekreativne svrhe, osiguranje mogućnosti plovidbe ili pak npr. poboljšanje ekološkog stanja vodotoka – kakvoće malih voda u nizvodnom dijelu toka. Češći je slučaj da su to višenamjenski ciljevi, pa stoga imamo i višenamjenske akumulacije. Važno je naglasiti da ti ciljevi ponekad mogu biti i suprotstavljeni, jer se korištenjem

vode za jednu namjenu smanjuje mogućnost korištenja za neku drugu. Zadovoljavanje planiranih ciljeva moguće je izvršiti jednom akumulacijom ili pak sustavom od više akumulacija. Povećanim iscrpljivanjem prirodnih vodnih resursa, te sve većim problemima s zadovoljavanjem potreba za vodom, naglašena je potreba za izgradnjom akumulacija, u kontekstu primjerenog integralnog gospodarenja vodnim resursima u slivu.

Suvremena se tržišno orijentirana poljoprivredna proizvodnja ne može zamisliti bez osiguranja odgovarajućih sustava za navodnjavanje, a oni se pak, zbog nepovoljne prostorno-vremenske raspodjele voda u našem podneblju, uglavnom ne mogu realizirati bez izgradnje akumulacija. Akumulacije su ključni objekti sustava za navodnjavanje, te je njihova učinkovitost u najvećoj mjeri neposredno uvjetovana dobrim odabirom potrebne veličine akumulacije. Naravno, prilikom planiranja izgradnje akumulacija potrebno je voditi računa o njihovim višenamjenskim funkcijama, kao i utjecajima koje izgradnja takvih objekata izaziva po okoliš. Unatoč spomenute važnosti akumulacija, problematika planiranja i dimenzioniranja akumulacija u domaćoj stručno-znanstvenoj literaturi nije u dovoljnoj mjeri obrađivana. Moguće je i to dijelom uzrok da je i od relativno malog broja izgrađenih akumulacija u Hrvatskoj koje su trebale osiguravati vodu za navodnjavanje, značajan udio onih koje u praksi imaju problema sa odgovarajućim osiguranjem tako planirane funkcije. S druge strane, u svijetu je sve prisutnija praksa izgradnje akumulacija za različite namjene, različitih veličina, među kojima po brojnosti prednjače upravo akumulacije izgrađene u svrhu osiguranja vode za navodnjavanje.

Namjena ovoga rada je da se analizira problematika hidrološkog bilanciranja voda u akumulacijama za potrebe navodnjavanja, kao jedna od osnovnih segmenta planiranja izgradnje novih akumulacija. Naime, u cilju optimalnog dimenzioniranja veličine akumulacijskog prostora nužno je analizirati komponente vodne bilance akumulacije i njihov odnos s mogućim volumenom akumulacije, raspodjelu korištenja te razdiobu vode između različitih korisnika. Zbog sve većih te često i međusobno suprotstavljenih zahtjeva višenamjenskog korištenja vodnih resursa, javlja se potreba za složenijim metodama gospodarenja akumulacijskim vodnim prostorima. Metodama sustavnog inženjerstva nastoji se na temelju značajki ulaza u sustav i značajki sustava (akumulacije) dobiti što povoljniji izlaz – višenamjensko zadovoljavanje potreba sa što manje negativnih popratnih pojava. U slučaju razmatranja akumulacija koje služe za osiguranje vode za navodnjavanje, najčešće je to slučaj zadovoljavanja još dviju osnovnih namjena – zaštitu od štetnog djelovanja velikih voda, kao i poboljšanja ekoloških prilika u vodotoku tijekom trajanja sušnih razdoblja.

U radu su prodiskutirani pojedini elementi vodne bilance akumulacije, pri čemu je dan naglasak na analizi dotoka i gubitaka vode iz akumulacije kao najvažnijim i najčešće najneizvjesnijim elementima vodne bilance akumulacija. Ukazano je na neke uvriježene metodološke pristupe pri rješavanju pojedinih osnovnih problema iz domene bilanciranja akumulacija, a detaljnije je analizirana metoda dimenzioniranja akumulacija na osnovi generiranih vremenskih serija dotoka koja do sada nije našla primjenu u našoj praksi. Naime, zbog stohastičkog karaktera serija podataka o izmjerenim (realiziranim) dotocima u akumulaciju, dimenzioniranje akumulacija samo na osnovu zabilježenih serija podataka unosi nesigurnost u pogledu predvidivog ponašanja akumulacije tijekom eksploatacijskog razdoblja. Volumen akumulacije određen na osnovu samo jednog analiziranog uzroka – zabilježene serije podataka o dotocima, reflektira osobine samo jedne realizacije od niza mogućih hidroloških procesa te je stoga veličinu akumulacije nužno proanalizirati i na osnovu detaljnije statističke analize podataka o mogućim

dotocima, tj. uz pomoć analize generiranih vremenskih serija podataka o dotocima u akumulaciju.

Uz problem određivanja dotoka, za planiranje i upravljanje akumulacijama posebno je važan i problem hidrološkog sagledavanja gubitaka na poniranje iz zaplavnog prostora akumulacije. To je naročito izraženo kod akumulacija u kršu te je stoga u predmetnom radu analiziran primjer jedne takve akumulacije – postojeće akumulacije Boljunčica u Istri. Radi se o akumulaciji formiranoj izgradnjom brane Letaj 1970.g., koja zbog izraženih gubitaka iz zaplavnog prostora nije nikad ostvarila svoju drugu početno planiranu višenamjensku funkciju – da pored funkcije zaštite od velikih voda služi i za osiguranje vode za navodnjavanje. U tijeku su istražni radovi na utvrđivanju mogućnosti otješnjenja akumulacije, a kojih je sastavni dio i analizirana hidrološka komponenta (Rubinić, 2001).

Dani rad tematski je vezan uz prethodna dva rada – rad »Dimenzioniranje akumulacija primjenom generiranih protoka« autora Rubinić, J. i Margeta, J., publiciran u »Građevinaru 53(2001)1«, te magistarskom radu »Hidrološke osnove planiranja i upravljanja akumulacijama – primjer akumulacije Boljunčica u Istri«, obranjenog na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Splitu (Rubinić, 2001), na osnovu kojega je većim dijelom priređen i predmetni rad. Ovime koristim priliku da izrazim zahvalnost mentoru prof.dr. O. Bonacciju te prof. J. Margeti na ukazanoj pomoći i korisnim savjetima koje su mi uputili pri njihovoj izradi.

2. Opće značajke i hidrološki aspekti pri planiranju ostvarenja akumulacija

Postoji više različitih grupa podjela akumulacija, od kojih su s hidrološkog stanovišta izdvojene dvije:

- podjela na površinske i podzemne akumulacije, te akumulacije građene kao njihova kombinacija
- podjela prema trajanju izravnavanja – dnevno, tjedno, sezonsko, godišnje i višegodišnje.

Akumulacije koje se grade za potrebe osiguranja vode za navodnjavanje najčešće su površinske akumulacije sa godišnjim izravnavanjem. U iznimnim slučajevima, prilikom planiranja velikih objekata, akumulacije za navodnjavanje se grade i kao objekti za višegodišnje izravnavanje vodne bilance. Isto tako, iznimno se akumulacije za potrebe osiguranja vode za navodnjavanje grade i kao objekti za dnevno ili pak višednevno izravnavanje – pretežno u situacijama kada se voda osigurava crpljenjem iz podzemlja ili uzimanjem iz nekog sustava (hidroenergetskog, vodoopskrbnog). Tada je obično u svrhu optimalnog dnevnog korištenja vode za navodnjavanje potrebno vremenski uskladiti dnevni režim osiguranja vode, ili pak u takvoj akumulaciji izvršiti dnevnu pripremu prikupljene vode da bi se ona mogla koristiti za poljoprivredu (npr. izlaganjem insolaciji zagrijati crpljene podzemne vode koje obično imaju prenisku temperaturu za neposredno navodnjavanje).

Najvažniji konstruktivni dio svake akumulacije je brana (pregrada) kojom se stvara visinska razlika razina vode ispred i iza brane. Kod podzemnih akumulacija tu funkciju u većini slučajeva čini podzemna zavjesa. Podizanje brane (izgradnja akumulacije) vezano je uz ekonomske analize – opravdavaju se dobiti od korištenja voda koje omogućava akumulacija, ili pak smanjenjem šteta koji nastaju uslijed nedostataka vode ili njezinog

štetnog djelovanja – prije svega poplavlivanja. U tom se kontekstu vrši optimalizacija odabira visine brane – veličine akumulacije. Pri tome se analiziraju međudnosi spomenutih dobiti vezanih uz izgradnju akumulacija određene veličine, pripadajući troškovi vezani uz njezinu izgradnju i eksploataciju, kao i prisutna ograničenja. Naime, s jedne je strane poželjno da akumulacija zadovoljava planirane potrebe za vodom sa što manjim volumenom kako bi troškovi izgradnje bili što manji, a s druge strane poželjno je da je akumulacija čim veća kako bi minimalizirala prelijevanja iz akumulacije, te time u što većoj mjeri vršila regulacija njezine vodne bilance.

S obzirom na stohastički karakter dotoka kao i potreba za vodom, pri takvim je optimalizacijskim analizama ključna uloga hidrologije. Osim standardnih optimalizacijskih tehnika (linearno programiranje, dinamičko programiranje, metoda Lagranževih multiplikatora), pri takvim se analizama primjenjuju i metode višekriterijalne optimalizacije. Pri provedbi hidroloških analiza vezanih uz stanje voda u akumulaciji mora se uvijek voditi računa da se radi o vodi – mediju koji je karakteriziran fluktuacijama tijekom vremena, te stoga raspoložive vodne količine kojima računamo uključuju kondicionalne pretpostavke izražene vjerojatnostima njihova osiguranja. Za razliku od ranije korištenih tradicionalnih metoda dimenzioniranja potrebne veličine akumulacije, u ovom je radu detaljnije analizirana i preporučena metoda dimenzioniranja veličine akumulacije generiranim vremenskim serijama dotoka. Ta metoda omogućava da se stupanj osiguranja potreba za vodom ocjenjuje u kontekstu vjerojatnosti pojave takvog osiguranja. Prikazani pristup rješavanju problema gospodarenja akumulacijama biti će sve značajniji jer se isporuka vode iz akumulacija u tržišnoj ekonomiji (a time i u tržišno orijentiranoj poljoprivredi) ugovara, a svako odstupanje od ugovorenih količina za određeno vremensko razdoblje se kažnjava. Za ovakav oblik rada akumulacija odlučujuće je odrediti rizik s kojim se ulazi u ugovaranje (Rubinić, Margeta, 2001). Takve se informacije mogu dobiti u nastavku prikazanim postupkom analize rada akumulacija.

Kao primjer načina korištenja te metode, spomenutim je pristupom, koristeći generirane vremenske serije dotoka u akumulaciju, provedena analiza potrebnog vododrživog prostora akumulacije Boljunčica u Istri za potrebe osiguranja navodnjavanja. Brana akumulacije Boljunčica izgrađena je 1970.g. na području kontakta vodonepropusnog fliša i krške podloge. Upravo zbog zanemarivanja primjerene hidrološke analize elemenata vodne bilance pri planiranju, akumulacija nije nikad mogla biti iskorištena i za osiguranje vodnih zaliha za navodnjavanje. Naime, zbog izrazito velikih gubitaka iz zaplavnog prostora, nije moguće sezonsko izravnane dotoka vode u akumulaciji. Stoga se akumulacijski prostor za sada koristi samo za redukciju i privremeno retencioniranje velikih vodnih valova, a u tijeku su istražni radovi sa svrhom ocjene mogućnosti njezina otješnjenja. S obzirom da se radi o već izgrađenom objektu i raspoloživom zaplavnom prostoru, njegovim bi se eventualnim otješnjenjem, ili otješnjenjem jednog njegovog dijela, stvorile pretpostavke za planirano višenamjensko korištenje.

Da bi se izbjegla neugodna iznenađenja po izgradnji akumulacija u smislu utvrđivanja postojanja bitnih razlika u procijenjenim i po izgradnji akumulacije utvrđenim hidrološkim značajkama, a kako je bilo u slučaju analiziranog primjera akumulacije Boljunčica, nužno je prethodno osiguranje primjerenih podloga. Naime, postupak odabira položaja i veličine akumulacije u sebi uključuje niz prethodnih istražnih radova, među kojima su i hidrološka. Za realizaciju tih aktivnosti nužno je dulje vremensko razdoblje tijekom kojega se provode hidrološka praćenja potrebna kako za dimenzioniranje akumulacija, tako i za procjenu njihova utjecaja na okoliš.

Osnovna hidrološka praćenja uključuju praćenje bilance protoka na vodotoku na kojem se namjerava formirati akumulaciju, dinamiku kolebanja razina podzemnih voda, praćenja režima pronosa nanosa i temperaturnog režima voda, kao i praćenje za te namjene najvažnijih meteoroloških parametara (oborine, isparavanja sa slobodne vodene površine, temperature, vjetra, relativne vlažnosti zraka). Spomenuta se hidrološka praćenja ne smiju ograničiti samo na položaj potencijalnog pregradnog profila, već je potrebno uspostaviti takav sustav hidroloških opažanja koji daje podlogu za ocjenu stanja hidroloških prilika u cjelokupnom slivu, kao i uzduž toka utjecajne dionice analiziranog vodotoka.

Ukoliko hidrološka praćenja nisu organizirana na način da uzduž vodotoka imamo više hidroloških postaja (na potencijalnom pregradnom profilu, na profilima lokacija budućih utoka u akumulaciju glavnog vodotoka i najznačajnijih pritoka (ako ih ima), nužno je barem provoditi serije simultanih vodomjerenja na tim i drugim karakterističnim profilima pri određenim hidrološkim stanjima. Tim se prethodnim radovima (konkretno vodomjerenjima i interpretacijom njihovih rezultata) mogu hidrološkim putem detektirati zone mogućih gubitaka vode iz akumulacije. Pri provedbi hidroloških mjerenja za potrebe izgradnje akumulacija, nužno ih je uskladiti s ostalim hidrološkim praćenjima na širem slivnom ili regionalnom prostoru, kako bi se praćeni hidrološki parametri neposredno vezani uz planiranu akumulaciju mogli sagledati i interpretirati u kontekstu širih regionalnih sagledavanja i trendova kretanja vrijednosti pojedinih hidroloških parametara. Naime, kao što je istaknuto u radu Bonaccija (1969), sintetički niz hidroloških vrijednosti nije točniji od niza mjerenih vrijednosti. Kvaliteta dopunske informacije koju on nosi isključivo je funkcija mjerenog niza, statističke analize i modela kojim je formiran.

3. Osnovne metode dimenzioniranja potrebnog volumena akumulacija za osiguranje zaliha voda za zadovoljavanje sezonskih potreba za vodom

Veličina stupnja zadovoljavanja potreba za vodom koja se osigurava iz akumulacija ovisi o mnogo utjecajnih elemenata vodne bilance akumulacije. Na slici 1 dan je shematski prikaz prikaz osnovnih elemenata vodne bilance jedne tipične akumulacije u kršu kod koje postoji razvijena komunikacija s okolnim krškim vodonosnikom, tj. prisutan je i problem gubitaka. S oznakom »V« označen je volumen vode u akumulaciji, »O« oborine pale na površinu akumulacije, »E« isparavanja s površine akumulacije, »D« dotoci u akumulaciju (uz dotok s površinskog sliva dotok u akumulaciju može potjecati i iz krškog podzemlja), »P« prelijevanje vode iz akumulacije, »BM« ispuštanje tzv. biološkog minimuma iz akumulacije, »ZN« osiguravanje zahtjeva za vodom iz akumulacije za različite namjene korištenja, a »G« gubici na poniranje. Na slici 1 je dan i shematizirani prikaz kolebanja – promjena volumena vode u akumulaciji »dV« i s time povezana promjena razine vode u podzemlju »dH«.

Osnovni zadatak pri bilanciranju vode u akumulacijama je određivanje stupnja zadovoljavanja potreba za vodom razmatrane akumulacije, a koju karakterizira određena veličina zaplavnog prostora, njezini dotoci, gubici i potrebe za vodom. Pri određivanju tog stupnja nužno je nekim od simulacijskih modela analizirati dinamiku kolebanja razine vode za odabranu veličinu akumulacije u ovisnosti o dotocima, istjecanjima i gubicima vode. Primarni zadatak koji se takvim simulacijskim modeliranjem rješava je određivanje razine vode u akumulaciji u ovisnosti o hidrološkim prilikama (dotocima),

potrebama za vodom, gubicima te značajkama akumulacijskog prostora i brane. Sa usvojenom mjesečnom diskretizacijom koja je najčešće korištena pri standardnim zadacima dimenzioniranja akumulacija na površinskim vodotocima, opći oblik bilančne jednadžbe promjene stanja u akumulaciji glasi:

$$\Sigma D - \Sigma I = \pm \Delta V \quad (1)$$

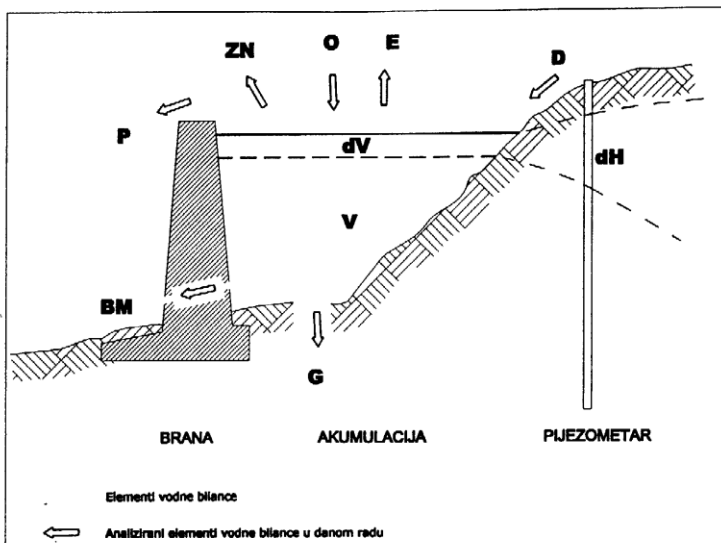
Tu su: ΣD — suma mjesečnih dotoka vode u akumulaciju (m^3)
 ΣI — suma mjesečnih izlaza vode iz akumulaciju (m^3)
 ΔV — mjesečna promjena volumena vode u akumulaciji (m^3)

Unošenjem elemenata vodne bilance za razmatrani slučaj, proširena bilančna jednadžba akumulacije koja primarno služi za navodnjavanje, na razini mjesečnih (volumenski izraženih) podataka glasi:

$$(D_{sl} + D_{podz} + D_{ak} + D_{prih}) - (Z_{nav} + G_i + G_{pon} + I_{pr} + I_{ek}) = \pm \Delta V \quad (2)$$

Tu su:

D_{sl} dotok sa sliva (dotok površinskim vodotocima)
 D_{podz} dotok podzemnim putem (ili nekontrolirani dotok s posrednog sliva)
 D_{ak} dotok kao posljedica palih oborina neposredno na površinu akumulacije
 D_{prih} kontrolirani dotok – prihranjivanje akumulacije
 Z_{nav} zahtjevi za navodnjavanjem iz akumulacije
 G_i gubici vode iz akumulacije na isparavanje s površine akumulacije
 G_{pon} gubici vode na poniranje – infiltraciju vode iz zaplavnog prostora
 I_{pr} istekle količine vode iz akumulacije putem preljeva
 I_{ek} ispuštanja iz akumulacije za osnovi ekoloških zahtjeva – biološki min.
 ΔV mjesečna promjena volumena vode u akumulaciji



Slika 1: Shematski prikaz osnovnih elemenata vodne bilance akumulacija u kršu

Dio podataka s lijeve strane jednadžbe (2) unose se u simulacijski matematički model kao ulazni podaci koji su neovisni o stanju razine vode u akumulaciji (D_{st} , D_{podz} , D_{prih} , Z_{nav} , I_{ek}) i imaju sezonski karakter, a dio se tih podataka proračunava (D_{ak} , G_s , G_{pon} , I_{pr}), na osnovi zadanih ulaznih elemenata vodne bilance (palih oborina na površinu akumulacije, isparavanja s površine akumulacije, značajki funkcije gubitaka vode na poniranje, značajki funkcije preljeva), značajki akumulacijskog prostora (krivulje površine i volumena) te stanja razine vode u akumulaciji u analiziranom mjesecu. Obzirom na međuovisnost stanja razine vode i utjecajnih elemenata vodne bilance, pri matematičkom modeliranju rada akumulacije razinu vode u akumulaciji nije moguće eksplicitno riješiti u prvom koraku. Stoga je potreban iterativan postupak kojime se vrši minimalizacija odstupanja modelom prognozirane promjene stanja (razine vode) u akumulaciji u odnosu na stanje u prethodnom koraku te tako postupno približenje danom rješenju. Za to su u svijetu razvijeni različiti matematički programski paketi, kojima se simulira rad akumulacije uz poznate ulazne parametre – pojedine elemente vodne bilance akumulacije, kao i zadane rubne uvjete.

Zbog naglašene vodnogospodarske važnosti akumulacija, razvijen je niz metodoloških postupaka za određivanje pojedinih elemenata vodne bilance akumulacija, a na osnovu njih i dimenzioniranja veličine akumulacije. No, unatoč tome, u praksi su poznati brojni primjeri da izgrađene akumulacije, zbog neodgovarajućeg sagledavanja problematike pojedinih elemenata vodne bilance prilikom njihova projektiranja, ne zadovoljavaju na odgovarajući način planiranu namjenu. Stoga je očito da je, uz osiguranje primjerenih hidroloških praćenja, nužno i dalje unapređivati metodološke postupke vezane uz problematiku dimenzioniranja akumulacija, te ih u praksi verificirati.

Prema Simonoviću (1989), korištenje volumena akumulacije predstavlja adaptaciju slučajnog procesa prema potrebama stanovništva za vodom. S obzirom na slučajan karakter dotoka, neizbježni periodi nedostatka vode pokrivaju se akumuliranom vodom tijekom vodnih perioda. Povijesno gledajući, metode rješavanja problema kapaciteta – volumena vodospremišta mogu se podijeliti u tri, u nastavku dane grupe (Fontane, Margeta, 1988). Valja napomenuti da se i danas, ovisno o karakteru zadataka koji se rješavaju, u praksi koriste sve tri grupe, kao i njihove kombinacije. Radi se o slijedećim osnovnim grupama metoda:

Empirijske (klasične) metode — za koje je karakteristično da se zasnivaju na postojećoj seriji podataka za koju se smatra da će se ponoviti i u budućnosti. Na osnovu tih se podataka traži kritičan period. Uglavnom se radi o grafičkim metodama među kojima je najstarija Ripply-eva, datirana još za 1883. g., a koja se zasniva na krivulji masa. Pri tom se postupku pretpostavlja da je akumulacija na početku puna, te da u budućnosti, što se tiče ulaznih podataka, situacija neće biti gora od postojeće. S obzirom da se u analizi ne uzimaju u obzir gubici na isparavanje, proračunati volumen mora se povećati za njihovu veličinu. Uz spomenutu metodu koja se koristi u klasičnom ili poboljšanom obliku, u istu grupu spadaju i metode Varleta (1923), Kritsky i Menkela (1935), a u toj grupi metoda iz domaće literature treba spomenuti i rad M. Žugaja (1981).

Analitičke metode — za koje je karakteristično da koristeći teoriju vjerojatnosti u postupku proračuna razvijaju jednadžbe koje povezuju dotok u akumulaciju sa ispuštanjem. Postupak se svodi na neposredno određivanje statističkih karakteristika režima akumulacije na osnovi funkcije raspodjele vjerojatnosti prirodnog dotoka, koristeći pri tome jednadžbe vodne bilance i zakonitosti potrošnje. Postupke ovoga tipa među prvima je razvio Moran (1954) sa svojom teorijom volumena akumulacija. U tu grupu spadaju i metode koje su razvili Hardison (1965), McMahan (1976), kao i mnogi drugi postupci zasnovani na teoriji konačnih

rezervoara, metodi rangova i drugima.

Metode zasnovane na generiranim podacima — razlikuju se od prethodno spomenutih u načinu definiranja ulaznih podataka. Naime, za te je metode karakteristično da se proračun veličine volumena akumulacije vrši na osnovu generiranih hidroloških serija. Prvu ideju o korištenju metode slučajnog uzorka (metoda Monte Karlo) prilikom dimenzioniranja akumulacijskog prostora dali su Svanidze i Reznikovskij (1963). Pri formiranju sintetičkih serija ulaznih podataka o dotocima nastoji se tehnikama generiranja podataka dobiti hidrološke serije sa približno istim statističkim karakteristikama kao i zabilježeni povijesni uzorak. Na osnovu tih serija definiraju se realizacije procesa regulacije rada akumulacije za tražene uvjete njezina korištenja, te je tako moguća stohastička obrada značajki provedene regulacije.

U nastavku je detaljnije razmotren postupak vezan uz spomenutu treću grupu metoda, tj. postupak proračuna volumena akumulacije na osnovu generiranih vremenskih serija podataka o dotocima u akumulaciju. Taj je postupak u ovom radu dodatno osložen uvođenjem pretpostavki o različitom stupnju postojanja gubitaka vode na poniranje iz zaplavnog prostora akumulacije. Unatoč pogodnosti koje pruža prikazani postupak korištenja sintetičkih – generiranih vremenskih serija o dotocima u akumulaciju u smislu osiguranja pri takvim proračunima prikladnih podloga za statističke analize stupnja zadovoljavanja potreba za vodom, on tek treba pronaći mjesto u domaćoj hidrološkoj praksi. Posebno se to odnosi na proračun – dimenzioniranje potrebnog volumena akumulacija za osiguranje vode za navodnjavanje zahtijevanog stupnja osiguranja.

4. Metodologija proračuna volumena akumulacija korištenjem generiranih vremenskih serija o dotocima

Pri određivanju veličine akumulacije, volumen akumulacije ima karakter slučajno promjenjive veličine, tj. rezultat je određenih stohastičkih procesa vezanih uz dotok vode u akumulaciju. Takav karakter ima i korištenje vode iz akumulacije, koje uz determinističku komponentu ima također i slučajnu komponentu. Vremenska neujednačenost raspoloživosti vode u njezinom prirodnom okruženju i zahtjeva za vodom dovodi do potrebe izgradnje akumulacija kao strukturalnih objekata za regulaciju vodnoga režima. U tom kontekstu, prema Hrelji (1995), suštinska zadaća planiranja je da se nađe odnos između volumena akumulacije, zahtijevane isporuke i osiguranja vode (vremenske i količinske) s kojom se ta isporuka mora garantirati. Zbog stohastičkog karaktera hidroloških serija, realizirane (osmotrene) serije dotoka unose visoke stupnjeve rizika i neizvjesnosti u ponašanje i mogućnosti akumulacije tijekom eksploatacijskog razdoblja. Volumen akumulacije određen na osnovi jednog osmotrenog uzorka (serije) dotoka u akumulaciju reflektira osobine samo jedne realizacije hidrološkog procesa. Na taj način, volumen akumulacije se promatra kao deterministička veličina, usprkos činjenici da je njezino ponašanje rezultat određenih stohastičkih procesa, što volumenu akumulacije daje osobine slučajne promjenjive.

Takvim metodološkim pristupom kojim se analizira samo jedna povijesna vremenska serija, rezultat proračuna potrebne veličine akumulacije je proračunati volumen akumulacije i režim upravljanja koji odgovaraju hidrološkim prilikama koje su se dogodile u prošlosti. No, to nije garancija da će se istovjetni događaji, tj. događaji s

istovjetnom vjerojatnošću, realizirati i u budućnosti. Stoga je primjerenije da se veličina akumulacijskog prostora, umjesto samo na osnovu povijesno zabilježene serije podataka o protokama, odredi i na osnovu odgovarajuće stohastičke interpretacije analiza niza sintetičkih – generiranih hidroloških serija o dotocima u akumulaciju.

Da bi se taj problem riješio, koriste se metode koje potreban volumen akumulacije određuju na način da se na temelju poznatog povijesnog niza podataka o dotocima u akumulaciju generira veliki broj sintetičkih vremenskih serija. Za te se različite ulazne serije podataka simulira rad akumulacija te provodi odgovarajuća stohastička interpretacija tako dobivenih rezultata. Po provedenim simulacijama rada akumulacije, različite generirane serije dotoka rezultirati će različitim stupnjem zadovoljavanja potreba za vodom za razmatrani volumen akumulacije. Time je osigurano da i stupanj zadovoljavanja potreba za vodom, kao i serije ulaznih podataka o dotocima, ima obilježja stohastičke veličine. Radi zornijeg objašnjenja, provedeni postupak generiranja, simulacije i statističkog zaključivanja o značajkama volumena akumulacije, predočen je i u vidu shematskog prikaza na slici 2.

Treba napomenuti da je u odnosu na klasične zadatke toga tipa kod kojih se modelira rad akumulacije s unaprijed zadanim i istovrsnim determinističkim svojstvima, u danom radu, kod kojega se razmatra problem funkcioniranja akumulacije u kršu, i funkcija gubitaka vode iz akumulacije analizirana kao promjenjiva veličina.

Iz prikaza je vidljivo da se matematički postupak primijenjenog modela rada akumulacije sastoji iz tri dijela:

- matematički model za generiranje sintetičkih vremenskih serija na osnovu značajki povijesne serije dotoka u akumulaciju (tzv. vanjski estimator)
- matematički model za simulaciju rada akumulacije
- matematički blok u kojem se vrši stohastička analiza rezultata provedenih simulacija

U **vanjskom** se **estimatoru**, na osnovu podataka o stohastičkim značajkama zabilježene povijesne hidrološke serije dotoka, posebnim matematičkim modelom vrši i predviđanje drugih realizacija serija dotoka u akumulaciju, a koje mogu imati i nepovoljnije realizacije događaja (veći broj uzastopno sušnih godina) nego li je to zabilježeno kod raspoložive povijesne serije. Prilikom generiranja serija ulaznih podataka o srednjim mjesečnim protokama u praksi se koristi više metodoloških postupaka – autoregresijskih modela, poznatih i kao lanci Markova (Jovanović, 1970). Modeli koji se koriste za generiranje godišnjih vrijednosti ne mogu biti upotrijebljeni i za mjesečne iz razloga što se različiti mjeseci tijekom godine ne podudaraju sa srednjom godišnjom protokom i njezinom varijancom, a također ni korelacija između pojedinih uzastopnih mjesečnih protoka nije slična za sve mjesece.

Jedan od najčešće korištenih matematičkih modela, koji je kao vanjski estimator hidrološkog ulaza upotrijebljen i u danom radu, je Thomas-Fiering-ov model (prema Margeta, 1992). Razvijen je upravo za generiranje podataka s izraženim sezonskim varijacijama, a pripada grupi AR(1) modela (autoregresijskim modelom prvoga reda). Ideja tog modela je da se prilikom generiranja koristi dvanaest jednadžbi (po jedna za svaki mjesec), koje su uzastopno regresijski povezane.

Opći oblik takve regresijske jednadžbe je:

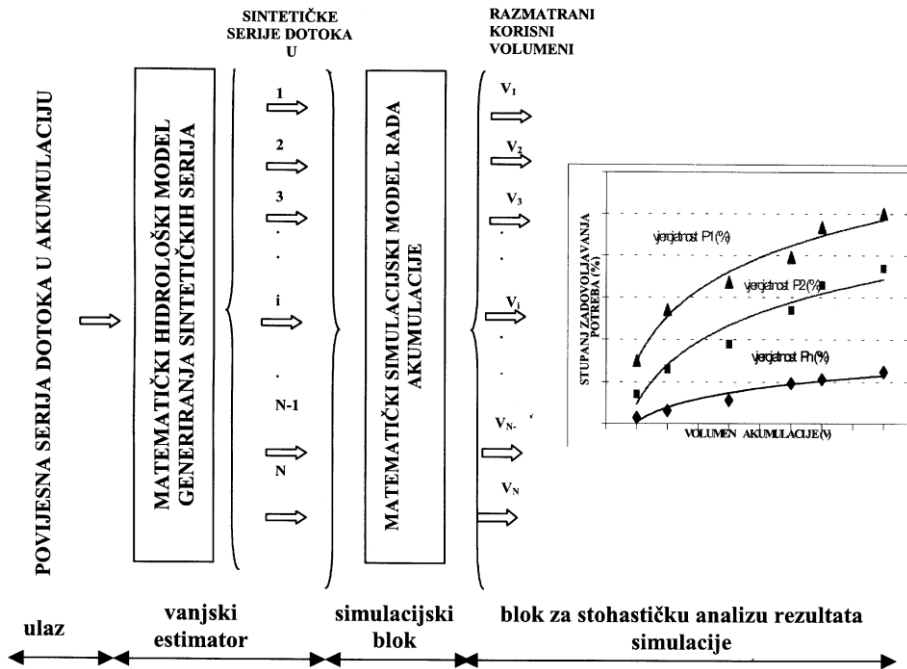
$$x_{j+1} = u_{j+1} + b_j (x_j - u_j) + t_j \cdot s_{j+1} (1 - r_j^2)^{0.5} \quad (3)$$

gdje je:

$$b_j = r_j \cdot (s_{j+1} / s_j) \quad (4)$$

- X_{i+1}, X_i — generirani protoci za (i+1) i i-ti mjesec
 u_{j+1}, u_j — srednji protoci (j+1) i j-tog mjeseca
 S_{j+1}, S_j — standardna devijacija protoke u (j+1) i j-tom mjesecu
 r_j — koeficijent korelacije j-tog i (j+1) mjeseca
 t — slučajni broj normalne raspodjele ($s_r=0$, varijanca=1),
 određuje se uz pomoć generatora ili tablica slučajnih brojeva

Matematički model za simulaciju rada akumulacije služi da se, na razini mjesečne diskretizacije procesa, simulira promjena stanja u akumulaciji u ovisnosti o zadanom dotoku, potrebama za vodom i gubicima iz akumulacije. Kao jedan od ulaza koristi povijesnu seriju i sintetičke – na osnovi vanjskog estimatora generirane vremenske serije mjesečnih podataka o dotocima u akumulaciju. U radu je korišten simulacijski model SYMAC, posebno razvijen za tu namjenu (Rubinić i dr., 2000). Radi se o determinističkom modelu temeljenom na bilancnoj jednadžbi promjene stanja u akumulaciji, ali koji kao jedan od ulaza koristi vremensku seriju podataka o dotocima u akumulaciju koji imaju stohastički karakter. Uz ostale podatke koji karakteriziraju dimenzije akumulacijskog prostora, a koje su za analizirane procese simulacije bili jednoznačne veličine, u danom su radu provedene simulacijske analize s različitim značajkama funkcije gubitaka na poniranje iz zaplavnog prostora. To je provedeno iz razloga da bi se analizirao utjecaj veličine gubitaka na poniranje na stupanj zadovoljavanja potreba za vodom iz akumulacije za različite veličine njenog volumena. Konačan rezultat provedenog modeliranja su proračunate razine vode na kraju svakog mjeseca, kao i izdvajanje te kvantifikacija broja pojava situacija tijekom analiziranog razdoblja kod kojih nije bilo moguće osigurati potrebne količine vode za navodnjavanje.



Slika 2: Shematski prikaz definiranja volumena akumulacije analizom generiranih vremenskih serija dotoka u akumulaciju

U matematičkom bloku za izradu stohastičkih analiza rezultata provedenih simulacija vrši se njihova daljnja obrada i interpretacija. Naime, različite ulazne serije podataka generiranih dotoka rezultiraju i različitim vrijednostima stupnja zadovoljavanja potreba za vodom pri pojedinim analiziranim maksimalnim volumenima vode u akumulaciji. Tako i stupanj zadovoljavanja potreba za vodom ima obilježje stohastičke veličine. Stoga se, na osnovu tako određenih rezultirajućih vrijednosti stupnja zadovoljavanja potreba za vodom svake serije i za sve analizirane vrijednosti veličina volumena akumulacija, provodi i analiza vjerojatnosti stupnja zadovoljavanja potreba za vodom. Tom se prilikom uglavnom koristi nekoliko i inače najčešće korištenih teorijskih funkcija razdiobe (Gauss, Galton, Pearson 3, Log Pearson 3 i Gumbel), a odabir najprikladnije funkcije razdiobe vrši se na osnovu provedenog testiranja dobrote njihova prilagođavanja empirijskim vjerojatnostima (npr. test Smirnov-Kolmogorova, HI-kvadrat testa).

5. Generiranje sintetičkih vremenskih serija dotoka u akumulaciju na primjeru akumulacije boljunčica

5.1. Referentna povijesna serija srednjih mjesečnih dotoka

U prethodnim poglavljima dane metodološke postavke o dimenzioniranju akumulacija na osnovi generiranih vremenskih serija o dotocima u akumulaciju obrazložene su u nastavku na primjeru akumulacije Boljunčica. Osnovna podloga za generiranje sintetičkih vremenskih serija srednjih mjesečnih dotoka u tu akumulaciju je povijesna serija takvih dotoka. U radu je kao referentna 20-godišnja povijesna serija dotoka u akumulaciju odabrana serija hidroloških podataka iz razdoblja hidr. god. 1973./74.—1992./93. Provedene regionalne analize modularnih vrijednosti protoka za više potencijalnih pregradnih profila akumulacija u Istri pokazale su dobro uklapanje spomenutih rezultata srednjih mjesečnih dotoka u akumulaciju Boljunčica u odnosu na ostale raspoložive podatke analiziranog 20-godišnjeg razdoblja (Rubinić, 1996).

U tablici 1 dan je prikaz tih podataka, kao i osnovnih statističkih pokazatelja nizova srednjih mjesečnih i srednjih godišnjih protoka iz spomenute referentne povijesne serije.

U tablici 2 dan je prikaz osnovnih hidroloških pokazatelja povijesnog niza srednjih mjesečnih i godišnjih dotoka u akumulaciju (hidr. god. 1972./73.—1992./93.) – karakterističnih osmotrenih hidroloških veličina, kao i njihovih proračunatih vjerojatnosti.

Iz rezultata je vidljivo da je za analizirani 20-godišnji referentni niz srednji godišnji dotok u akumulaciju Boljunčica iznosio $0.468 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a da su prosječni mjesečni dotoci u tom razdoblju varirali između $0.061 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (srpanj) i $0.993 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (listopad). Pojave vrlo malih voda, pa i cjelomjesečnih presušivanja, imaju karakter pojava učestalijih povratnih perioda.

Tablica 1: *Prikaz srednjih mjesečnih i godišnjih dotoka u akumulaciju Boljunčica – povijesni niz (1972./73. – 1992./93.)*

H.god.	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Sr.god
1973/74	0,283	0,287	0,459	0,437	0,613	0,606	0,259	0,264	0,287	0,120	0,041	0,282	0,326
1974/75	1,928	0,585	0,349	0,121	0,102	1,028	0,854	0,167	0,103	0,072	0,097	0,497	0,495
1975/76	0,300	0,475	0,855	0,052	0,922	0,601	0,523	0,097	0,091	0,035	0,522	1,581	0,499
1976/77	0,629	1,092	1,471	1,653	1,242	0,166	0,649	0,096	0,070	0,048	0,331	0,104	0,626
1977/78	0,060	0,289	0,628	1,184	1,226	0,701	0,640	0,294	0,344	0,170	0,209	0,151	0,487
1978/79	1,589	0,371	1,000	1,559	1,614	0,895	0,754	0,105	0,059	0,016	0,032	1,012	0,746
1979/80	0,965	1,087	0,786	0,646	0,315	0,625	0,320	0,169	0,373	0,044	0,008	0,021	0,448
1980/81	1,431	1,727	0,991	0,319	0,371	0,871	0,136	0,320	0,155	0,121	0,123	1,308	0,657
1981/82	2,945	0,158	1,656	0,548	0,065	0,554	0,167	0,234	0,445	0,028	0,069	0,108	0,590
1982/83	1,781	1,082	1,170	0,224	1,158	0,630	0,584	0,158	0,080	0,008	0,000	0,002	0,570
1983/84	0,000	0,003	0,613	0,882	1,158	0,397	0,479	0,110	0,264	0,028	0,071	1,496	0,452
1984/85	2,256	1,068	0,804	0,727	0,718	1,066	0,484	0,285	0,053	0,016	0,002	0,002	0,625
1985/86	0,000	0,062	0,158	0,259	1,111	0,881	0,980	0,099	0,147	0,051	0,066	0,059	0,316
1986/87	0,021	0,147	0,466	0,588	1,263	0,116	0,362	0,180	0,053	0,008	0,016	0,021	0,263
1987/88	0,092	0,834	0,457	0,629	0,907	0,597	0,588	0,161	0,828	0,078	0,015	0,013	0,428
1988/89	0,057	0,008	0,079	0,006	0,039	0,457	0,256	0,086	0,297	0,266	0,297	0,705	0,213
1989/90	0,042	0,531	0,245	0,033	0,245	0,081	0,819	0,102	0,247	0,031	0,028	0,442	0,234
1990/91	2,177	1,308	0,892	0,519	0,451	0,083	0,122	0,550	0,526	0,028	0,009	0,009	0,558
1991/92	0,046	1,422	0,233	0,042	0,251	0,777	0,501	0,127	0,072	0,051	0,005	0,011	0,293
1992/93	3,250	1,131	1,118	0,035	0,021	0,058	0,417	0,083	0,022	0,006	0,008	0,325	0,544
SR	0,993	0,683	0,722	0,523	0,690	0,560	0,495	0,184	0,226	0,061	0,097	0,407	0,468
SDEV	1,084	0,525	0,433	0,490	0,502	0,322	0,245	0,115	0,204	0,065	0,139	0,529	0,152
CV	1,092	0,769	0,600	0,936	0,728	0,575	0,495	0,622	0,903	1,057	1,426	1,300	0,325
MIN	0,000	0,003	0,079	0,006	0,021	0,058	0,122	0,083	0,022	0,006	0,000	0,002	0,213
MAX	3,250	1,727	1,656	1,653	1,614	1,066	0,980	0,550	0,828	0,266	0,522	1,581	0,746

Tablica 2: *Prikaz osnovnih hidroloških pokazatelja povijesnog niza srednjih mjesečnih i godišnjih dotoka u akumulaciju Boljunčica (hidr. god. 1972./73. – 1992./93.)*

OSMOTRENE VRIJEDNOSTI HIDROLOŠKIH PARAMETARA (m^3s^{-1})						
	Q sr.god.	Max. Qsr.mj.	Min Q _{sr.1-mj}	Min Q _{sr.2-mj}	Min Q _{sr.3-mj}	
SR	0,468	1,578	0,025	0,041	0,062	
σ	0,152	0,692	0,031	0,046	0,052	
C_v	0,33	0,44	1,22	1,13	0,85	
MAX	0,746	3,25	0,121	0,175	0,177	
MIN	0,213	0,613	0	0,001	0,003	
PRORAČUNATE VRIJEDNOSTI ZA KARAKTERISTIČNE POVRTNE PERIODE (m^3s^{-1})						
Povj. Per.	najmanje	najveće	najveće	najmanje	najmanje	najmanje
2 god	0,461	0,461	1,458	0,012	0,022	0,043
5 god	0,331	0,605	2,096	0,008	0,012	0,016
10 god	0,272	0,682	2,521	0,001	0,003	0,009
20 god	0,228	0,746	2,928	0	0,002	0,005
50 god	0,184	0,816	3,453	0	0,001	0,003
100 god	0,158	0,862	3,847	0	0	0,002

5.2. Generiranje sintetičkih vremenskih serija dotoka u akumulaciju Boljunčica

Osnovni ulazni podatak u simulacijske modele kojima se određuje potreban volumen akumulacijskog prostora su serije srednjih mjesečnih dotoka u akumulaciju, a koje su stohastičkog karaktera. Kao što je već istaknuto, određivanje veličine potrebnog akumulacijskog prostora obzirom na iskazane potrebe samo na osnovi jedne, povijesno zabilježene serije podataka o dotocima, unosi određen, neiskazan stupanj rizika – neizvjesnosti jer se volumen akumulacijskog prostora tretira kao deterministička veličina. Time se zanemaruje da je ponašanje, a time i volumen akumulacije, rezultat određenih prirodnih stohastičkih procesa. Stoga je jedan od pristupa dimenzioniranju potrebne veličine akumulacijskog prostora, a koji je u danom radu i detaljnije analiziran na primjeru akumulacije Boljunčice, taj da se volumen određuje na osnovu analize niza sintetičkih, generiranih hidroloških serija podataka o dotocima u akumulaciju, kao i odgovarajuće stohastičke interpretacije rezultata matematičkog modeliranja takvim serijama. Analizirane generirane serije dotoka rezultiraju različitim veličinama potrebnog volumena akumulacije za zadovoljavanje različitog stupnja osiguranja potreba za vodom, čime je moguća analiza funkcije vjerojatnosti raspodjele tih volumena. Prilikom generiranja serija ulaznih podataka o srednjim mjesečnim protokama u radu je korišten spomenuti Thomas-Fiering-ov model. Osnovni ulazni parametri tog modela za dani primjer sadržani su u tablici 3.

Tablica 3: Osnovni parametri povijesne serije dotoka u akumulaciju Boljunčicu (hidr.god. 1973./74.—1992./93.) korišteni pri modeliranju Thomas-Fiering-ovim modelom

MJESEC	U_j ($m^3 s^{-1}$)	S_j ($m^3 s^{-1}$)	r_j	b_j
10.	0.993	1.084	0.3783	0.1832
11.	0.683	0.525	0.3118	0.2572
12.	0.772	0.433	0.4254	0.4814
1.	0.523	0.490	0.6735	0.6900
2.	0.690	0.502	0.0889	0.0570
3.	0.560	0.322	0.2623	0.1996
4.	0.495	0.245	0.5347	0.2510
5.	0.184	0.115	0.3724	0.6606
6.	0.226	0.204	0.2610	0.0832
7.	0.061	0.065	0.3920	0.8383
8.	0.097	0.139	0.4957	1.8865
9.	0.407	0.529	0.1411	0.2891

Objašnjenje značenja korištenih oznaka u tablici 3 dano je uz formule 3 i 4 u okviru t. 4 ovog rada. Na osnovu ulaznih parametara iz tablice 3, koristeći prethodno spomenute formule, formirano je dvanaest jednadžbi (za svaki mjesec) koje za dani slučaj imaju oblik:

$$\begin{aligned}
 q_{10} &= 0.993 + 0.1832 (q_9 - 0.407) + 1.0034 \cdot t_i \\
 q_{11} &= 0.683 + 0.2572 (q_{10} - 0.993) + 0.4988 \cdot t_i \\
 q_{12} &= 0.722 + 0.4814 (q_{11} - 0.683) + 0.3919 \cdot t_i \\
 q_1 &= 0.523 + 0.6900 (q_{12} - 0.722) + 0.3622 \cdot t_i \\
 q_2 &= 0.690 + 0.0570 (q_1 - 0.523) + 0.5000 \cdot t_i \\
 q_3 &= 0.560 + 0.1996 (q_2 - 0.690) + 0.3107 \cdot t_i \\
 q_4 &= 0.495 + 0.2510 (q_3 - 0.560) + 0.2070 \cdot t_i \\
 q_5 &= 0.184 + 0.6606 (q_4 - 0.495) + 0.1067 \cdot t_i \\
 q_6 &= 0.226 + 0.0832 (q_5 - 0.184) + 0.1969 \cdot t_i \\
 q_7 &= 0.061 + 0.8383 (q_6 - 0.226) + 0.0598 \cdot t_i \\
 q_8 &= 0.097 + 1.8865 (q_7 - 0.061) + 0.1207 \cdot t_i \\
 q_9 &= 0.407 + 0.2891 (q_8 - 0.097) + 0.5237 \cdot t_i
 \end{aligned}$$

Iz prethodnih jednadžbi vidljivo je da pojedinačne vrijednosti generiranih mjesečnih protoka po analiziranom Thomas-Fiering-ovom modelu ovise o dva promjenjiva elementa – generirane vrijednosti srednje mjesečne protoke u prethodnom mjesecu i slučajne komponente – broja » t_i « koji je u danom slučaju generiran uz pomoć EXEL-ovog generatora slučajnih brojeva. Istim je tabličnim kalkulatorom proveden i potpun proračun – generiranje vremenskih serija.

Generirano je ukupno 30 vremenskih serija, sintetičkih nizova 20-godišnjih dotoka u akumulaciju Boljunčicu. Na osnovu analize cjelovitih statističkih pokazatelja za pojedine generirane serije podataka – SR vrijednosti, Standardnih devijacija, Koeficijenata varijacije te Minimalnih i Maksimalnih vrijednosti, u tablici 4 dani su tablični pregledi rezultirajućih sumarnih vrijednosti. U istoj je tablici dan i prikaz osnovnih statističkih pokazatelja analiziranih svih pojedinačnih vrijednosti generiranih članova sintetičkih nizova srednjih mjesečnih i godišnjih protoka. Vidljivo je da se dobiveni rezultati generiranja vremenskih serija o dotocima u akumulaciju Boljunčica nalaze u okvirima očekivanih vrijednosti, tj. realno mogućih vrijednosti obzirom na regionalne značajke analiziranog područja. Ta se konstatacija odnosi kako na rezultate provedene statističke obrade prosječnih vrijednosti generiranih 30 nizova podataka, tako i na rezultirajuće ekstremne vrijednosti.

Sumarni pregled prosječnih godišnjih vrijednosti za 30 generiranih sintetičkih vremenskih nizova srednjih godišnjih protoka, s prikazom osnovnih statističkih pokazatelja, dan je u tablici 5.

Generirane serije sintetičkih protoka određuju se nekim od u praksi poznatih matematičkih modela, a čiji je zadatak da se na osnovi prikupljenih informacija o stohastičkim značajkama zapažene serije dotoka vrši predviđanje pojave i drugih serija dotoka, s moguće i nepovoljnijim realizacijama dotoka vode u akumulaciju – npr. uslijed pojave niza uzastopno veoma sušnih godina. Pri tome, generirane serije dotoka u akumulaciju moraju po svojim osnovnim stohastičkim značajkama (srednja vrijednost, koeficijenti varijacije i asimetrije), kao i autokorelacijskim značajkama odgovarati polaznom povijesnom uzorku (Hrelja, 1996). Ukoliko one u pogledu rezultirajućih vrijednosti pojedinih parametara statistički značajno odstupaju, nužno je provesti preispitivanje povijesne vremenske serije. Potrebno je utvrditi da li, uz slučajnu komponentu, sadrži i neku determinističku komponentu – trend ili neku periodičnu funkciju, ili pak njihovu međusobnu kombinaciju. U tom slučaju potrebno je određenim stohastičkim postupcima nad članovima te povijesne serije eliminirati utjecaj te determinističke komponente na generiranje sintetičkih serija sa stohastičkim značajkama bitno različitim od polazne povijesne serije (Srebrenović, 1986).

Tablica 4: Sumarni pregledi osnovnih statističkih pokazatelja analiziranih mjesečnih i godišnjih vrijednosti 30 generiranih sintetičkih vremenskih serija

PAR	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	GOD.
SVE POJEDINAČNE VRIJEDNOSTI 30 SINTETIČKIH SERIJA SREDNJIH MJESEČNIH PROTOKA (m^3s^{-1})													
SR	0,963	0,662	0,708	0,532	0,683	0,604	0,491	0,189	0,221	0,075	0,136	0,419	0,472
σ	0,568	0,309	0,273	0,276	0,287	0,528	0,193	0,132	0,115	0,079	0,153	0,301	0,132
Cv	0,590	0,467	0,385	0,520	0,421	0,874	0,394	0,696	0,520	1,053	1,120	0,718	0,280
MIN	0,000	0,000	0,096	0,000	0,165	0,000	0,036	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,127
MAX	2,072	1,393	1,378	1,204	1,198	1,873	0,980	0,549	0,447	0,278	0,567	1,033	0,811
PROSJEČNE PROTOKE 30 SINTETIČKIH SERIJA (m^3s^{-1})													
SR	0,963	0,662	0,708	0,532	0,683	0,604	0,491	0,189	0,221	0,075	0,136	0,419	0,472
σ	0,147	0,061	0,057	0,064	0,058	0,103	0,055	0,034	0,028	0,019	0,037	0,083	0,030
Cv	0,153	0,092	0,081	0,120	0,085	0,170	0,111	0,182	0,129	0,254	0,268	0,197	0,063
MIN	0,715	0,560	0,589	0,406	0,542	0,369	0,328	0,099	0,149	0,021	0,027	0,244	0,397
MAX	1,255	0,756	0,863	0,645	0,806	0,822	0,597	0,259	0,283	0,116	0,200	0,593	0,542
PROSJEČNE STANDARDNE DEVIJACIJE 30 SINTETIČKIH SERIJA (m^3s^{-1})													
SR	0,558	0,309	0,271	0,274	0,287	0,528	0,189	0,129	0,113	0,078	0,150	0,296	0,131
σ	0,075	0,038	0,034	0,033	0,037	0,063	0,028	0,017	0,013	0,012	0,027	0,028	0,018
Cv	0,135	0,122	0,127	0,122	0,130	0,120	0,147	0,128	0,116	0,151	0,181	0,096	0,136
MIN	0,360	0,245	0,197	0,206	0,224	0,430	0,114	0,090	0,072	0,030	0,057	0,238	0,083
MAX	0,686	0,375	0,329	0,365	0,359	0,702	0,229	0,155	0,139	0,101	0,197	0,340	0,165
PROSJEČNI KOEFICIJENTI VARIJACIJE 30 SINTETIČKIH SERIJA													
SR	0,590	0,470	0,385	0,523	0,423	0,895	0,390	0,704	0,521	1,086	1,165	0,730	0,279
σ	0,103	0,068	0,054	0,095	0,071	0,169	0,079	0,150	0,085	0,238	0,298	0,146	0,045
Cv	0,175	0,144	0,141	0,181	0,169	0,189	0,204	0,213	0,163	0,219	0,256	0,200	0,161
MIN	0,360	0,379	0,253	0,360	0,294	0,587	0,208	0,457	0,345	0,705	0,668	0,463	0,161
MAX	0,819	0,652	0,480	0,765	0,562	1,251	0,571	1,158	0,727	1,753	2,091	1,115	0,350
PROSJEČNE MINIMALNE VRIJEDNOSTI PROTOKA 30 SINTETIČKIH SERIJA (m^3s^{-1})													
SR	0,081	0,158	0,244	0,064	0,234	0,002	0,156	0,001	0,046	0,000	0,000	0,007	0,237
σ	0,093	0,088	0,088	0,083	0,055	0,012	0,080	0,004	0,027	0,000	0,000	0,017	0,061
Cv	1,145	0,555	0,359	1,295	0,235	5,259	0,514	4,194	0,576	1,137	0,975	2,581	0,256
MIN	0,000	0,000	0,096	0,000	0,165	0,000	0,036	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,127
MAX	0,304	0,305	0,449	0,310	0,384	0,068	0,363	0,023	0,116	0,000	0,000	0,070	0,332
PROSJEČNE MAKSIMALNE VRIJEDNOSTI PROTOKA 30 SINTETIČKIH SERIJA (m^3s^{-1})													
SR	1,880	1,206	1,214	1,030	1,131	1,555	0,831	0,434	0,404	0,228	0,441	0,907	0,716
σ	0,173	0,113	0,079	0,108	0,048	0,174	0,079	0,059	0,032	0,034	0,080	0,066	0,052
Cv	0,092	0,094	0,065	0,104	0,042	0,112	0,096	0,135	0,079	0,147	0,181	0,073	0,073
MIN	1,302	0,959	1,085	0,869	1,035	1,243	0,624	0,287	0,266	0,108	0,173	0,729	0,636
MAX	2,072	1,393	1,378	1,204	1,198	1,873	0,980	0,549	0,447	0,278	0,567	1,033	0,811

Tablica 5: Sumarni pregled osnovnih statističkih pokazatelja analiziranih prosječnih godišnjih vrijednosti generiranih 30 sintetičkih vremenskih serija

redni broj godine u nizu	SR (m^3s^{-1})	σ (m^3s^{-1})	Cv	MIN (m^3s^{-1})	MAX (m^3s^{-1})
1.	0,505	0,150	0,296	0,236	0,794
2.	0,470	0,150	0,320	0,169	0,750
3.	0,471	0,127	0,270	0,195	0,710
4.	0,459	0,132	0,289	0,198	0,775
5.	0,551	0,119	0,216	0,356	0,777
6.	0,458	0,156	0,340	0,127	0,754
7.	0,423	0,149	0,352	0,203	0,715
8.	0,477	0,117	0,245	0,206	0,762
9.	0,423	0,125	0,296	0,211	0,719
10.	0,499	0,128	0,257	0,264	0,807
11.	0,459	0,129	0,280	0,279	0,733
12.	0,491	0,137	0,280	0,269	0,811
13.	0,455	0,134	0,295	0,198	0,678
14.	0,457	0,118	0,258	0,245	0,676
15.	0,491	0,124	0,254	0,166	0,782
16.	0,501	0,121	0,242	0,232	0,674
17.	0,437	0,110	0,251	0,146	0,644
18.	0,445	0,140	0,315	0,191	0,717
19.	0,464	0,100	0,216	0,301	0,670
20.	0,514	0,132	0,257	0,259	0,794
SR	0,472	0,130	0,276	0,222	0,737
σ	0,032	0,014	0,037	0,055	0,051
Cv	0,067	0,110	0,135	0,248	0,069
MIN	0,423	0,100	0,216	0,127	0,644
MAX	0,551	0,156	0,352	0,356	0,811

Isto tako, uobičajen je i postupak normalizacije povijesne vremenske serije. Naime, većina statističkih tehnika koje se koriste u hidrologiji razvijena je uz pretpostavku da varijable imaju normalnu razdiobu. Ukoliko razdioba hidroloških varijabli ima asimetričnu razdiobu, često je neophodno varijable takve serije transformirati u varijable s normalnom razdiobom (Salas i dr, 1980), kako bi se osigurala osnovna pretpostavka da prilikom generiranja hidroloških serija one zadržavaju osnovne statističke parametre (sredina, koef. varijacije, koef. asimetrije...). Obzirom na dobivene prihvatljive rezultate provedenih testiranja proračunatih parametara povijesne i generiranih serija dotoka u akumulaciju Boljunčica, kao i na karakter danog rada, u analiziranom primjeru nije provedena i transformacija ulaznih podataka povijesne vremenske serije. Isto tako, zbog usvajanja relativno kratkih generiranih vremenskih serija, minoriziran je utjecaj trenda zabilježenog u povijesnoj seriji dotoka. U tablici 6 dana je usporedba osnovnih stohastičkih značajki povijesne serije i generiranih sintetičkih vremenskih serija. Zbog kratke duljine nizova, koeficijenti asimetrije nisu računati.

Podatke o dotocima u akumulaciju Boljunčica interesantno je usporediti s aspekta hoda nizova srednjih godišnjih vrijednosti. U tu su svrhu na slici 3 srednje godišnje protoke povijesnoga niza uspoređene sa prosječnim, te ekstremnim minimalnim i

maksimalnim srednje godišnjim vrijednostima protokama iz proračunatih 30 serija generiranih dotoka.

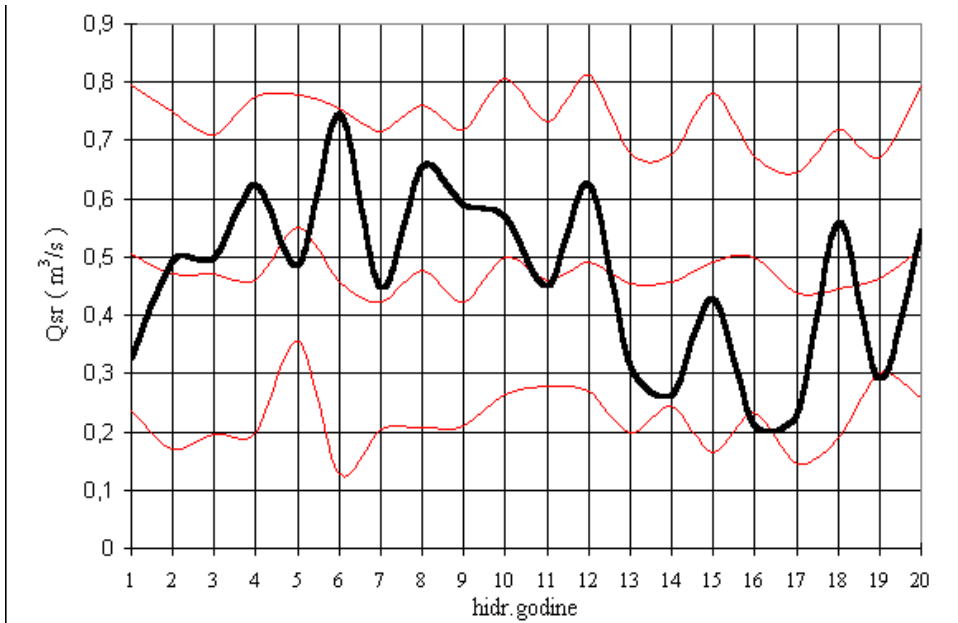
Tablica 6: Usporedni prikaz osnovnih statističkih pokazatelja povijesne serije srednjih mjesečnih i godišnjih dotoka u akumulaciju Boljunčicu (hidr.god. 1973./74.—1992./93.) i odgovarajućih generiranih serija po Thomas-Fiering-ovom modelu

NIZ.	Srednje godišnje protoke					Sr. mjesečne protoke		Ekstremne mj.protoke	
	Sr. (m^3s^{-1})	σ (m^3s^{-1})	C_v	Max. (m^3s^{-1})	Min. (m^3s^{-1})	Max. (m^3s^{-1})	Min. (m^3s^{-1})	Max. (m^3s^{-1})	Min. (m^3s^{-1})
OSN.	0.468	0.152	0.325	0.746	0.213	0.993	0.061	3.250	0
Gen 1	0.516	0.142	0.275	0.794	0.323	1.051	0.081	1.906	0
Gen 2	0.471	0.165	0.350	0.811	0.265	0.837	0.061	1.983	0
Gen 3	0.484	0.146	0.302	0.782	0.287	1.199	0.062	1.918	0
Gen 4	0.542	0.126	0.232	0.779	0.294	1.229	0.088	1.984	0
Gen 5	0.453	0.139	0.307	0.721	0.191	0.812	0.062	1.956	0
Gen 6	0.438	0.130	0.296	0.639	0.169	0.828	0.058	1.799	0
Gen 7	0.485	0.142	0.292	0.719	0.146	1.012	0.100	1.978	0
Gen 8	0.472	0.105	0.223	0.678	0.328	0.780	0.090	1.794	0
Gen 9	0.505	0.087	0.171	0.659	0.320	0.798	0.091	1.485	0
Gen 10	0.470	0.133	0.283	0.715	0.195	1.042	0.061	1.925	0
Gen 11	0.426	0.141	0.330	0.684	0.211	0.817	0.086	1.968	0
Gen 12	0.441	0.145	0.329	0.710	0.166	0.715	0.079	1.356	0
Gen 13	0.483	0.116	0.241	0.670	0.279	1.156	0.079	2.045	0
Gen 14	0.476	0.147	0.309	0.807	0.219	0.893	0.116	1.948	0
Gen 15	0.468	0.124	0.265	0.733	0.274	0.747	0.091	2.072	0
Gen 16	0.508	0.136	0.267	0.681	0.198	1.039	0.092	1.880	0
Gen 17	0.500	0.152	0.303	0.794	0.215	1.255	0.082	2.030	0
Gen 18	0.448	0.155	0.347	0.680	0.198	1.002	0.021	2.006	0
Gen 19	0.454	0.140	0.309	0.721	0.129	0.972	0.068	1.940	0
Gen 20	0.397	0.133	0.335	0.665	0.203	1.007	0.043	1.846	0
Gen 21	0.483	0.136	0.281	0.695	0.279	1.070	0.075	1.971	0
Gen 22	0.481	0.123	0.256	0.775	0.274	1.014	0.061	1.948	0
Gen 23	0.463	0.125	0.269	0.662	0.206	1.076	0.071	1.877	0
Gen 24	0.450	0.136	0.302	0.717	0.280	0.864	0.064	1.672	0
Gen 25	0.458	0.128	0.280	0.722	0.213	0.909	0.104	1.818	0
Gen 26	0.501	0.127	0.253	0.684	0.207	0.986	0.077	1.915	0
Gen 27	0.467	0.117	0.251	0.754	0.314	1.012	0.054	1.810	0
Gen 28	0.511	0.083	0.161	0.644	0.332	1.097	0.080	1.831	0
Gen 29	0.469	0.120	0.257	0.636	0.273	0.876	0.079	1.921	0
Gen 30	0.452	0.138	0.306	0.739	0.127	0.812	0.082	2.007	0

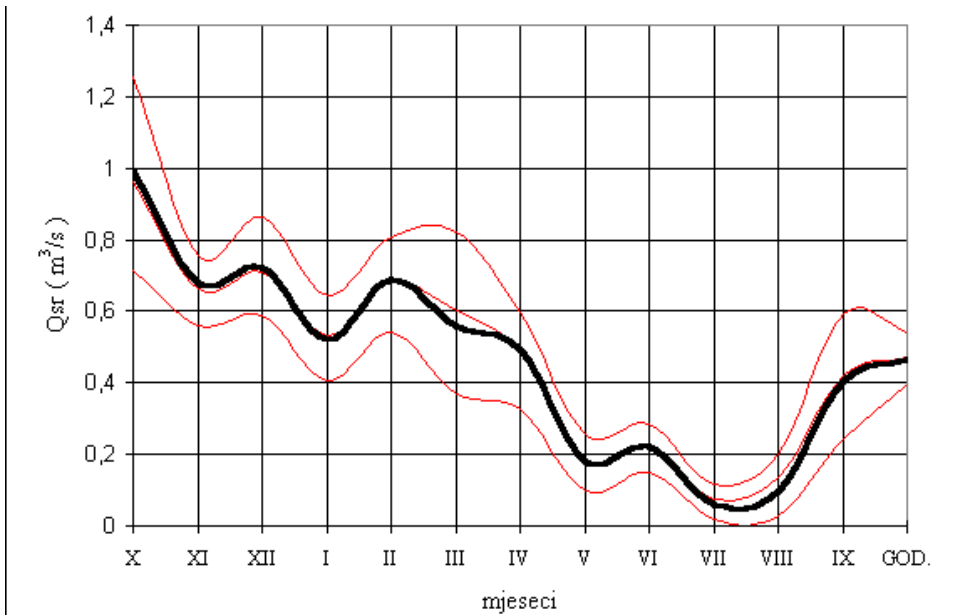
Vidljivo je da se ekstremne sr. mjesečne vrijednosti kreću u granicama, ili njima bliskim vrijednostima kakve su zabilježene tijekom analiziranog povijesnog niza, te da se srednje vrijednosti kreću oko veličine vrijednosti sr. god. protoke cjelokupnog analiziranog razdoblja.

Utvrđeno je relativno dobro podudaranje njihovih statističkih značajki. Tako je npr. srednja godišnja vrijednost osmotrene serije $0.468 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a proračunata srednja god. vrijednost iz svih 30-generiranih vremenskih serija gotovo identična: $0.472 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Malo više se razlikuju standardne devijacije sr. god. protoka – kod povijesne

serije ona iznosi $0.152 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a prosjek dobiven iz srednjih prosječnih vrijednosti generiranih serija iznosi $0.131 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Ukoliko se standardna devijacija računa iz svih pojedinačnih članova analiziranih 30 serija s po 20-godišnjim nizovima podataka,



Slika 3: Usporedba sr. god. protoka povijesnog niza (1973./74.—1992./93.) i karakterističnih vrijednosti sr. godišnjih protoka (SR, MIN, MAX) generiranih nizova za analizirano 20-godišnje razdoblje



Slika 4: *Usporedba sr. mjesečnih protoka povijesnog niza (1973./74. – 1992./93.) i karakterističnih vrijednosti prosječnih mjesečnih vrijednosti (SR, MIN, MAX) generiranih nizova podataka o protokama za analiziran 20-godišnji niz*

dobije se gotovo identična vrijednost kao i kod analizirane povijesne serije, tj. vrijednost $0.132 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Detaljnija usporedba srednjih mjesečnih podataka o protokama generiranih serija na razini unutargodišnje raspodjele dana je i na slici 4.

Provedeno je i testiranje postavke o homogenosti nizova podataka srednjih godišnjih protoka povijesne i generiranih vremenskih serija. Testiranje srednjih vrijednosti nizova provedeno je Studentovim t-testom, a testiranje njihove disperzije Fisherovim F-testom. Koristeći tablice odgovarajućih statistika (Pavlič, 1988), s usvojenim uobičajenim pragom značajnosti od $\alpha = 5\%$, za dani primjer (serije jednako duge – po 20 godina), kriteriji za prihvaćanje postavke o homogenosti analiziranih serija bili su slijedeći:

- za t-test postavka se prihvaća ako je $t - \alpha/2 = -2.024 < t < t \alpha/2 = 2.024$
- za F-test postavka se prihvaća ako je $F < F_{0.95} = 2.82$

Na osnovu proračunatih vrijednosti navedenih statistika ocijenjeno je da u pogledu procjene prosječnih vrijednosti udovoljavaju svi generirani nizovi (vrijednosti proračunatih t statistika kreću se u rasponu između -1.535 i $+1.632$), dok u pogledu procjene disperzije srednjih godišnjih protoka ne udovoljavaju generirani nizovi s rednim brojem IX i XXVIII, jer su njihove proračunate vrijednosti F statistike (3.070 i 3.374) nešto veće od vrijednosti navedenog praga značajnosti od $\alpha = 5\%$ ($F = 2.82$). Kako se radi o vrlo malom prekoračenju vrijednosti navedenog praga, a dobivene se vrijednosti ipak nalaze unutar praga značajnosti od $\alpha = 1\%$ ($F = 4.46$), ocijenjeno je da su i navedene dvije serije zadovoljavajućih statističkih značajki za daljnje analize. Naime, čak i ispitivanje homogenost niza srednjih godišnjih protoka unutar povijesnog 20-godišnjeg niza, zbog izmjene dugotrajnijeg vodnijeg i sušnijeg razdoblja unutar analiziranog razdoblja premašuje vrijednosti pragova statistika za prihvaćanje postavke o homogenosti samog tog niza. Tako je za dani slučaj proračunati $t = 2.38 > \alpha_{0.975} = 2.101$, pa se prema tome ne bi moglo smatrati da prosječne vrijednosti srednjih godišnjih protoka početnih 10 godina ($Q_{SR} = 0.544 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) i preostalih 10 godina ($Q_{SR} = 0.393 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) analiziranog povijesnoga niza pripadaju homogenom nizu. U pogledu značajki disperzije, ti su dijelovi povijesnog niza homogeni (proračunati $F = 1.565 < F_{0.975} = 3.18$).

Također je provedeno i testiranje značajki autokorelacije povijesne i generiranih vremenskih serija srednjih mjesečnih dotoka u akumulaciju. Pri tome je razmatrano 12 autokorelacijskih koraka, tj. analizirano je razdoblje do 12 mjeseci. Ti su rezultati dani u tablici 7. Ona sadrži, po pojedinoj analiziranoj seriji, pregled osnovnih statističkih pokazatelja o proračunatim vrijednostima koeficijenata autokorelacije za navedenih 12 koraka, kao i rezultate provedenog testiranja (Studentovim t-testom i Fisherovim F-testom) homogenosti nizova podataka povijesne serije i podataka generiranih sintetičkih serija u pogledu autokorelacijskih značajki.

Iz prikaza je vidljivo da i kod povijesne i kod generiranih sintetičkih vremenskih serija o dotocima u akumulaciju Boljunčica nisu utvrđena značajna autokorelacijska svojstva. Proračunati koeficijenti autokorelacije (do 12 koraka) za povijesnu su se seriju kretali u rasponu između -0.155 i $+0.372$, dok su se kod generiranih serija kretali u rasponu između -0.365 i $+0.561$. Utvrđen je vrlo mali broj koeficijenata autokorelacije

koji prelaze vrijednost ± 0.5 – kod sedam serija u prvom koraku, a kod tri serije u dvanaestom koraku.

Tablica 7: *Usporedba osnovnih statističkih pokazatelja proračunatih vrijednosti koeficijent autokorelacije povijesne i generiranih sintetičkih serija dotoka u (1–12 koraka) s rezultatima provedenog testiranja homogenosti analiziranih nizova Studentovim t-testom i Fisherovim F-testom*

Seriya	SR	σ	Cv	MIN	MAX	t-test	F-test
Povijesna	0,009	0,181	19,565	-0,155	0,372	—	—
1	-0,002	0,243	-117,929	-0,286	0,477	-0,12	1,78
2	0,020	0,248	12,492	-0,285	0,556	0,12	1,86
3	0,036	0,284	7,919	-0,319	0,497	0,26	2,44
4	0,034	0,275	8,022	-0,235	0,561	0,25	2,30
5	0,025	0,260	10,412	-0,289	0,516	0,17	2,05
6	0,024	0,202	8,561	-0,167	0,482	0,18	1,24
7	0,009	0,252	26,496	-0,271	0,479	0,01	1,92
8	0,001	0,287	204,169	-0,334	0,536	-0,07	2,50
9	0,007	0,285	41,983	-0,291	0,502	-0,02	2,45
10	0,008	0,304	39,142	-0,364	0,508	-0,01	2,80
11	0,013	0,217	16,259	-0,266	0,433	0,05	1,43
12	0,014	0,259	18,340	-0,285	0,529	0,05	2,03
13	-0,008	0,287	-37,952	-0,365	0,485	-0,16	2,50
14	0,057	0,221	3,900	-0,192	0,476	0,55	1,48
15	0,033	0,219	6,546	-0,184	0,548	0,29	1,45
16	-0,010	0,239	-23,822	-0,271	0,498	-0,21	1,74
17	0,019	0,263	13,633	-0,253	0,499	0,11	2,09
18	0,025	0,240	9,438	-0,225	0,462	0,18	1,74
19	0,041	0,234	5,746	-0,260	0,454	0,36	1,66
20	0,005	0,286	52,480	-0,324	0,534	-0,03	2,48
21	0,051	0,214	4,187	-0,161	0,466	0,50	1,39
22	0,046	0,252	5,476	-0,200	0,477	0,40	1,93
23	0,045	0,242	5,322	-0,222	0,477	0,40	1,77
24	0,013	0,285	22,753	-0,326	0,551	0,03	2,46
25	0,003	0,227	70,112	-0,273	0,473	-0,07	1,56
26	0,016	0,248	15,141	-0,242	0,448	0,08	1,87
27	0,020	0,268	13,576	-0,273	0,500	0,11	2,18
28	0,006	0,280	44,829	-0,268	0,491	-0,03	2,38
29	0,001	0,230	276,331	-0,213	0,449	-0,09	1,61
30	0,018	0,216	12,111	-0,192	0,476	0,10	1,41

Detaljnija usporedba osnovnih statističkih pokazatelja proračunatih koeficijenta autokorelacije dana je u tablici 8.

Rezultati provedenih testiranja rezultata autokorelacijske analize povijesne serije i generiranih sintetičkih vremenskih serija pokazali su da se i u smislu autokorelacijskih svojstava generirane serije mogu smatrati prihvatljivim za daljnje analize. S usvojenim pragom značajnosti od $\alpha = 5\%$, za dani primjer (serije jednako duge – po 12 koraka), kriteriji za prihvaćanje postavke o homogenosti analiziranih serija bili su:

- za t-test postavka se prihvaća ako je $t - \alpha/2 = -2.074 < t < t \alpha/2 = 2.074$
- za F-test postavka se prihvaća ako je $F < F_{0,95} = 2.82$

Kako su se sve proračunate vrijednosti analiziranih statistika nalazile unutar navedenog raspona (»« u rasponu -0.21 i $+0.55$, »F« u rasponu do 2.50), i ovom je analizom dodatno potvrđeno da je prihvatljiva postavka o homogenosti analiziranih serija – povijesne i generiranih sintetičkih serija o dotocima u akumulaciju.

Tablica 8: Usporedba osnovnih statističkih pokazatelja proračunatih koeficijenata autokorelacije po pojedinim koracima za generirane vremenske serije i povijesnu seriju srednjih mjesečnih dotoka u akumulaciju Boljunčica

KORAK autokorelacije	Povijesna serija	GENERIRANE SERIJE (30 SERIJA)				
		SR	σ	CV	MIN	MAX
1	0,372	0,487	0,035	0,072	0,433	0,556
2	0,162	0,202	0,040	0,197	0,130	0,269
3	-0,061	-0,038	0,049	-1,293	-0,156	0,046
4	-0,120	-0,123	0,044	-0,356	-0,254	-0,051
5	-0,143	-0,230	0,046	-0,201	-0,334	-0,126
6	-0,155	-0,213	0,054	-0,253	-0,286	-0,099
7	-0,146	-0,248	0,058	-0,233	-0,365	-0,161
8	-0,152	-0,153	0,049	-0,324	-0,240	-0,039
9	-0,076	-0,111	0,039	-0,354	-0,191	-0,039
10	0,020	0,065	0,040	0,609	-0,042	0,138
11	0,182	0,215	0,060	0,277	0,087	0,318
12	0,227	0,376	0,102	0,270	0,196	0,561

6. Analiza osiguranja vodnih zaliha na primjeru akumulacije Boljunčica

6.1. Uvod u problematiku analize vodnih zaliha u akumulaciji simulacijskim modeliranjem

Simulacijski modeli su modeli dinamičkih sustava, tj. sustava koji se mijenjaju s vremenom. Simulacijski je proces struktura rješavanja stvarnih problema pomoću simulacijskog modeliranja (Čerić, 1993), što je često korišten postupak pri vodnogospodarskim analizama. Iako simulacijski modeli mogu biti i fizički, uglavnom se radi o matematičkim modelima koji su u simulacijama rada vodnogospodarskih sustava našli svoju punu primjenu. Tako se primjenjuju i kod modeliranja rada akumulacija kao jednih od najsloženijih dijelova tih sustava. Osnovne značajke matematičkih modela, prema Đorđeviću (1990), su slijedeće:

- Svaki model, ma kako bio detaljan, samo je jedna od mogućih matematičkih aproksimacija realnog sustava. Model predstavlja reducirani sustav, pri čemu stupanj njegove detaljnosti ovisi o postavljenim ciljevima modeliranja, fenomenu koji se izučava modeliranjem, korištenim numeričkim metodama i slično.
- Čak i isti aspekti izučavanog sustava mogu se opisivati različitim modelima, od kojih svaki ima neki dopustiv opseg upotrebljivosti, ovisan o različitoj razini proučavanja i planiranja nekog sustava.
- Jedan model ne može pružiti cjelovit odgovor na sva pitanja koja se postavljaju u fazi planiranja i eksploatacije složenog sustava. On planeru treba pružiti relevantne informacije koje su potrebne za promatranje problema, pojedinačno vrednovati široki raspon mogućih varijanti i upravljačkih odluka, kao i pružiti kvantitativne odgovore na pitanja o ponašanju sustava i vezama unutar njega.

U danom je radu korišteno simulacijsko modeliranje rada akumulacijom Boljunčica kako bi se simulirala moguća stanja u akumulaciji u ovisnosti o različitim veličinama

volumena zaplavnog prostora i različitim razinama osiguranja njegove vododrživosti, kao i da bi se uvažavajući stohastičku prirodu procesa dotoka i uz to vezanog ponašanja rada akumulacije, provela i analiza mogućih rezultata. Iako je simulacija rada akumulacija jednostavan zadatak temeljen na jednadžbi vodne bilance, za realizaciju postavljenog zadatka autoru rada nije bio na raspolaganju nikakav prikladan gotov matematički model koji bi u elemente vodne bilance uključivao i gubitke na poniranje iz akumulacije. Očito je da se prisutno zanemarivanje problema gubitaka vode iz akumulacije manifestira i u nedostatku prikladnih matematičkim modela koji bi u proces simulacije uključivali i gubitke vode na poniranje. Stoga je za potrebe provedbe planiranih analiza u okviru danog rada izrađen odgovarajući matematički model SYMAC (Rubinić i dr., 2000). To je simulacijski model, razvijen za korištenje na standardnom tabličnom programskom kalkulatoru EXCEL-u. U odnosu na neke druge korištene modele toga tipa (npr. na području VGO Rijeka dosad često korišten model RESOP), SYMAC se prije svega razlikuje u tome što simulira rad vodnih rezervoara i u uvjetima postojanja gubitaka vode na poniranje – infiltraciju iz zaplavnog prostora. To je posebno važno iz razloga što je u domaćoj praksi zabilježen niz propusta u prognozi ponašanja akumulacija upravo iz razloga što se pri početnim sagledavanjima ostvarenja akumulacija nisu predvidjele i mogućnosti postojanja takvih gubitaka vode, odnosno i kad su se predviđale minoriziran je njihov utjecaj te gubici dalje nisu bilancno modelirani.

Rezultat provedenih matematičkih modeliranja rada akumulacije Boljunčica modelom SYMAC proračunate su razine vode u akumulaciji na kraju svakog koraka. Kad je zaključen i zadnji korak diskretizacije, programom se određuje broj utvrđenih mjesečnih i godišnjih manjkova, odnosno postotak vremenskog zadovoljavanja potreba za vodom u skladu s planiranim korištenjem akumulacije.

6.2. Modelske analize na primjeru akumulacije Boljunčica

Simulacijski modeli nemaju mogućnost optimalizacije sustava. 'Optimum', odnosno najpovoljnije rješenje se zbog toga pronalazi ponavljanjem pokretanja modela s mijenjanjem ulaznih parametara u svakom narednom krugu. Pri tome se izbor parametara usložnjava stohastičkim vezama među ulaznim podacima i odgovarajućim odzivima sustava (Hrelja, 1996). U radu je stohastička priroda problema obuhvaćena procesom matematičkog modeliranja korištenjem sintetičkih nizova ulaznih podataka o srednjim mjesečnim dotocima u akumulaciju, generiranih metodama stohastičke hidrologije. Metodološke postavke toga pristupa iznijete su u t. 4.

Izgradnjom brane Letaj akumulacija Boljunčica je već formirana, a time definiran i volumen njezinog zaplavnog prostora. No, s obzirom na iskazane gubitke iz zaplava, te pretpostavke o eventualno mogućem pronalaženju prihvatljivih stručno-tehničkih i financijskih rješenja otješnjenja dijela prostora zaplava koji bi služio za akumuliranje voda, interesantno je provesti simulaciju rada akumulacije za različite veličine volumena vododrživog dijela zaplavnog prostora i različite razine osiguranja njegove vododrživosti. S obzirom na veličinu rezervnog volumena vode u akumulaciji potrebnog za prihvatanje vodnog vala, veličinu do sada zatrpanog volumena akumulacije istaloženim nanosom, kao i iskazane potrebe za vodom iz akumulacije za navodnjavanje, u analizu simulacijskim modelom SYMAC uzete su različite veličine korisnog volumena akumulacije u rasponu vodostaja između 86 i 90 mn.m. Radi se o volumenima od 1.67 mil. m³ (pri koti od 86 mn.m.), 2.10 mil. m³ (pri koti od 87 mn.m.), 2.60 mil. m³ (pri koti od 88 mn.m.), 3.15 mil. m³ (pri koti od 89 mn.m.) te 3.76 mil. m³ (pri koti od 90 mn.m.).

Analiza je provedena korištenjem spomenutih 30 serija generiranih, 20-godišnjih nizova podataka srednjih mjesečnih dotoka, a radi usporedbe ista je provedena i s povijesnom 20-godišnjom serijom dotoka iz razdoblja 1973./74.—1992./93. Kao maksimalno dozvoljeni volumeni vode u akumulaciji uzimane su prethodno navedene vrijednosti mogućeg korisnog volumena, a uvjet eliminacije utjecaja početnog volumena vode u akumulaciji ostvaren je time što su u analizi korištene hidrološke godine (listopad—rujan), na početku kojih je u danom slučaju dozvoljeno nulto stanje razine vode u akumulaciji. Različite razine osiguranja vododrživosti zaplavnog prostora simulirane su pretpostavljenim postotkom na koji bi se postojeća usvojena krivulja gubitaka vode na poniranje iz zaplavnog prostora mogla nekim od sanacijskih radova reducirati. Problematika gubitaka vode na poniranje iz akumulacije detaljnije je analizirana u radu Rubinića (2001), gdje su dani i analitički i grafički prikaz usvojene funkcija gubitaka vode iz akumulacije (za nezasićeno stanje) u ovisnosti o razini vode.

U okviru provedenih simulacija u ovom radu (tj. predmetnom poglavlju) te su funkcije reducirane s pretpostavljenim postocima redukcije gubitaka u uvjetima osiguranja potpune ili djelomične sanacije u iznosima od 0 % (pretpostavljena situacija potpunog saniranja – eliminiranja gubitaka vode na poniranje), kao i za pretpostavljene slučajeve eventualnog reduciranja tih gubitaka na veličine od 1 %, 2 %, 5 % i 10 % gubitaka u odnosu na postojeće stanje. Radi usporedbe, maksimalna procijenjena vrijednost gubitaka za usvojenu krivulju gubitaka pri nezasićenom stanju u podzemlju iznosi $2.192 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a eventualno saniranje gubitaka iz akumulacije na 10 % znači da bi se isti sveli na najviše do $0.219 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, na 5 % najviše do $0.110 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, na 2 % najviše do $0.044 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a na 1 % podrazumijeva da bi se kapacitet gubitaka na poniranje iz akumulacije sveo najviše do $0.022 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Pri modeliranju simulacijskim modelom SYMAC kao promjenjive varijable razmatrane su veličina zaplavnog prostora akumulacije namijenjena za prihvata vodnih zaliha za navodnjavanje, te krivulje poniranja – izražene u % vrijednosti krivulje gubitaka u odnosu postojeću usvojenu krivulju gubitaka za nezasićeno stanje. Utvrđeno je da su različite ulazne serije podataka o generiranim dotocima rezultirale i različitim vrijednostima stupnja zadovoljavanja potreba za vodom pri određenim maksimalnim volumenima vode u akumulaciji namijenjenim za prihvata vode za osiguranje vodnih zaliha za navodnjavanje, kao i za različite stupnjeve eventualne sanacije postojećih gubitaka na poniranje. Stoga i stupanj zadovoljavanja potreba za vodom, kao i same serije ulaznih podataka o dotocima, ima obilježja stohastičke veličine.

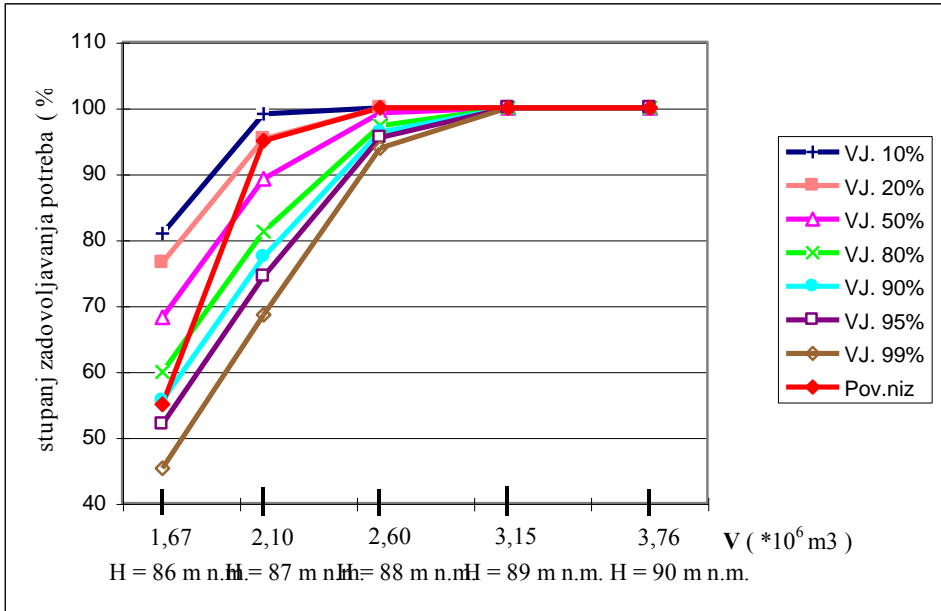
Na osnovu tako određenih vrijednosti stupnja zadovoljavanja potreba za vodom, po pojedinim je volumenima provedena i analiza vjerojatnosti stupnja zadovoljavanja potreba za vodom. Analiza je provedena upotrebom nekoliko najčešće korištenih funkcija razdiobe (Gauss, Galton, Pearson 3, Log Pearson 3 i Gumbel), a odabir najprikladnije funkcije razdiobe izvršen je na osnovu provedenih testova Smimov-Kolmogorova i Hi-kvadrat testa. U daleko najvećem broju slučajeva kao najprikladnija, ili joj vrlo bliska, pokazala se normalna – Gaussova razdioba, te je radi dosljednosti ista korištena za sve analizirane nizove. Rezultati te analize, dani su u tablici 9.

Prikaz rezultata tako provedenih analiza iz tablice 9, moguće je zorno predočiti i u vidu grafičkih prikaza. U tu su svrhu odabrani prikazi s dvama krajnjim pretpostavljenim situacijama – za slučaj da se gubici na poniranje potpuno eliminiraju – svedu na 0 % u odnosu na postojeće (slika 5), te za slučaj da se ti gubici svedu na veličinu od 10 % u odnosu na postojeće stanje (slika 6).

Tablica 9: Prikaz stupnja zadovoljenja potreba za vodom (u %) za različite veličine akumulacija i vjerojatnosti pojave, kao i za različite stupnjeve eventualne sanacije postojećih gubitaka na poniranje

KOTA OTJEŠNENJA AK. (m n.m.)	VJEROJATNOSTI ZADOVOLJENJA POTREBA ZA VODOM NA OSNOVI ANALIZE SINTETIČKIH NIZOVA O DOTOCIMA							Povijesni niz dotoka
	99 %	95 %	90 %	80 %	50 %	20 %	10 %	
Pretpostavljeni gubici na poniranje 0% (potpuno sanirana akumulacija – bez gubitaka)								
86	45.3	52.0	55.6	59.9	68.2	76.5	80.9	55
87	68.6	74.4	77.4	81.2	89.2	95.3	99.1	95
88	93.9	95.5	96.3	97.3	99.2	100	100	100
89	100	100	100	100	100	100	100	100
90	100	100	100	100	100	100	100	100
Pretpostavljeni gubici na poniranje 1 % u odnosu na prirodno stanje								
86	39.2	46.6	50.5	55.2	64.2	73.2	77.9	45
87	57.8	65.2	69.1	73.8	82.9	92.0	96.7	85
88	85.5	88.7	90.5	92.5	96.5	100	100	100
89	100	100	100	100	100	100	100	100
90	100	100	100	100	100	100	100	100
Pretpostavljeni gubici na poniranje 2 % u odnosu na prirodno stanje								
86	31.4	39.3	43.5	48.6	58.2	67.9	73.0	40
87	55.7	62.2	65.6	70.0	77.7	85.7	89.9	65
88	78.5	82.9	85.3	88.1	93.5	99	100	100
89	100	100	100	100	100	100	100	100
90	100	100	100	100	100	100	100	100
Pretpostavljeni gubici na poniranje 5 % u odnosu na prirodno stanje								
86	18.3	26.3	30.6	35.8	45.6	55.5	60.7	40
87	35.0	42.7	46.7	51.7	61.1	70.6	75.5	50
88	56.1	63.4	67.3	72.0	81.0	90.0	94.7	85
89	88.3	91.1	92.7	94.5	98.1	100	100	100
90	91.4	93.5	94.6	95.9	98.4	100	100	100
Pretpostavljeni gubici na poniranje 10 % u odnosu na prirodno stanje								
86	0	8.5	13.1	18.5	29.0	39.5	45.0	10
87	12.1	19.7	23.8	28.7	38.1	47.4	52.4	25
88	20.1	29.7	34.9	41.1	53.1	65.0	71.2	45
89	52.3	60.9	65.4	70.9	81.4	92.0	96.3	60
90	60.9	67.6	71.1	75.5	83.7	92.0	97.5	85

Iz slike 5 vidljivo je da postoji veoma dobra međusobna povezanost između veličine volumena akumulacije, vjerojatnosti pojave i stupnja osiguranja potreba za vodom. Također je vidljivo da za pretpostavljenu hipotetičku situaciju bez postojanja gubitaka vode na poniranje iz akumulacije već pri razini vode od 88 mn.m. (odgovara joj volumen zaplavnog prostora od 2.60 mil. m³) za sve analizirane vjerojatnosti pojave stupanj zadovoljavanja potreba za vodom prelazi 90%, a doseže i 100 % za 20 %-tnu i 10 %-tnu vjerojatnost. U toj je situaciji i povijesna serija dotoka u akumulaciju karakterizirana sa 100 %-tnim stupnjem zadovoljavanja potreba za vodom.

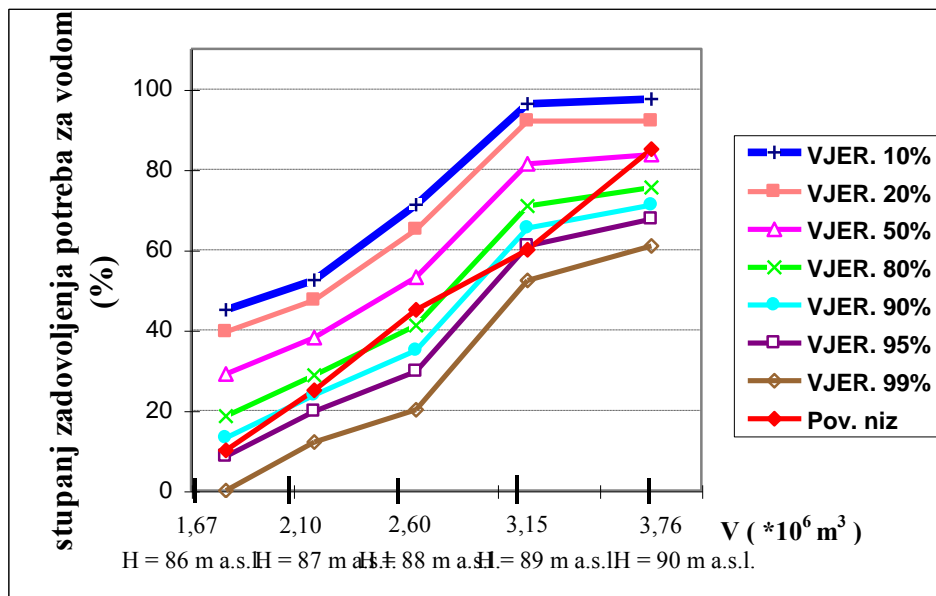


Slika 5: Grafički prikaz stupnja zadovoljenja potreba za vodom (u %) za različite veličine ak. i vjerojatnosti pojave, te pretpostavljenu situaciju potpuno sanirane akumulacije
— gubici na poniranje 0% u odnosu na postojeću krivulju gubitaka

No, teško je pretpostaviti da je, bez obzira koja bi se tehnička rješenja primijenila, moguće u potpunosti sanirati gubitke vode iz akumulacije, pogotovo ako se radi o tako tektonski poremećenom i hidrogeološki propusnom prostoru kao što je akumulacija Boljunčica. Stoga su realnije pretpostavke da bi i nakon provedbe eventualnih sanacijskih zahvata u izvjesnoj mjeri i dalje prisutni gubici na poniranje. Na slici 6 dan je jedan takav prikaz za pretpostavljeni slučaj redukcije gubitaka na 10 %-tnu vrijednost u odnosu na postojeće stanje – usvojenu krivulju poniranja za nezasićeno stanje. Vidljivo je da kad bi se gubici iz akumulacije sveli na veličinu od cca 10% u odnosu na postojeće, stupanj zadovoljavanja potreba za vodom ne poprima zadovoljavajuće vrijednosti čak ni pri većim volumenima vode u akumulaciji. Tako npr. volumenu vode od 3.15 mil. m³ (odgovara razina od 88 m n.m.) 90 %-tno zadovoljavanje potreba za vodom vezano je samo za 20 %-tnu vjerojatnost, za isti slučaj 99 %-tna vjerojatnost jedva prelazi 50 %, a 95 %-tna iznosi svega 60 %. Stupanj zadovoljavanja potreba za vodom pri analizi povijesne serije kreće se između 10 % (pri volumenu od 1.67 mil. m³) i 85 % (pri volumenu zaplavnog prostora akumulacije od 3.77 mil. m³).

Na osnovu podataka iz tablice 9, interesantno je detaljnije razmotriti i utjecaj veličine gubitaka poniranja iz akumulacije na stupanj zadovoljavanja potreba za vodom. Taj je stupanj određen, na temelju analize rezultata simulacijskog modeliranja generiranih serija dotoka, u ovisnosti o vjerojatnosti pojave. Na Slikama 7 i 8 dan je grafički prikaz tog međuodnosa za dvije analizirane veličine akumulacija – za akumulaciju s kotom praga preljeva od 87 mn.m. te pripadajućim volumenom od 2.10 mil. m³, kao i za akumulaciju s kotom praga preljeva od 90 mn.m. i pripadajućim

volumenom od 3.76 mil. m³. Na slikama je dan i prikaz stupnja zadovoljavanja potreba za vodom povijesne serije.

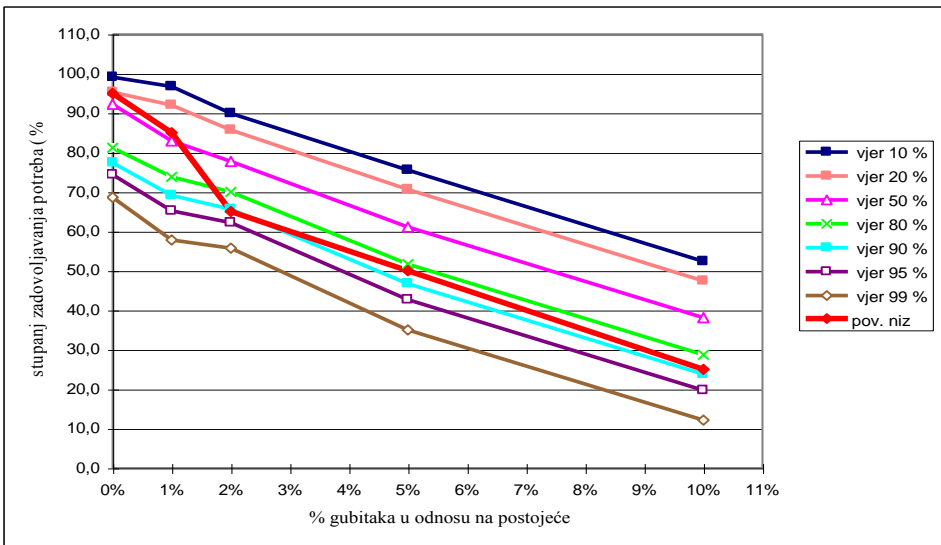


Slika 6: Grafički prikaz stupnja zadovoljenja potreba za vodom (u %) za različite veličine ak. i vjerojatnosti pojave, te pretpostavljenu situaciju djelomično sanirane akumulacije – gubici na poniranje 10% u odnosu na postojeću krivulju gubitaka

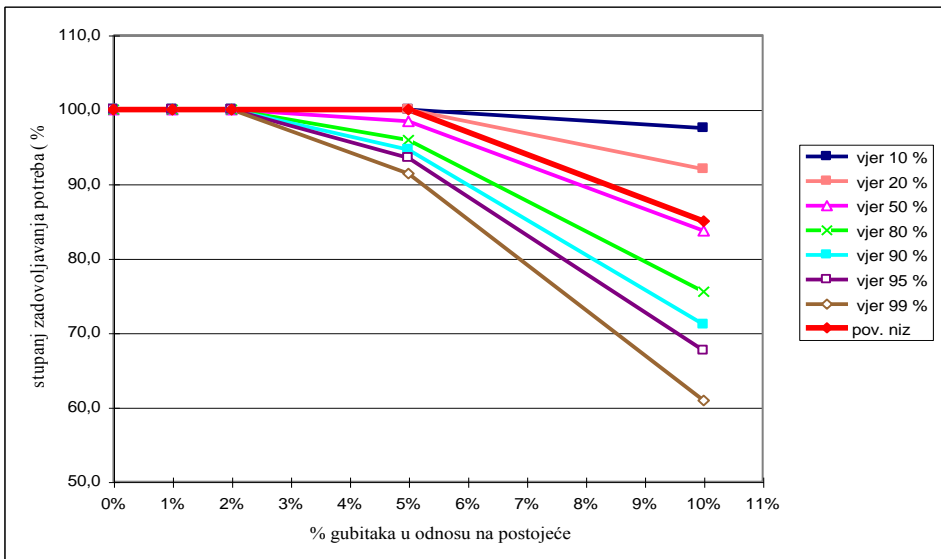
Iz spomenutih je prikaza vidljivo da gubici na poniranje iz akumulacije mogu presudno utjecati na stupanj zadovoljavanja potreba za vodom. Pri nižoj od razmatranih veličina akumulacija (kota 87 mn.m.), uz pretpostavke o stanju potpuno saniranih gubitaka vode iz akumulacije ili u granicama do 2 % u odnosu na postojeće gubitke, stupanj zadovoljavanja potreba za vodom za navodnjavanje relativno je visok i kreće se u rasponu preko 55 % (s vjerojatnošću 99 %) i 96,7 % (s vjerojatnošću 10 %). Za pretpostavku da će gubici po provedbi sanacijskih radova biti smanjeni na razinu od 10 % u odnosu na postojeće, ti postoci zadovoljavanja potreba za vodom vrlo brzo padaju ka nižim, za učinkovito upravljanje akumulacijom praktički neprihvatljivim vrijednostima. Vjerojatnost zadovoljenja potreba za vodom proračunata na osnovu povijesne serije kreće se u rasponu između 25 % (za pretpostavku o smanjenu gubitaka na veličinu od 10 % u odnosu na postojeće) do 85 % (za stanje potpune sanacije akumulacije).

Slično se odnose i rezultati analize stupnja zadovoljavanja potreba za vodom pri razini osiguranja vododrživosti zaplavnog prostora akumulacije do 90 m n.m. Pod tim uvjetima, uz pretpostavku o sanaciji gubitaka poniranja u rasponu između 0 i 2 % u odnosu na postojeće, stupanj zadovoljavanja potreba za vodom 100 % za sve vjerojatnosti pojave, pri gubicima od 5 % u odnosu na postojeće taj se postotak nalazi iznad praga od 90 %, a da bi se kod pretpostavke o sanaciji gubitaka na veličinu od 10 % u odnosu na postojeće ti postoci zadovoljavanja potreba za vodom kretali u vrlo širokim granicama između 60,9 % (za vjerojatnost 99 %) i 97,5 % (za vjerojatnost 10 %). Povijesna serija je u analiziranoj situaciji pokazivala stupanj osiguranja između 85 % (za pretpostavljene 10 %-tne gubitke) i 100 % (za 5 %-tne gubitke i manje). Na sličan bi se

način mogli prikazati i analizirati podaci za akumulacije s nižom kotom osiguranja vododrživosti zaplavnog prostora, odnosno manjim volumenom.



Slika 7: Grafički prikaz stupnja zadovoljavanja potreba za vodom (u %) za različite veličine gubitaka vode iz akumulacije, pri volumenu akumulacije od 2,10 mil. m³ (H = 87 m n.m.)



Slika 8: Grafički prikaz stupnja zadovoljavanja potreba za vodom (u %) za različite veličine gubitaka vode iz akumulacije, pri volumenu akumulacije od 3,76 mil. m³ (H = 90 m n.m.)

7. Hidrološka praćenja vodne bilance akumulacije tijekom eksploatacije

Koliko god su važna hidrološka praćenja koja se provode za potrebe planiranja izgradnje akumulacija, važna su i odgovarajuća praćenja nakon njezine izgradnje. Nažalost, čest je slučaj njihova zanemarivanja, ili pak svođenja na praćenja samoga pregradnog objekta – brane za koje su važećim propisana obvezna ukoliko takvi objekti pripadaju kategoriji visokih brana. No, s aspekta same akumulacije to nije i dovoljno te je nužno da se i nakon izgradnje brane i formiranja akumulacijskog jezera, ponajprije za razdoblje tijekom njegovog prvog punjenja i pražnjenja, a zatim i za kasnije razdoblje, izradi i provodi cjeloviti program hidroloških praćenja.

Tim se programom trebaju obuhvatiti praćenja meteoroloških veličina u slivu i na samoj lokaciji akumulacije (oborine, temperature, isparavanja, relativne vlažnosti, snijeg...), dinamike kolebanja razine vode u akumulaciji, kontrolirani dotoci i istjecanja vode iz akumulacije, razine podzemnih voda na utjecajnom prostoru akumulacije, gubici na poniranje, dinamika donosa i istjecanja nanosa iz akumulacije te njegov prirast u samoj akumulaciji, kao i temperaturni režim voda u akumulaciji. S obzirom da se izgradnjom akumulacije mijenjaju kvalitativne značajke voda i ekoloških prilika, spomenuta hidrološka osmatranja moraju biti popraćena i odgovarajućim programom praćenja kakvoće voda te biološko-ekoloških svojstava.

Periodičkom analizom dobivenih rezultata nužno je utvrditi stanje hidroloških prilika, odnosno eventualne promjene u vodnom režimu u cilju provedbe potrebnih intervencija ukoliko te promjene idu u neželjenom smjeru. Rezultati takvih analiza dragocjene su podloge za preispitivanje planiranih elemenata vodne bilance akumulacija i ocjenu mogućnosti zadovoljenja planiranih potreba za vodom, kao i za planiranje izgradnje drugih akumulacija na sličnim regionalnim prostorima.

8. ZAKLJUČCI

U danom je radu provedena analiza hidrološke komponente planiranja i upravljanja akumulacijama, s posebnim naglaskom na metodu dimenzioniranja akumulacija generiranim vremenskim serijama podataka o dotocima u akumulaciju. Kao primjer pri takvim analizama odabrana je već izgrađena akumulacija Boljunčica u Istri, koja zbog svog položaja na kontaktu s krškim vodonosnikom, ima izražene probleme s gubicima na poniranje, pa je modeliranje dinamike kolebanja razine vode u akumulaciji, odnosno analiza stupnja zadovoljavanja potreba za vodom provedeno u kontekstu promjenjivog parametra gubitaka vode iz akumulacije.

Na osnovu provedenog generiranja vremenskih serija podataka o dotocima u akumulaciju i njihove analize, pri čemu je korišten Thomas-Fiering-ov model, utvrđeno je da su rezultirajuće generirane serije dotoka u akumulaciju zadržale osnovna statistička i sezonska obilježja analizirane povijesne vremenske serije. Simulacijskom analizom tih sintetičkih serija, pri čemu je korišten simulacijski model SYMAC, omogućeno je da se dobiveni rezultati simulacije — stupanj zadovoljavanja potreba za vodom za različite volumene akumulacije i veličine gubitaka na poniranje, vrednuju i u smislu ocjene vjerojatnosti njihove pojave. Time su stvorene dodatne potrebne podloge vezane uz odluke o izgradnji akumulacija i mogućnosti realnijeg garantiranja osiguranja zadovoljavanja potreba za vodom. Takav pristup, iako odavno poznat u stranoj i

domaćoj stručnoj literaturi, još se nije udomaćio i u našoj praksi, pa se stoga u radu provedeni primjer simulacije može smatrati početnim primjerom u tom smislu.

Rad je ukazao i na činjenicu da problematika bilanciranja akumulacija ne završava izgradnjom te akumulacije, već je nužno da hidrološka praćenja i njihova interpretacija, u cilju primjerenog gospodarenja vodnim resursima u slivu, budu kontinuirani zadatak tijekom cijelog njezinog razdoblja eksploatacije.

LITERATURA

- Bonacci, O. 1969. Prilog proučavanju modela za stvaranje sintetičkih hidroloških nizova. *Vodoprivreda* 1/2: 76–83.
- Čerić, V. 1993. *Simulacijsko modeliranje*. Školska knjiga, Zagreb: 327 str.
- Đorđević, B. 1976. Mogućnosti pouzdanijeg određivanja zapremine akumulacija sa višegodišnjim izravanjem korištenjem estimatora hidrološkog ulaza. *Vodoprivreda* 47: 19–22.
- Đorđević, B. 1990. *Vodoprivredni sistemi*, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- Energoprojekt. 1973. Uvod u teoriju optimalnih sistema – Optimizacija vodoprivrednih sistema. Beograd.
- Fleming, G. 1975. *Computer simulation techniques in hydrology*. Elsevier, New York, 332 str.
- Fontane, G.D., Margeta, J. 1988. Uvod u sistemsko inženjerstvo u projektiranju i upravljanju volumenima akumulacija. Fakultet Građevinskih znanosti. Split. 92 str.
- Hrelja, H. 1996. *Vodoprivredni sistemi*. Svjetlost. Sarajevo. 232 str.
- Margeta, J. 1992. *Osnove gospodarenja vodama*. Građevinski fakultet. Split. 230 str.
- Matalas, N.C. *Stohastički procesi*. Seminar Jugoslavenskog komiteta za međunarodnu hidrološku deceniju, knjiga 2, Zagreb: 130–202.
- Pavlič, I. 1988. *Statistička teorija i primjena*. Tehnička knjiga. Zagreb, 343 str.
- Petrićec, M., Margeta, J. 1999. *Model optimalnog upravljanja hidroenergetskim akumulacijama*. *Hrvatske vode* 7/26. 1–14.
- Rubinić, J. 1994. Hidrološki aspekti gospodarenja akumulacijskim vodnim prostorima u Istri. *Hrvatska vodoprivreda* 3/26: 31–34.
- Rubinić, J. 1996. Plan natapanja na području istarskih slivova – Hidrologija. Npublic. 138 str.
- Rubinić, J. 2001. Hidrološke osnove planiranja i upravljanja akumulacijama – primjer akumulacije Boljunčica u Istri. Magistarski rad, Sveučilište u Splitu, 146 str.
- Rubinić, J., Ožanić, N., Rubinić, A. 2000. SYMAC – Program za simulaciju dinamike kolebanja vodnih rezervoara (akumulacija i prirodnih jezera). Mošćenice. Npublicirano – u izradi.
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., Lane, W.L. 1980. *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Water Resources Publications. Colorado. 484 str.
- Simonović, S. 1989. Modeliranje akumulacija: Od sumarne krive do ekspertnih sistema. *Vodoprivreda* 21/122: 653–664.
- Srebrenović, D. 1986. *Primijenjena hidrologija*. Tehnička knjiga, Zagreb, 509 str.
- Srebrenović, Z. 1977. *Metode regulacije vodnog režima*. Geodetski fakultet, Zagreb, 197 str.
- Tomanić, M., Simonović, S. 1985. *Usporedna analiza brzih postupaka dimenzioniranja akumulacija*. *Vodoprivreda* 17/98. 385–394.

- White, J.B. 1970. *Primjena teorije vjerojatnosti i statističkih metoda na regulaciju vodotoka pomoću akumulacija*. Seminar Jugoslavenskog komiteta za međunarodnu hidrološku deceniju, knjiga 3, Zagreb: 44–102.
- Žugaj, M. 1975. *Kompleksno uređenje i korištenje voda – Tretman višenamjenskih akumulacija I*. Građevinski fakultet, Zagreb: 64 str., Npublicirano.
- Žugaj, M. 1981. *Posebne analize u hidrotehnici*. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb: 140 str.
- Žugaj, R. 2000. *Hidrologija*. RGN fakultet, Zagreb, 407 str.

9

PRIMJENA POSTUPAKA VIŠEKRITERIJSKE OPTIMALIZACIJE PRI IZBORU SUSTAVA AKUMULACIJA ZA NAVODNJAVANJE U ISTRI

mr. sc. Barbara Karleuša, dipl. ing. građ.

1. UVOD	270
2. Primjena postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodama - stanje područja	272
2.1. Problematika izbora optimalnog rješenja u gospodarenju vodama	272
1. Korak: Uočavanje problema	272
2. Korak: Orijentacija	274
3. Korak: Definicija problema	274
4. Korak: Utvrđivanje stanja problema	275
5. Korak: Proučavanje stanja problema	275
6. Korak: Generiranje varijanata i izbor najbolje	275
7. Korak: Oblikovanje rješenja	275
8. Korak: Izvedba rješenja	276
9. Korak: Usavršavanje postupaka rješavanja problema	276
2.2. Pregled postojećih postupaka izbora optimalnog rješenja	276
2.3. Pregled postojećih postupaka višekriterijske optimalizacije	277
2.4. Primjena postojećih postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodama	278
3. Izabrani postupci višekriterijske optimalizacije	280
4. Primjena izabranih postupaka višekriterijskog rangiranja varijanata za izbor optimalne varijante navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre	282
4.1. Općenito o Istri	282
4.2. Navodnjavanje poljoprivrednih površina u Istri	283
4.2.1. Poljoprivredna tla u Istri	283
4.2.2. Kulture za poljoprivredu	283
4.2.3. Plasiranje poljoprivrednih proizvoda na tržište	284
4.2.4. Opravdanost izgradnje sustava za navodnjavanje	284
4.3. Navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre	284
4.4. Analiza i izbor potencijalnih akumulacija	285
4.4.1. Akumulacija Kotli	286
4.4.2. Akumulacija Draga	287
4.4.3. Akumulacija Rečina	287
4.4.4. Akumulacija Bračana	287
4.4.5. Akumulacija Blaškići	287
4.4.6. Akumulacija Rakov Potok	287

4.4.7. Akumulacija Beram	288
4.4.8. Akumulacija Momjan i retencija Bazuje	288
4.4.9. Akumulacija Marčana	289
4.5. Tehnički i financijski pokazatelji potencijalnih akumulacija	289
5. Generiranje varijanata	289
6. Vrednovanje varijanata po izabranim kriterijima	300
6.1. Kriteriji kojima se procjenjuje zadovoljenje potreba vezanih uz vode	300
6.1.1. Navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre	300
6.1.2. Zaštita od velikih voda	300
6.2. Ekonomski kriterij	300
6.2.1. Određivanje troškova i koristi	300
6.2.2. Ekonomski pokazatelji	304
6.3. Ekološki kriterij	310
6.4. Socijalni kriterij	311
6.5. Pregled vrednovanja varijanata po odabranim kriterijima	311
6.6. Ispitivanje zavisnosti odabranih kriterija	313
7. Primjena odabranih postupaka višekriterijske optimalizacije i rezultati	313
7.1. Plan ispitivanja	313
7.2. Primjena software-a PROMCALC&GAIA V.3.2 i rezultati	317
7.3. Primjena software-a ELECTRE TRI 2.0 a i rezultati	322
7.4. Primjena software-a EXPERT CHOICE Pro 9.5 i rezultati	328
7.5. Usporedba postupaka	330
7.6. Rezultati izbora optimalne varijante sustava akumulacija za navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre	331
8. Zaključak	332
LITERATURA	334

1. UVOD

Promatrajući kroz povijest čovjek je mijenjao pristup korištenju vode. Na početku je svoje potrebe za vodom zadovoljavao u prirodi ne utječući na nju i ne mijenjajući je. Porastom broja stanovnika, razvojem urbanih sredina i industrije čovjek počinje mijenjati prirodu u svrhu zadovoljenja svojih, sve većih, potreba. Voda se koristi neracionalno i postupno dolazi do smanjivanja raspoloživih vodnih resursa i nedostatka vode. Uslijed razvoja urbanih sredina i industrije, te pojavom velikih količina otpadnih, zagađenih, voda dolazi do postupne degradacije kvalitete voda. Ljudsko društvo moralo se suočiti sa činjenicom da takav trend neracionalnog korištenja vodnih resursa i degradacije kvalitete vode, uslijed raznih ljudskih aktivnosti, treba izmijeniti i dati važnost racionalnijem korištenju vodnih resursa uz njihovo očuvanje u kvantitativnom i kvalitativnom smislu što je dovelo do organiziranog gospodarenja vodama.

Gospodarenje vodama je skup složenih aktivnosti koji podrazumijeva korištenje voda, zaštitu od voda i zaštitu voda. Donedavno (do pred 30-tak godina) dominirao je zahtjev zadovoljenja ljudskih potreba za vodom, a zaštita voda i prirode bila je u drugom planu. Osnovni kriterij odlučivanja bio je ekonomski kriterij, odnosno kako iskoristiti što više vode i pri tome ostvariti što veću dobit, što odgovara jednokriterijskoj optimalizaciji.

Danas se posebnu i dužnu važnost daje zaštiti prirode u cjelini i zaštiti vode kao dijela prirode. Gospodarenje vodama danas se ostvaruje na načelima održivog razvoja. Održivi razvoj vodnih resursa podrazumijeva korištenje vodnih resursa u svrhu zadovoljenja potreba sadašnje generacije ne ugrožavajući pravo i mogućnost budućih generacija da to ostvare za sebe (smanjivanjem kvantiteta i/ili pogoršavanjem kvalitete vode).

Cilj je gospodarenja vodama zadovoljiti ljudske potrebe za vodom uz zadovoljenje ekonomskih kriterija i kriterija očuvanja prirode (vode, biljnog, životinjskog svijeta itd.). Uz ekonomski kriterij i kriterij očuvanja prirode u novije vrijeme, pojavljuje se i socijalni kriterij. Socijalnim kriterijem vrednuje se odražavanje korištenja vodnih resursa na društvo i pojedinca, što jasno treba uzeti u obzir pri gospodarenju vodama.

Složenost gospodarenja vodama pri korištenju voda, zaštiti voda i zaštiti od voda uz zadovoljenje svih kriterija i višenamjensko korištenje većine objekata (vodoopskrba, hidroenergetika, navodnjavanje, plovidba, rekreacija itd.) dovodi do primjene višekriterijskih postupaka za izbor strategije gospodarenja vodama. Većina zadataka pri planiranju i upravljanju složenih vodoprivrednih sustava ima vrlo složene ciljeve, različito-dimenzionalne kriterije za vrednovanje strategije gospodarenja i ograničenja koji se mogu mijenjati nakon određenih faza rješavanja problema, što onemogućuje jednoznačno rješenje problema. Preostaje da se nađu višeznačna rješenja od kojih treba izabrati najbolje rješenje. Potrebno je donijeti odluku koje će to rješenje biti. Za određivanje najbolje strategije gospodarenja vodama (rješenje problema) mogu se koristiti različiti postupci odabira rješenja među kojima su i postupci višekriterijske optimalizacije. Važnu ulogu u višekriterijskoj optimalizaciji ima donositelj odluke (nadležno tijelo koje je odgovorno za donošenje konačne odluke, tj. usvajanje konačnog optimalnog rješenja). Da bi se bolje definirale želje i namjere donositelja odluke uvode se preferencije pa se takva rješenja nazivaju preferirano optimalna rješenja.

Na osnovu obrađene literature, sagledana je primjena višekriterijske optimalizacije, u svijetu i u Hrvatskoj, pri donošenju odluka u različitim područjima građevinarstva.

Polazeći od važnosti cjelovitog i svestranog vrednovanja strategije gospodarenja vodama u ovom radu obrađena je uspješnost primjene razvijenih matematičkih postupaka višekriterijske optimalizacije (uz pomoć računarskih software-a) u tom području.

U radu su primijenjena tri postupka višekriterijske optimalizacije: PROMETHEE, ELECTRE i AHP, odnosno računarski programi razvijeni na osnovu tih postupaka, a to su PROMCALC & GAIA V.3.2., ELECTRE TRI 2.0 a i EXPERT CHOICE Pro 9.5.

Navedene metode primijenjene su za izboru optimalne varijante za gradnju akumulacija kojima bi osnovna namjena bila navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre. Varijante su oblikovane tako da se nastojalo vodom iz potencijalnih akumulacija i izvora pokriti potrebe navodnjavanja poljoprivrednih površina. Prema, u radu definiranim ciljevima, vodeći računa o tehničko-tehnološkoj izvedivosti, funkcionalnosti, ekološkim i socijalnim ograničenjima i prihvatljivim ekonomskim troškovima generirano je dvanaest varijanata koje obuhvaćaju različite kombinacije akumulacija (Kotli, Draga, Rečina, Bračana, Blaškići, Rakov Potok, Beram i Momjan) i retencija (Bazuje) na vodotocima analiziranog područja. Vrednovanje varijanata je provedeno prema izabranom skupu od deset različitih, uobičajeno korištenih kriterija i odgovarajućih mjera postavljenih u sklopu cjelovitog i svestranog sagledavanja problema. Odabranim računarskim programima provedena su rangiranja varijanata prema planu ispitivanja koji obuhvaća različite kombinacije kriterija i težina kriterija.

Ispitivanje je provedeno u cilju ocjene utjecaja pojedinih kriterija i izbora njihovih težina na rezultat te zbog utvrđivanja primjerenosti primjene i koristi od primjene odabranih postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodama.

2. Primjena postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodama — stanje područja

2.1. Problematika izbora optimalnog rješenja u gospodarenju vodama

Gospodarenje vodnim resursima znači izbor, izvedbu i korištenje vodoprivrednih sustava uz najpovoljnije ekonomske, socijalne i ekološke efekte što je rezultat donošenja niza odluka kroz sve faze razvoja sustava: planiranje, projektiranje i upravljanje. Ostvarenje najpovoljnijih efekata gospodarenja moguće je postići donošenjem primjerenih odluka kod rješavanja problema u svim fazama gospodarenja vodama. Postupak odabira najbolje odluke ovisi, između ostaloga, i o stupnju strukturiranosti odluke, koji definira koliko su one rutinske i koliko se učestalo ponavljaju.

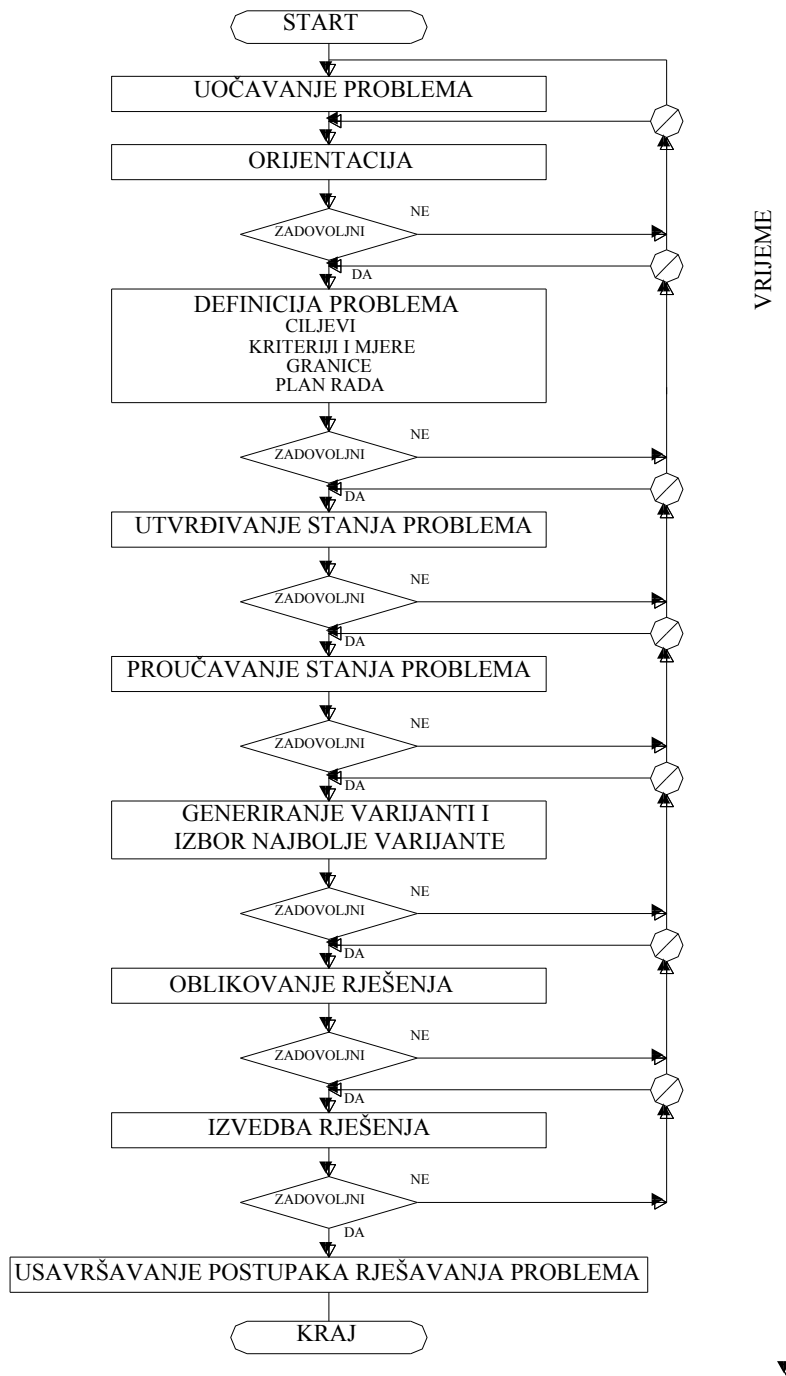
Najsloženije za donošenje odluke su tzv. nestrukturirane odluke. Takve odluke se donose kod rješavanja slabo strukturiranih problema kao što su većina zadataka planiranja i upravljanja vodoprivrednih sustava [1]. Slabo strukturirani problemi su oni problemi kod kojih su ciljevi vrlo složeni i nejasno formulirani, kada je sustav izložen brojnim neizvjesnostima i kada se priroda promatranog problema postupno mijenja tijekom rješavanja. Slaba strukturiranost onemogućuje dobijanje jednoznačnog rješenja. Uzroci nejednoznačnosti potiču od ciljne strukture, koja je složena i izražena različitim kvantitativnim (površine, protoci, novac, vrijeme, itd.) i kvalitativnim (kvaliteta vode, socijalni utjecaj, ekološki utjecaj, itd.) mjernim jedinicama. Posljedica slabe strukturiranosti problema su različito-dimenzionalni kriteriji za vrednovanje planiranja i upravljanja, te promjenjiva ograničenja.

Za pomoć u donošenju odluka koristi se sustavna analiza [2]. Sustavna analiza je racionalni postupak donošenja odluka u odnosu na neki sustav na osnovu sustavne i efikasne organizacije i analize dostupnih informacija. Umjesto termina sustavna analiza koriste se još: sustavni postupak, sustavno inženjerstvo, operacijska istraživanja, operacijska analiza, upravljačke znanosti i sl. Za rješavanje problema općenito, pa tako i u gospodarenju vodama, može se koristiti sustavni pristup koji se sastoji od 9 koraka prikazanih algoritmom na slici 2.1.1. [3].

1. Korak: UOČAVANJE PROBLEMA

Problem je potrebno uočiti pravovremeno, prije nego se počnu pojavljivati posljedice uzrokovane njime. Zato je potrebno kontinuirano promatrati društvo i procese u njemu.

U ovom radu kao podloga za primjenu postupaka višekriterijske optimalizacije korištena je studija »Plan navodnjavanja za područje istarskih slivova« [4], stoga je uočavanje problema korak koji je bio poduzet prije izrade ovog rada te je u ovom radu samo konstatiran. Problematika navodnjavanja, uz problem zaštite od velikih voda i vodoopskrbe, na području Istre obrađena je u [t.4]. Iz cijele Istre izdvojen je i detaljno analiziran segment zapadne Istre.



Slika 2.1.1: Algoritam koji prikazuje proces rješavanja problema

2. Korak: ORIJENTACIJA

U ovom koraku analiziraju se znanja koja su potrebna za rješavanje problema (problemska orijentacija) i kojima se raspolaže (osobna orijentacija). Na osnovu tih znanja provodi se bilanca znanja koja najčešće rezultira negativnim rezultatom pa je potrebno proširiti znanje. Stoga je poželjno formirati tim suradnika unutar kojeg se interakcijama među članovima koji posjeduju različita znanja omogućuje svestrano i cjelovito sagledavanje i rješavanje problema. Svakom novom problemu treba pristupiti na novi način jer novost u sagledavanju problema povećava vjerojatnost dobivanja boljeg rješenja.

Na studiji [4], odnosno na rješavanju problema navodnjavanja na području Istre, sudjelovao je tim suradnika, stručnjaka za različita područja (građevinarstvo, geologija, agronomija), stoga su tijekom izrade ovog rada suradnjom s navedenim stručnjacima prikupljene važne informacije koje nisu prikazane u studiji, a od značaja su za ovaj rad.

3. Korak: DEFINICIJA PROBLEMA

Definicija problema podrazumijeva utvrđivanje ciljeva koji se žele postići, definiranje kriterija i mjera, određivanje granica promatranja i rješavanja problema i oblikovanje plana rada.

Ciljevi se dijele na osnovne (rješavanje problema) i sporedne (koji se usput ostvaruju i ne moraju biti vezani sa osnovnim). Osnovni ciljevi gospodarenja vodama su [2]: opskrba vodom naselja i industrije, kontrola zagađenja voda, navodnjavanje, ribarstvo, zaštita biljnog i životinjskog svijeta, rekreacija, kontrola velikih voda, plovidba i hidroenergija.

Ostvarenje navedenih ciljeva treba omogućiti uz prihvatljive troškove, ekološke i socijalne efekte.

Za ocjenu uspješnosti ostvarenja pojedinih ciljeva koriste se kriteriji ili stajališta, a stupanj ostvarenja pojedinog cilja određuje se mjerama.

Promatranje problema provodi se u granicama koje mogu biti: vremenske, prostorne i granice u znanju. Pomoću vremenskih granica definira se koliko će se dugo rješavati problem, koliko će se daleko ići u prošlost i u budućnost pri rješavanju problema, prostorne granice definiraju područje koje ćemo promatrati (npr. slivno područje), dok granice u znanju ne bi trebalo ograničavati.

Na problemu navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre osnovni ciljevi koje rješenja moraju zadovoljiti su navodnjavanje i zaštita od velikih voda uz prihvatljive troškove, ekološke i socijalne efekte. Uspješnost ostvarenja ciljeva ocjenjuje se prema kriterijima na osnovu kojih se procjenjuje zadovoljenje potreba vezanih uz vode: navodnjavana površina i volumen velike vode kojeg mogu zadržati akumulacije; ekološkim kriterijima: utjecaj potapanja zaplavne površine akumulacije na životinjski i biljni svijet (koji se mjeri preko površine akumulacija) i krajobraz (koji se mjeri preko visine brana) te socijalnim kriterijima: negativan utjecaj potapanja naselja i mogućnost korištenja akumulacija za rekreaciju [t.6.].

Vremenske granice promatranja i rješavanja problema vezane su za prve podatke o uređenjima korita na području Istre (1631. godine, prva studija za promatrano područje), a protežu se u budućnost za projektno razdoblje korištenja planiranih vodoprivrednih sustava [4]. Prostorne granice razmatranja problema obuhvaćaju područje Europe kao potencijalnog tržišta za plasiranje poljoprivrednih proizvoda, ali se za rješavanje problema svode na područje Istre odnosno poljoprivredne površine i slivne površine vodotoka zapadnog dijela Istre.

4. Korak: UTVRĐIVANJE STANJA PROBLEMA

U ovom koraku ispituje se stvarno stanje problema u prirodi. Prikupljaju se postojeći podaci, provode se snimanja, mjerenja i istraživanja za dobivanje novih podataka. Podaci su izuzetno važni jer o njima direktno ovisi kvaliteta planiranja i upotrebljivost rezultata. Podaci trebaju biti prihvatljivi, kvalitetni, pouzdani i svi jednako dobri [2].

Većina podataka vezanih za utvrđivanje stanja problema u ovome radu preuzeti su iz studije [4] i članka koji tretiraju tu problematiku općenito kao i za promatrano područje.

5. Korak: PROUČAVANJE STANJA PROBLEMA

U ovom koraku obrađuju se svi dostupni podaci i dovode u formu koja omogućuje njihovo korištenje i promatra problem. Problem se sagledava iz cjeline. Zatim se cjelina analizira po dijelovima. Dijelovi cjeline se klasificiraju i proučavaju se njihovi međusobni odnosi. Kada se dobro upoznaju dijelovi cjeline vrši se sinteza svih dijelova i promatra se problem opet u cjelini iz šire perspektive sa znanjem o pojedinim dijelovima.

Proučavanje stanja problema navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre prikazano je u [t.4].

6. Korak: GENERIRANJE VARIJANATA I IZBOR NAJBOLJE

U ovoj fazi oblikuju se varijantna rješenja. Uz pomoć kriterija i mjera ocjenjuju se zadovoljenja pojedinih ciljeva. S obzirom da se kod rješavanja problema u vodoprivrednim sustavima teži ostvarenju više ciljeva istovremeno potrebno je odabrati takvo rješenje koje će maksimalno zadovoljiti sve ciljeve.

Generiranje varijanata je aktivnost koja traži veliko znanje i naobrazbu [2]. Postupak generiranja varijanata može provesti pojedinac ili grupa stručnjaka (u skladu sa iskustvom i znanjem) ili se mogu koristiti odgovarajući modeli. Odabir najbolje varijante također je moguće provesti na osnovu znanja i iskustva stručnjaka, uz eventualna jednostavna proračunavanja, te vrednovanje i rangiranje varijanata u odnosu na kriterije, ili se odabir može provesti uz pomoć različitih modela za potporu u odlučivanju.

U novije vrijeme razvijeno je područje donošenja odluka (decision making) u kojem donositelji odluka (decision makers) donose odluku koje će se varijantno rješenje odabrati kao najbolje. S obzirom da su donositelji odluka osobe ili institucije koje najčešće ne posjeduju tehnička znanja vezana uz rješavanje problema pomoć u donošenju odluka pružaju stručnjaci za određena područja.

Generiranje varijanata provedeno je u [t.5.] gdje je opisano svih dvanaest varijanata navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre. Dvanaest varijanti vrednovano je prema odabranim kriterijima i na osnovu tih podataka provedena je višekriterijska optimalizacija korištenjem tri postupka: PROMETHEE, ELECTRE i AHP. Od dvanaest varijanti istaknute su najbolje varijante ovisno o kriterijima koji su uzeti u obzir i težinama koje su dodijeljene odabranim kriterijima.

7. Korak: OBLIKOVANJE RJEŠENJA

Nakon izbora optimalne varijante izrađuje se izvedbeni projekt.*

8. Korak: IZVEDBA RJEŠENJA

Prema projektu pristupa se izgradnji hidrotehničkog objekta.*

9. Korak: USAVRŠAVANJE POSTUPAKA RJEŠAVANJA PROBLEMA

Ovoj fazi nije svrha poboljšati rješavanje ovoga problema, ali se znanja stečena u pri njegovu rješavanju mogu koristiti za unaprjeđenje postupaka rješavanja drugih problema.

U [t.7.] ovoga rada komentirani su rezultati izbora najboljih varijanti dobiveni primjenom odabranih postupaka višekriterijske optimalizacije i doneseni zaključci kojima se ocjenjuje primjena postupaka višekriterijske optimalizacije na primjeru odabira najbolje varijante navodnjavanja zapadne Istre i generalno u području gospodarenja vodama.

Nakon svakog koraka u rješavanju problema potrebno je donijeti zaključak da li je rješavanje problema do tog trenutka zadovoljavajuće. Ako je odgovor pozitivan prelazi se na idući korak, u suprotnom vraća se na neki od prethodnih koraka. Može se vratiti na sam početak ili na neki od koraka u kojem se smatra da je nešto propušteno ili loše određeno.

2.2. Pregled postojećih postupaka izbora optimalnog rješenja

Za izbor konačne varijante rješenja postoji niz različitih strategija izbora najboljeg rješenja: jednokriterijska i višekriterijska optimalizacija, zadovoljenje, eliminacija po kriteriju, postupno poboljšanje i uzastopno ispitivanje, ... [5].

U slučajevima kada postoji jedan dominantan postupak za rješavanje problema vezanih za tu vrstu odluke donošenje odluka provodi se pojedinačnim postupcima modeliranja (optimalizacija, simulacija, ekspertni sustavi, neuronske mreže, genetski algoritmi i dr.) od kojih je u ovome radu odabrana optimalizacija.

Ukoliko se želi objediniti korištenje podataka i modela te podupirati proces odlučivanja pomažući donositelju odluka organizirati, identificirati i sakupiti potrebne informacije, provesti analizu i obradu tih informacija, odabrati odgovarajući model (ili više modela) za donošenje odluke, primijeniti model(e) i na osnovu rezultata dobivenih modeliranjem donijeti konačnu odluku tada se koriste sustavi za potporu u odlučivanju.

Korištenje većine postupaka modeliranja odnosno sustava za potporu u odlučivanju olakšano je razvojem računarskim programa koji se temelje na tim postupcima.

Optimalizacijskim modeliranjem iz niza mogućih ili povoljnih varijanti odabire se najbolja varijanta u smislu zadovoljenja odabranih kriterija. Takva najbolja varijanta naziva se optimalna varijanta i ona predstavlja kompromis između ciljeva (kriterija) i mogućnosti (ograničenja).

Kriterij se može izraziti kriterijskom funkcijom koja bi za najbolju varijantu trebala postići globalni ekstrem vodeći računa o ograničenjima. Ukoliko se optimalizacija provodi prema jednom kriteriju tada je riječ o jednokriterijskoj optimalizaciji i to je rješenje egzaktno definirano ekstremom kriterijske funkcije. Zadatak optimalizacije je izbor najbolje varijante iz niza mogućih ili povoljnih varijanti u smislu usvojenog kriterija. Takva varijanta se naziva optimalna varijanta ili optimalno rješenje. Optimalno

* Koraci 7. i 8. nisu sagledavani u ovome radu jer se u njemu obrađuje samo područje planiranja vodoprivrednih sustava

rješenje predstavlja kompromis između ciljeva i mogućnosti, odnosno uspješnost ostvarenja ciljeva vodeći računa o ograničenjima.

Postoji velik broj metoda jednokriterijske optimalizacije [6]: cost-benefit metoda, linearno programiranje, nelinearno programiranje (NP sa skupom linearnih ograničenja, NP sa separabilnom ciljnom funkcijom, cjelobrojno tj.0-1 programiranje), gradijentni postupak, dinamičko programiranje, teorija igara itd.

Ukoliko je potrebno odabrati optimalnu varijantu prema više usvojenih kriterija tada rješenje više nije egzaktno definirano jer ukupnu kriterijsku funkciju čine pojedinačne kriterijske funkcije i najčešće nije moguće pronaći takvu varijantu za koju će svi kriteriji postići ekstrem. Za odabir optimalne varijante tada se koriste postupci višekriterijske optimalizacije koji su opisani u [t.2.3.].

2.3. Pregled postojećih postupaka višekriterijske optimalizacije

Zadatak optimalizacije je izbor najbolje varijante iz niza mogućih ili povoljnih varijanata u smislu usvojenog kriterija. Takva varijanta se naziva optimalna varijanta ili optimalno rješenje. Optimalno rješenje predstavlja kompromis između ciljeva i mogućnosti, odnosno uspješnost ostvarenja ciljeva vodeći računa o ograničenjima.

Problem odabira optimalnog rješenja postaje složen ukoliko postoji više kriterija prema kojima treba odabrati optimalno rješenje. Važno je dobro odrediti kriterije i mjere jer o njihovoj kvaliteti direktno ovisi kvaliteta provedenog postupka izbora najbolje varijante te ispravnost konačne odluke.

Generiranje varijanata mora biti provedeno tako da se analiziraju sva moguća rješenja problema od kojih se prije pristupanja višekriterijskoj optimalizaciji može provođenjem prethodne selekcije taj skup suziti na razuman broj varijanata unutar kojeg će se birati konačna varijanta korištenjem postupaka višekriterijske optimalizacije. Takvom prethodnom selekcijom mogu se eliminirati varijante koje odmah pokazuju da ne zadovoljavaju minimalne vrijednosti nekih kriterija koji se smatraju značajnim za izbor konačne varijante.

Ukoliko se izbor optimalnog rješenja treba provesti po više kriterija tada je potrebno odrediti vektorsku kriterijsku funkciju koja je sastavljena od n kriterijskih funkcija čiji ekstrem predstavlja najbolje rješenje [7]. Nemoguće je pronaći takvo rješenje koje će imati ekstrem po svim kriterijskim funkcijama pa se mora zadovoljiti tzv. neinferiornim rješenjem. Rješenje je neinferiorno ako ne postoji neko drugo rješenje među varijantama koje je istovremeno bolje po svim kriterijima. Za problem višekriterijske optimalizacije karakteristično je da se povećavanjem zadovoljenja rješenja po jednoj kriterijskoj funkciji smanjuje stupanj zadovoljenja rješenja po jednoj ili više drugih kriterijskih funkcija.

Globalni optimalizacijski kriterij može se formulirati kao vektorska kriterijska funkcija (koja u sebi sadrži pojedinačne kriterijske funkcije) uz koju se može (ali i ne mora) uvesti struktura preferencije. Struktura preferencije sadrži podatke o relacijama uspoređivanja između mogućih rješenja i između kriterijskih funkcija.

Konačnu i presudnu ulogu u višekriterijskoj optimalizaciji imaju donositelji odluke. Donositelj odluke je najčešće osoba (fizička ili pravna) koja je odgovorna za donošenje konačne odluke, tj. usvajanja konačnog optimalnog rješenja. Osnovna uloga donositelja odluke je definiranje kriterija i strukture preferencije i uz pomoć stručnjaka analitičara, koji će rješavati tehničku razinu optimalizacije, odabrati konačno rješenje. Struktura preferencije donositelja odluke temelji se na tehničkim, ekonomskim, socijalnim i

političkim kriterijima. Ponekad je ona poznata prije optimalizacije, a ponekad se mijenja nakon određenih koraka optimalizacije što proces odlučivanja čini još složenijim. Ovisno o načinu definiranja strukture preferencije postoje tri različita pristupa višekriterijskoj optimalizaciji.

Prvi pristup čini korištenje funkcije višeatributivne korisnosti, koja sadrži kriterije i strukturu preferencije, u obliku jedne matematičke funkcije koja predstavlja kriterijsku funkciju za optimalizaciju. U ovom pristupu maksimizacijom kriterijske funkcije dobije se egzaktno rješenje i problem donošenja odluke svodi se na usvajanje odnosno odbacivanje dobivenog rješenja.

Drugi pristup je postupak optimalizacije koji se može prikazati u dva koraka. U prvom koraku se korištenjem vektorske kriterijske funkcije određuje skup neinferiornih rješenja, dok se u drugom koraku iz tog skupa na osnovu preferencije usvaja konačno optimalno rješenje.

Treći pristup predstavlja iterativni postupak optimalizacije u kojem se struktura preferencije uključuje postupno i iterativno. Ako se omogući on-line veza s donositeljem odluke tada je moguće donositi odluku nakon svake iteracije što jasno olakšava sam proces donošenja konačne odluke.

Prvi i treći pristup optimalizaciji primjenjiv je kada je donositelj odluke jedna osoba. Za grupne donositelje odluke povoljniji je drugi pristup koji se također može odvijati iterativno s time da svaka iteracija ima dva koraka, prvi u kojem se određuju neinferiorna rješenja i drugi u kojem donositelj odluke definira svoje preferencije i donosi odluke.

Postupci (metode) višekriterijske optimalizacije dijele se na [7]:

1. Postupke za određivanje neinferiornih rješenja (metoda težinskih koeficijenata, metoda ograničenja u prostoru kriterijskih funkcija, višekriterijska simplex metoda, ...)
2. Postupke s unaprijed izraženom preferencijom [1] (metoda višeatributivne korisnosti, ciljno programiranje, ELECTRE – ELimination and (Et) Choice Translating Reality, PROMETHEE – Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations, AHP – Alytic Hierarchy Process, ...)
3. Interaktivne postupke (STEM – STEp Method, SEMOPS – Sequential Multiple Objective Problem Solving, ...)
4. Stohastičke postupke (PROTRADE: PRObabilistic TRAde-off Development, ...)
5. Postupke za 'isticanje' podskupa neinferiornih rješenja (kompromisno programiranje)
6. Postupke za višekriterijsko rangiranje varijantnih rješenja

2.4. Primjena postojećih postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodama

Prvu formulaciju problema višekriterijske optimalizacije dao je Pareto u svojem radu 1896. godine [7]. 50-tih godina prošlog stoljeća počinje razdoblje razvoja postupaka višekriterijske optimalizacije. Najviše radova iz višekriterijske optimalizacije napisano je 70-tih i 80-tih godina prošlog stoljeća.

Značajan doprinos korištenju postupaka višekriterijske optimalizacije dao je razvoj računala. Računala su omogućila korištenje većeg broja informacija i bržu obradu informacija što je do tada kočilo široku primjenu postupaka višekriterijske optimalizacije. Danas je provođenje optimalizacije teško zamisliti bez pomoći računala i računarskih programa koji se temelje na postupcima višekriterijske optimalizacije.

Za izradu ovoga rada analizirana je dostupna literatura vezana za temu koja obuhvaća knjige i časopise u knjižnicama Građevinskog fakulteta u Rijeci i u Zagrebu te Nacionalne i Sveučilišne knjižnice. Dio analizirane literature pronađen je korištenjem podataka dostupnih putem Interneta.

Analizom dostupne literature uočena je primjena slijedećih postupaka višekriterijske optimalizacije: kompromisno programiranje (CP), postupak višeatributivne funkcije korisnosti (MAF, Multiattribute Utility Function), STEM, postupci za višekriterijsko rangiranje varijanata: ELECTRE [8], PROMETHEE [9], IKOR [1][7] i AHP [10][11]. Daljnjim razvojem ELECTRE metoda nastale su ELECTRE II, III, IV [8] i TRI [12], dok se PROMETHEE metoda razvila u PROMETHEE I i II [9].

Postupci optimalizacije su do danas postigli značajnu poziciju u području donošenja odluka u raznim područjima primjene pa tako i u različitim granama građevinarstva [13] među koje spada gospodarenje vodama gdje mogu od značajne pomoći u odabiru optimalne: strategije gospodarenja vodama, općenito [14][15] i u užem smislu npr. podzemnih voda [16], varijante sustava za navodnjavanje [17], varijante korištenja akumulacija [18], lokacije za dispoziciju otpadnih voda [19][20], lokacije za gradnju malih hidroelektrana [21] i lokacije brane za akumulaciju vode za navodnjavanje [22].

U knjizi [14] analizirana je primjena višekriterijalnih postupaka optimalizacije kao pomoć u donošenju odluka za razna područja među kojima i gospodarenje vodama. Na primjeru Korzike, koja ima slabo iskorištene vodne resurse, u svrhu odabira strategije gospodarenja vodama analizirane su razne lokacije povoljne za gradnju brana, varijante regulacija vodotoka i varijante poboljšavanja vodnogospodarskih projekata širih razmjera. Odabrana strategija za cilj ima poboljšanje uvjeta za poljoprivredu, s posebnim naglaskom na proizvodnju vina i turizam. Kroz knjigu se daje prikaz metodologije donošenja odluka: utvrđivanje problema, određivanje preferencija, kriterija i mjera, priprema i analiza ulaznih podataka za provođenje višekriterijske optimalizacije, primjena nekoliko različitih pristupa višekriterijskoj optimalizaciji te oblik kojim se prikazuju izlazni podaci (izbor, sortiranje ili rangiranje varijanata).

U članku [15] analizirana je primjena postupaka višekriterijske optimalizacije: ELECTRE II, PROMETHEE II, AHP, CP i EXPROM II (EX tension of PROMETHEE II) na odabiru optimalne konfiguracije akumulacija na rijeci Chaliyar (Indija) prema šest kriterija: navodnjavanje, proizvodnja energije, vodoopskrba, kvaliteta okoliša, zaštita od velikih voda i koristi od projekta. Za svaku metodu komentirane su njene prednosti i nedostaci. Za usporedbu rang listi dobivenih navedenim postupcima korišten je Spearman-ov koeficijent korelacije rangova. Po autorima, najbolji postupak za problem odabira optimalne konfiguracije akumulacija dao je postupak kompromisnog programiranja (CP).

Korištenje postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju podzemnim vodama (na primjeru idealnog otoka promjera 50 km za kojeg su zadani svi potrebni podaci) prikazano je u članku [16]. Model je prikazan u višekriterijskom obliku koji se temelji na metodi konačnih elemenata. Problem gospodarenja podzemnim vodama u primjeru trebalo je riješiti uz zadovoljenje tri kriterija: pogonski troškovi i troškovi održavanja (minimalizirati), iskorištenje crpki (maksimalizirati) i rizik (minimalizirati). Modelom se generira skup varijantnih rješenja iz kojeg se primjenom postupaka višekriterijske optimalizacije, prema kriterijima, odabire najbolja varijanta. Korišteni postupci su: CP, ELECTRE III, MAF i UTA (UTilite Additive, metoda dodatne korisnosti, bazirana na teoriji višeatributivne funkcije korisnosti). U članku je zaključeno da različite metode za ovaj primjer preporučuju slične skupove optimalnih varijanata rješenja. Ocijenjena je primjerenost korištenih postupaka za probleme gospodarenja podzemnim vodama s aspekta tehničkih karakteristika, očekivanja donositelja odluke, potrebnog znanja i oblika izlaznih podataka (rang liste).

Za odabir najpovoljnije varijante kanala za dopremu vode za navodnjavanje u projektu Sri Ram Sagar (Indija) korištene su dvije metode višekriterijske optimalizacije: metoda višeatributivne korisnosti (MAUT, Multi Attribute Utility Theory) i stohastička metoda bazirana na PROMETHEE II (STOPROM II, STochastic extension of PROMETHEE II) [17]. Izbor najbolje varijante proveden je odabranim postupcima prema osam različitih kriterija: razvoj poljoprivrednih gospodarstava, primjerenost vode, ulazni podaci na raspolaganju, zajedničko korištenje vodnih resursa, produktivnost, učestvovanje poljoprivrednika, ekonomski utjecaj i socijalni utjecaj. U članku su analizirane i komentirane primijenjene metode i dane smjernice za korištenje tih metoda na sličnim problemima.

Problem vrednovanja i izbora varijanata korištenja akumulacije, primjenom AHP postupka višekriterijske optimalizacije, analiziran je i prikazan u radu [18]. Akumulacija ima šest namjena: proizvodnja električne energije, navodnjavanje, obrana od poplave, opskrba vodom, turizam i rekreacija i riječni promet, koje su vrednovane s pet ekonomskih kriterija: povećanje nacionalnog dohotka, povećanje priljeva sredstava iz inozemstva, uravnoteženje režima plaćanja, supstitucija uvoza iz inozemstva i porast regionalnog dohotka. Na osnovu dobivenih rezultata ukazuje se na dalje mogućnosti korištenja AHP postupka u vodoprivrednom odlučivanju.

Izbor optimalnog rješenja za dispoziciju otpadnih voda, proveden na primjeru dispozicije otpadnih voda Poljičke rivijere, korištenjem postupaka PROMETHEE I i II prema petnaest kriterija koji su klasificirani u pet grupa kriterija: ekonomska efikasnost, funkcionalnost, tehnološkičnost, eksploatabilnost i pouzdanost, što je prikazano u članku [20].

Problem izbora optimalne lokacije za gradnju male hidroelektrane sagledan je u radovima [21][22]. U člancima je dan prijedlog metodologije rangiranja lokacija, analizirani kriteriji za vrednovanje varijanata i prezentirane ELECTRE [21], odnosno PROMETHEE metoda višekriterijske optimalizacije [22].

Odabir najbolje lokacije za gradnju brane i akumulaciju vode za navodnjavanje poljoprivrednih površina jugozapadne Francuske na slivnom području Adour-Garrone proveden je korištenjem ELECTRE III postupka, koji skup od trideset i osam varijanata, vrednovanjem prema trinaest odabranih kriterija, sužava na skup od osam 'dobrih' varijanata [23]. Osam odabranih varijanata detaljnije se analizira proširenim postupkom ELECTRE III i odabire najbolje rješenje.

Iz navedene literature zaključuje se važnost i primjenjivost višekriterijskih postupaka optimalizacije za područje gospodarenja vodama. Navedeni postupci pružaju značajnu pomoć u procesu donošenja odluka koji je za probleme vodoprivrede jako složen jer treba voditi računa o višenamjenskom korištenju vodoprivrednih objekata, njihovom utjecaju na stanovništvo analiziranog područja i kvalitetu življenja, utjecaju objekta na životnu sredinu sa ekološkog aspekta, uz ekonomski prihvatljive troškove.

3. Izabrani postupci višekriterijske optimalizacije

Postupci za rangiranje rješenja koriste se kada se želi odrediti rang-lista varijantnih rješenja na temelju stupnja zadovoljenja definiranih kriterija [1]. Smisao rangiranja optimaliziranih varijanti je suženje prostora odlučivanja i kvantificirano predočavanje činjenica koje su važne za donošenje odluke. Višekriterijsko rangiranje je posebno važno kod donošenja odluka o izboru optimalne varijante iz skupa varijanata koje se znatno razlikuju po konfiguraciji sustava, efektivnostima, dobrim i lošim stranama, djelovanjem na pojedine elemente kruženja itd. Za rangiranje varijanata moraju biti zadovoljena dva uvjeta:

- sve varijante moraju biti na istoj razini u pogledu stupnja obrade podataka iz kojih se definiraju zadovoljenja usvojenih kriterija
- sve varijante moraju biti vrednovane po svim usvojenim kriterijima.

Postupci za višekriterijsko rangiranje mogu se temeljiti se na postupcima s unaprijed izraženom preferencijom kao što su: PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), ELECTRE (ELimination and (Et) Choice Translating REality), AHP (Analytic Hierarchy Process), na postupcima za 'isticanje' podskupa neinferiornih rješenja kao što je IKOR Iterativno Kompromisno Rangiranje ili na nekom drugom postupku koji se koristi za izbor najboljeg rješenja, a kao izlazne podatke daje rang listu rješenja.

Na osnovu obrađene literature i pretraživanja po Internetu, za ispitivanje primjene postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodama, u ovom radu, odabrani su postupci koji su: najčešće korišteni, do kojih se moglo doći u razumnom vremenskom roku i uz pristupačnu cijenu, a to su postupci višekriterijskog rangiranja varijanata: PROMETHEE, ELECTRE i AHP, odnosno računarski programi izgrađeni na temelju navedenih postupaka PROMCALC & GAIA V.3.2., ELECTRE TRI 2.0a i EXPERT CHOICE Pro 9.5. PROMETHEE i ELECTRE postupci spadaju u postupke 'višeg ranga', a AHP u postupke 'prioriteta'.

PROMETHEE su postupci koje koristimo za dobivanje djelomičnog (PROMETHEE I) ili potpunog rangiranja varijanata (PROMETHEE II) [9][22][24]. U PROMETHEE postupcima proširen je pojam kriterija uvođenjem funkcije preferencije, koja daje preferenciju donositelja odluke za varijantu a u odnosu na varijantu b . Funkcija preferencije definira se za svaki kriterij posebno, a njena vrijednost se kreće između 0 i 1. Što je manja vrijednost funkcije, veća je indiferencija donositelja odluke, odnosno, što je ta vrijednost bliže 1, veća je njegova preferencija. U slučaju stroge preferencije, vrijednost funkcije preferencije jednaka je 1. Šest različitih tipova funkcija pokrivaju većinu slučajeva koji se pojavljuju u praktičnoj primjeni za koje donosilac odluke mora definirati najviše dva parametra. U ovom radu su korištene kriterijske funkcije: običan kriterij, odnosno kriterij tipa I, za kojeg nije potrebno definirati nikakve parametre i kriterij tipa IV tzv. razinski kriterij.

ELECTRE su postupci višekriterijske analize koji omogućuju izbor najbolje varijante tzv. selekciju, rangiranje i sortiranje varijanti rješenja nekog problema (ovisno o verziji ELECTRE) vodeći računa o kriterijima i preferencijama donositelja odluke [25]. ELECTRE metoda je razvijena za djelomično uređenje skupa rješenja na osnovi preferencije donositelja odluke. Na osnovi preferencija konstruira se graf čiji čvorovi predstavljaju moguća rješenja, a jezgra (kernel) definira preferirana rješenja. ELECTRE metoda je pogodna za korištenje u slučajevima gdje su kriterijske funkcije slabo definirane. Na osnovama ELECTRE I razvijene su ELECTRE II, III, IV i TRI. Matematičke osnove ELECTRE TRI metode opisane su u [25]. ELECTRE TRI metoda koristi se za sortiranje varijanata po unaprijed definiranim kategorijama prema pseudokriterijima s pragovima preferencije korištenjem slabo definirane relacije višeg ranga.

AHP metoda je primjenjiva ukoliko se problem kojeg treba riješiti može prikazati u hijerarhijskom obliku [10][11]. Problem mora biti moguće definirati po hijerarhijama počevši od cilja, kao najviše hijerarhijske razine, preko kriterija i podkriterija, do varijanata, kao najniže hijerarhijske razine. AHP metoda podrazumijeva provedbu proračuna težina kriterija i varijanata i formiranje matrica poredbe varijanata i matrica poredbe kriterija [6].

Normaliziranjem stupaca u matricama određuju se vektori težina kriterija i vektori težina varijanata po svim kriterijima. Kao rezultat potrebno je dobiti matricu težine varijanata u kojoj vektori težina varijanata po pojedinom kriteriju čine stupce.

Množenjem matrice težine varijanata i vektora težine kriterija određuje se ukupni vektor težina varijanata koji ujedno predstavlja rang listu varijanata.

4. Primjena izabranih postupaka višekriterijskog rangiranja varijanata za izbor optimalne varijante navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre

4.1. Općenito o Istri

Istarski poluotok nalazi se na sjeverozapadu Hrvatske. Poznat je po turističkim naseljima koja se nalaze na njegovoj obali dužine 350 km [26]. Obuhvaća površinu od 290.900 ha. Od kojih 30 230 ha čine poljoprivredna zemljišta, dok ostatak čine šume, urbanizirano zemljište i drugo [4]. Od ukupnog poljoprivrednog zemljišta 36.4% koristi se za ratarske usjeve i povrtlarstvo, 2.3% za voćarstvo, 5.7% za vinogradarstvo, dok ostatak 55.6% čine livade i pašnjaci [26]. Od ukupnog zemljišta za poljoprivrednu proizvodnju 11.4 % su duboka zemljišta koja se mogu koristiti za neograničenu obradu i proizvodnju.

U Istri vlada sredozemna (mediteranska) klima s umjerenim zimama i toplim ljetima. Prosječne godišnje temperature kreću se od 7° C u istočnom planinskom masivu do 14° C u jugozapadnom obalnom pojasu [26]. Oborine su pretežno orografskog tipa, a vrijednosti godišnje oborine variraju od 700 mm na jugozapadnom dijelu poluotoka do 2.300 mm u istočnom gorskom masivu. Karakteristične su pojave vrlo intenzivnih i često kratkotrajnih oborina, ali značajnih dnevnih količina. Kao rezultat javljaju se nagla površinska otjecanja, bujičnog tipa, što uzrokuje poplave ponekad i širih razmjera. U odnosu potreba za vodom i raspoloživih količina vode tijekom godine izražena je asinkronost. Nedostatak vode izražen je najčešće u vegetacijskoj sezoni što uzrokuje velike štete u poljoprivrednoj proizvodnji i iskazuje potrebu za gradnjom sustava za navodnjavanje.

Istarski poluotok se sastoji od dva geološki različita područja. Sjeveroistočno i centralno brežuljkasto i brdovito područje poluotoka je flišno područje (tercijarni lapor), sa veoma niskim stupnjem infiltracije, velikim koeficijentom otjecanja i izraženim procesima erozije, pa je stoga prikladno za gradnju akumulacija i na taj način zahvaćanje površinskih voda. Ostali dio područja pretežno je karbonatnog sastava (kredni vapnenac) gdje je stupanj infiltracije visok, a površinsko otjecanje relativno slabo, uz sve karakteristike krša. U karbonatnom području kaptiraju se podzemne vode.

Dugoročni razvoj Istre temelji se na razvoju turizma, industrije i poljoprivrede uz pomoć navodnjavanja, stoga se mora osigurati solidna opskrba vodom, obrana od poplava, zaštita voda i uređenje bujica [4][26].

Vodoopskrba je ostvarena zahvatima izvorskih voda sustavima Sv. Ivan, Rakonek, Fonte Gaia, Gradole i nekim manjim izvora. Razvojem turizma porasle su i potrebe za vodom. Za vrijeme turističke sezone postojeći izvori nisu dovoljni za podmirivanje potreba. To je jedan od razloga gradnje višenamjenske akumulacije Butoniga [4]. Za izvore su definirane zaštitne zone na osnovi provedenih istražnih radova.

Česte pojave vrlo intenzivnih i kratkotrajnih oborina, značajnih dnevnih količina, rezultiraju naglim površinskim otjecanjima, bujičnog tipa, što uzrokuje intenzivnu eroziju u slivovima te ponekad poplave širih razmjera. Izgradnjom klasičnih regulacijskih objekata (nasipa, uzdužnih i poprečnih objekata za stabilizaciju dna i pokosa vodotoka), retencija (Sepčići) i akumulacija (Letaj, Botonega) postignuti su dobri rezultati zaštite od voda na nekim područjima. Potrebno je nastaviti sa daljnjom gradnjom regulacijskih

objekata, među kojima su nekoliko planiranih akumulacija i retencija. Međutim uz regulacijske objekte potrebno je provesti tehničke i biološke radove na kompleksnom uređenju i regulaciji vodnog režima čitavog sliva. Jasno da veliku važnost treba dati zaštiti slivnih područja od intenzivne erozije.

Oko 22.000 ha zemljišta na istarskom poluotoku pretežno je prve klase, sposobno za svaku obradu, uz jedino ograničenje koje čini nedostatak dovoljne vlage u vegetacijskoj sezoni [26]. Najpovoljnije površine za razvoj navodnjavanja su područja crvenice, koja se nalaze pretežno na zapadnom dijelu istarskog poluotoka, jer su dobro drenirana pa nema problema zaslanjenja, podesna za obradu primjenom moderne tehnologije i locirana na ravničarskim terenima pa ne traže velika ulaganja u razvoj. Uvođenje navodnjavanja pretpostavlja izbor usjeva koji najbolje odgovaraju velikim ulaganjima, zahtijeva modernizaciju obrade i primjenu suvremene tehnologije. Važno je da izabrani usjevi, voće i povrće dobro uspijevaju u uvjetima istarske klime i imaju tržište na koje će se moći uspješno plasirati.

Stanje kvalitete voda na području istarskih slivova prati se sa 30-tak ispitnih mjesta [27]. Analizom podataka dobivenih ispitivanjem vidljivo je da su vodotoci Mirna, Raša i Pazinčica opterećeni tehnološkim otpadnim vodama, jer se kvaliteta vode naglo pogoršava poslije naselja u kojima je smještena industrija (Buzet, Raša, Labin i Pazin). Dokaz su rezultati ispitivanja vode na posebne pokazatelje koji se mogu u vodi pojaviti samo kao posljedica tehnoloških procesa postojeće industrije.

4.2. Navodnjavanje poljoprivrednih površina u Istri

4.2.1. Poljoprivredna tla u Istri

Od ukupne analizirane površine od 30 230 ha površina koje bi se mogle koristiti za poljoprivredu, 22 315 ha (67.2 %) je pretežno crvenica na vapnencu (plitka, srednje duboka i duboka) ili crvenica u kombinaciji sa smeđim tлом (na vapnencu ili dolomitu), 3150 ha (10,42 %) čine močvarna mineralna i 1860 ha (6,15 %) hidromeliorirana tla iz eugleja [4] Crvenica je rasprostranjena na Bujštini, Poreštini, Rovinjštini i okolici Pule. To područje se naziva 'crvena' Istra. Močvarna tla, hidromeliorirana ili djelomično hidromeliorirana pokrivaju područje doline Mirne i srednjeg dijela Čepić polja. Područje doline Raše i veći dio Čepić polja je hidromeliorirano tlo iz eugleja. Ostala tla pokrivaju 2 905 ha (9.6 %) od ukupne površine pogodne za poljoprivrednu proizvodnju. Za svaki tip tla prema njegovim karakteristikama zadržavanja odnosno filtracije vode sugerira se drugačiji tip navodnjavanja i odvodnjavanja.

4.2.2. Kulture za poljoprivredu

Glavno obilježje bilinogojstvu u Istri daju dvije središnje kulture: ozima pšenica i kukuruza [4]. Uvođenje povrtnih kultura moguće je jedino uz uvođenje navodnjavanja na poljoprivredne površine. Navodnjavanjem bi se otvorio put i raznim drugim kulturama: duhanu, leguminozama (soja, bob...), mediteranskom i kontinentalnom voću, vinovoj lozi itd. Uz navodnjavanje potrebno je odrediti odgovarajući plodored za poljoprivredne površine koji će dati najbolje rezultate poljoprivredne proizvodnje.

4.2.3. Plasiranje poljoprivrednih proizvoda na tržište

Kod odabira kultura koje će se uzgajati na poljoprivrednim površinama potrebno je voditi računa o tržištu na koje će se ti proizvodi plasirati i istražiti kolika je potražnja (i

kojih) kultura. Za plasiranje proizvoda iz Hrvatske interesantno je jedino europsko tržište. Dobro plasiranje poljoprivrednih proizvoda moguće je uz konkurentne cijene ili posebno visoku kvalitetu proizvoda u odnosu na druge ponuđače. Poželjno je dijelom se okrenuti alternativnoj poljoprivredi čiji su proizvodi trenutno jako aktualni i dobro plasirani na tržištu [4]. Pod alternativnom poljoprivredom podrazumijeva se uzgoj i prerada raznih poljoprivrednih proizvoda uz određene uvjete koji ovise o kategoriji hrane koju želimo proizvoditi.

Standardna hrana koja se proizvodi na konvencionalan način, na tlima koja moraju zadovoljavati *Pravilnik o zaštiti poljoprivrednih tala od onečišćenja štetnim tvarima* (N.N. br. 15, ožujak 1992.) uz vodu za navodnjavanje u kojoj su definirane maksimalne dopuštene vrijednosti koncentracije zagađivala (FAO) [4].

Uz plasiranje standardnih i alternativnih proizvoda na evropsko tržište trebalo bi razvijati i ponudu te hrane turističkoj klijenteli istarskog poluotoka lancem hotela i restorana u kojima bi se konzumirala hrana zajamčene kvalitete posebno obraćajući pažnju na specijalitete područja (sir, pršut, teran, tartufi...).

4.2.4. Opravdanost izgradnje sustava za navodnjavanje

Na istarskom poluotoku glavni usjevi su pšenica i kukuruz, uz krumpir, lucernu i ječam [4]. Većina navedenih usjeva daje značajno niže prinose u odnosu na prosjek Hrvatske. U voćarsko-vinogradarskoj proizvodnji stanje je povoljnije od državnog prosjeka. Na osnovu ispitivanja provedenih na odabranim gospodarstvima, računalnom obradom podataka, ustanovljeni su proizvodno-ekonomski pokazatelji iz kojih je zaključeno da pokriće svih troškova proizvodnje u postojećim uvjetima bez navodnjavanja osigurava samo proizvodnja bresaka i ranog krumpira. Žitarice i uz relativno visoka ulaganja dovode do nepovoljne ekonomike proizvodnje, što ukazuje na potrebu promjene strukture sjetve, odnosno proizvodnje. Navodnjavanjem se postižu dvostruko veći prinosi žitarica, povrća bresaka, povrća i lucerne, šesterostruki prinosi kukuruza i za oko 1/3 veći prinosi grožđa.

Treba voditi računa i o činjenici da uz povećanje prinosa (koristi) uslijed navodnjavanja rastu i troškovi proizvodnje, pa treba provesti ekonomsku analizu navodnjavanja poljoprivrednih površina.

4.3. Navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre

Poljoprivredne površine zapadne Istre smještene su većim dijelom na zapadnoistarskoj ploči gdje je tlo pretežno crvenica, a manjim dijelom u dolini rijeke Mirne koju čine aluvijalne gline. Ukupna poljoprivredna površina iznosi 17.669 ha [4], a sastoji se od manjih dijelova (slika 4.3.1.):

— Bujština	5263 ha,
— Dolina Mirne	2424 ha,
— Poreština	6612 ha,
— Rovinjština	3427 ha.

Za navodnjavanje navedenih poljoprivrednih površina potrebne su količine vode prikazane u tablici 4.3.1.

Tablica 4.3.1: *Količine vode potrebne za navodnjavanje po mjesecima i područjima u Istri*

Meteo- rološka postaja	kultura	površina (ha)	površina (%)	MJESECI (m ³ /ha)							ukupno (m ³ /ha)	ukupno (mil.m ³)
				III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
Bujština	povrće	2188	42	0	0	38	503	1225	869	309	2944	6.441
	voće	1175	22	0	0	22	652	925	371	25	1995	2.344
	vinogradi	1353	26	0	0	77	492	831	303	4	1707	2.31
	ratarske.k	520	10	76	490	846	552	48	0	0	2012	1.046
	ukupno	5236	100	76	490	983	2199	3029	1543	338	8658	12.141
Dolina Mirne	povrće	1453	60	0	115	750	1181	764	0	0	2810	4.083
	voće	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	vinogradi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ratarske.k	971	40	76	490	864	552	48	0	0	2030	1.954
	ukupno	2424	100	76	605	1614	1733	812	0	0	4840	6.037
Poreština	povrće	2990	45	0	0	38	503	1225	869	309	2944	8.8
	voće	1544	23	0	0	22	652	925	371	25	1995	3.08
	vinogradi	1395	21	0	0	77	492	831	303	4	1707	2.381
	ratarske.k	683	11	76	490	846	552	48	0	0	2012	1.374
	ukupno	6612	100	76	490	983	2199	3029	1543	338	8658	16.635
Rovinj -ština	povrće	1693	49	0	0	51	548	1174	986	329	3088	5.228
	voće	758	22	0	0	221	692	892	521	55	2381	1.805
	vinogradi	569	17	0	0	93	537	803	458	35	1926	1.096
	ratarske.k	407	12	35	365	795	593	52	0	0	1840	0.749
	ukupno	3427	100	35	365	1160	2370	2921	1965	419	9235	8.878

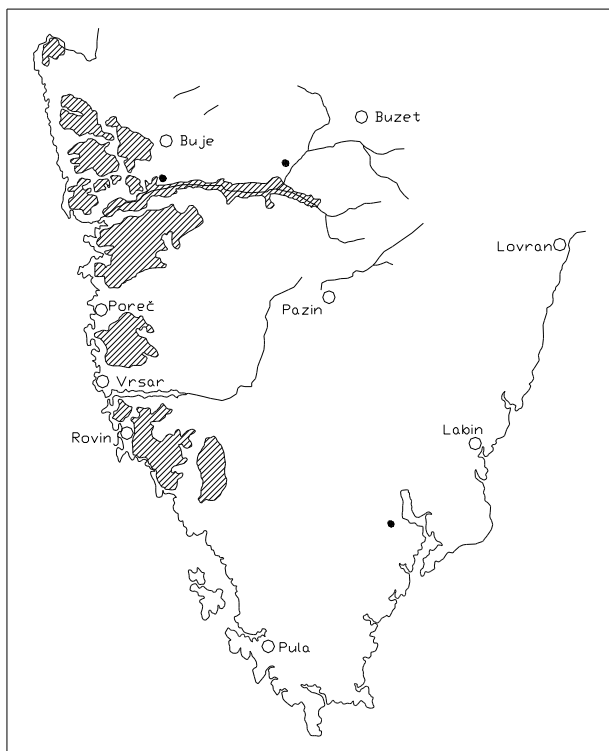
Potrebne količine vode moguće je osigurati akumulacijama na području sliva Mire i susjednih slivova, iz tekućeg dotoka Mire, te iz nekoliko izvora na području sliva Mire.

4.4. Analiza i izbor potencijalnih akumulacija

Sliv rijeke Mire je izgrađen od nepropusnih flišnih sedimenata, što je pogodno za gradnju akumulacija zbog svoje velike vodonepropusnosti, pri čemu treba voditi računa o intenzivnoj eroziji na području sliva i pronosu nanosa koji bi mogao uzrokovati brzo zatrpavanje akumulacionog volumena.

Na području sliva Mire bi se uz izgrađenu akumulaciju Botonega, moglo izgraditi još nekoliko akumulacija. Do sada su razmatrane lokacije: Kotli, Draga, Rečina, Bračana i Blaškići [4].

Sliv Pazinčice (Pazinski potok) nalazi se u središnjem dijelu Istre između sliva rijeke Mire i Raše (Boljunčice). Ukupna količina vode koja se sakupi na ovom slivu danas ponire u neposrednoj blizini Pazina, a potom izvire u gornjem dijelu doline rijeke Raše te njom otječe u more. Ukupna površina sliva do presjeka Pazinskog ponora iznosi 83 km², a prosječni protok 37.8 mil.m³. Na Pazinskom potoku planirana je izgradnja akumulacije Rakov Potok, a na susjednom slivu Beramskog potoka i akumulacija Beram.



Slika 4.3.1: Poljoprivredne površine zapadne Istre

Sa slivova Zrenjske visoravni voda se može osigurati akumulacijom Momjan i retencijom Bazuje.

4.4.1. Akumulacija Kotli

Na Rečini (Rečina je ime gornjeg toka Mirne), oko tri kilometra uzvodno od Buzeta, u blizini sela Kotli, nalazi se prikladan presjek za gradnju akumulacije. Zaplavni prostor akumulacije je izgrađen od nepropusnih flišnih naslaga što buduću akumulaciju čini relativno vododrživom. Površina slivnog područja uzvodno od pregrade iznosi 16.2 km^2 , što osigurava prosječni godišnji dotok od 7.9 mil.m^3 vode. Korisni volumen akumulacije iznosio bi 5.85 mil.m^3 . Za navodnjavanje površine od 1600 ha treba osigurati 4.3 mil.m^3 vode. Za tu količinu vode visina brane iznosi 30.5 m , dužina 280.0 m , kota normalnog uspora iznosi 187.5 m n.m. , a donja voda na 166.0 m n.m.

4.4.2. Akumulacija Draga

Drugi glavni vodotok koji tvori rijeku Mirnu neposredno do njena izvora Tombazin je Draga. Prikladan presjek za izgradnju pregrade nalazi se dva kilometra od Buzeta kod sela Cunj. Podloga je vodonepropustan fliš. Površina slivnog područja uzvodno od pregrade iznosi 8.9 km^2 , što osigurava prosječni godišnji dotok od 4.71 mil.m^3 . Korisni volumen akumulacije iznosio bi 3.82 mil.m^3 . Za navodnjavanje površine od 1000 ha

treba osigurati 2.7 mil.m³ vode. Za tu količinu vode visina brane iznosi 20.0 m, dužina 80.0 m, kota normalnog uspora iznosi 198.0 m n.m., a kota donje vode 185.0 m n.m.

4.4.3. Akumulacija Rečina

Jedan kilometar zračne udaljenosti od Buzeta, na vodotoku Rečini, neposredno nizvodno od utoka Drage, nalazi se prikladan presjek za gradnju pregrade. Slivna površina uzvodno od pregrade iznosi 24.1 km², a osiguran prosječni godišnji dotok 15.25 mil.m³. Ova lokacija akumulacije je jako zanimljiva i sa stanovišta obrane od poplave jer kontrolira skoro cijeli sliv Mirne uzvodno od Buzeta. Nedostatak je ove varijante akumulacije što se ona nalazi u području vodopropusnih vapnenaca, što zahtijeva otješnjenje površine zaplavnog volumena i na taj način povećava troškove izgradnje. Korisni volumen ove akumulacije iznosio bi 11.67 mil.m³, kojom bi se osigurala količina od 9.06 mil.m³ vode za navodnjavanje površine od 3400 ha. Visina brane iznosila bi 47.0 m, dužina 165.0 m, a kota normalnog uspora 112.0 m n.m.

4.4.4. Akumulacija Bračana

Uz akumulaciju Botonega, koja je već izgrađena, ova akumulacija je najzanimljivija među ostalim lokacijama, jer daje mogućnost kontrole velikog dijela slivne površine, a povoljan presjek za gradnju brane omogućuje izgradnju akumulacije volumena do 40 mil.m³. Nepovoljna strana ove alternative je neophodnost plavljenja dijela naselja Opatija, u zaplavnom prostoru i svi problemi koji se uz to javljaju.

Najpovoljnije mjesto za gradnju pregrade nalazi se u tjesnacu ruševine zamka Pietrapelosa, 750 metara udaljeno od utoka u rijeku Mirnu. Slivna površina uzvodno od navedenog presjeka iznosi 30.95 km², a prosječni godišnji dotok 26.25 mil.m³ vode. Korisni volumen ove akumulacije iznosio bi 20.6 mil.m³, što osigurava količinu od 18.0 mil.m³ vode za navodnjavanje površine od 6612 ha. Visina brane iznosila bi 47.0 m, a dužina 165.0 m.

4.4.5. Akumulacija Blaškići

Presjek za pregradu akumulacije Blaškići nalazi se u blizini sela Buzećani, jedan kilometar od rijeke Mirne. Koristan volumen akumulacije mogao bi iznositi 20 mil.m³, a mogao bi se puniti crpljenjem vode iz rijeke Mirne u izvanvegetacijskim razdobljima. Osigurana količina vode bi iznosila 20.0 mil.m³ vode. Visina brane iznosila bi 59.0 m, a dužina 770.0 m.

4.4.6. Akumulacija Rakov Potok

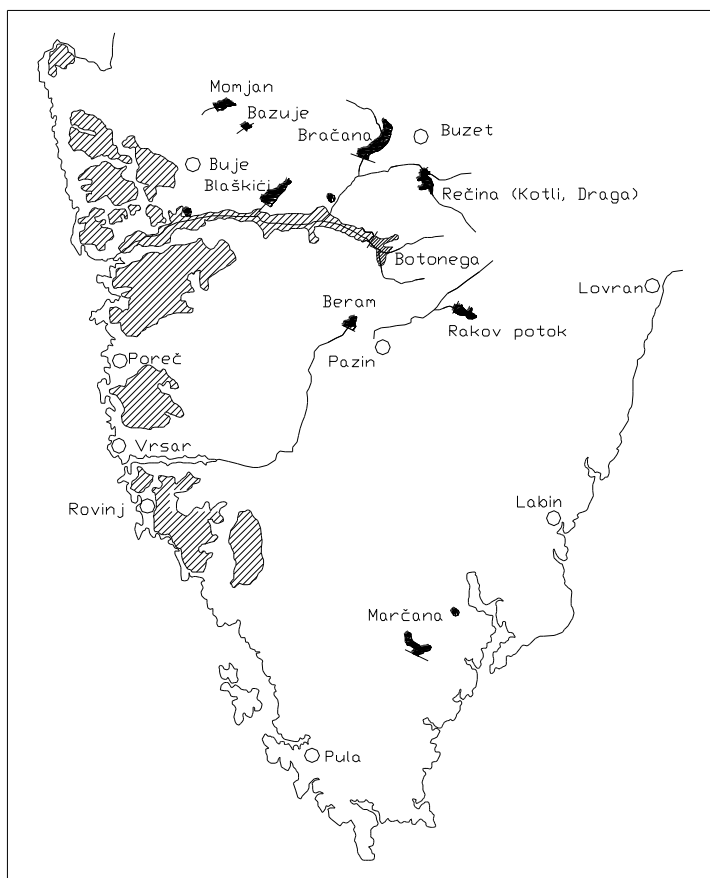
Ova se akumulacija nalazi na istoimenom vodotoku, koji čini jedan od tri pritoka vodotoka Pazinčice, kod naselja Gologorica s planiranim volumenom od 6.8 mil.m³, kotom najnižeg vodostaja od 280.0 m n.m. i kotom normalnog uspora od 294.0 m n.m. Uz planirani mrtvi prostor od 0.2 mil.m³ i prostor za smanjenje vodnog vala od 1.1 mil.m³ neto volumen bi iznosio 5.5 mil.m³. Iz ove akumulacije moglo bi se osigurati dovoljnu količinu vode za navodnjavanje 1500 ha. Visina brane iznosila bi 20.0 m, a dužina 340.0 m.

4.4.7. Akumulacija Beram

U neposrednoj blizini sela Beram, u koritu Beramskog potoka, nalazi se pogodan presjek za granju pregrade za akumulaciju Beram, korisnog volumena 6.0 mil.m^3 , sa kotom normalnog uspora 264.0 m n.m. i najnižom kotom vode 252.0 m n.m. Iz te akumulacije može se navodnjavati površina od 1927 ha . Za ovo rješenje visina brane iznosila bi 16.5 m , a dužina u kruni 545.0 m .

4.4.8. Akumulacija Momjan i retencija Bazuje

Akumulacija Momjan imala bi korisni volumen od 9.1 mil.m^3 , s kotom normalnog uspora na 242.0 m n.m. i najnižom kotom vode 208.0 m n.m. Iz te akumulacije može se osigurati voda za navodnjavanje površine od 2636 ha . Za ovo rješenje visina brane iznosila bi 43.5 m , a dužina u kruni 283.0 m .



Slika 4.4.1: Lokacije potencijalnih akumulacija

Retencija Bazuje imala bi volumen od 0.70 mil.m^3 . Kota normalnog uspora iznosila bi 261.5 m n.m. , a najniža kota vode 257.4 m n.m. Za ovo rješenje visina brane iznosila bi 7.8 m , a dužina u kruni 334.0 m .

Potrebno je izgraditi spoj akumulacije Momjan i retencije Bazuje (tunel dužine 570 m , akvadukt dužine 160 m te otvoreni kanal dužine 7.810 m).

4.4.9. Akumulacija Marčana

Na potezu izvor Blaz—Pula, između naselja Marčana i Krmice, kod sela Mutvoran, nalazi se povoljna lokacija za izgradnju akumulacije. Područje na kojem bi se locirala akumulacija izgrađeno je iz propusnih vapnenačkih naslaga, što traži poboljšavanje vododrživosti (otješnjenje) dna akumulacije (oblaganje plastičnim folijama). Iz akumulacije Marčana može se navodnjavati 5080 ha od kojih se podrazumijeva navodnjavanje 1653 ha poljoprivrednih površina na području Puljštine. Što znači da ostaje vode za navodnjavanje još 3427 ha na području zapadne Istre.

Za podmirivanje navedenih površina akumulacija bi imala slijedeće dimenzije: volumen akumulacije 16 mil. m³, visina brane 37 m i dužina 320 m. Kota gornje vode iznosila bi 134 m n. m.

Lokacije potencijalnih akumulacija prikazane su na slici 4.4.1.

4.5. Tehnički i financijski pokazatelji potencijalnih akumulacija

Svi tehnički i financijski pokazatelji za potencijalne akumulacije dani su tablicama 4.5.1. i 4.5.2.

5. Generiranje varijanata

Za generiranje varijanata analizirane su sve potencijalne lokacije akumulacija i poljoprivredne površine koje treba opskrbiti odgovarajućim količinama vode za navodnjavanje [t.4.].

Uočeno je da se vodotocima Rečina i Draga, koji tvore Mirmu, nalaze tri interesantne lokacije za gradnju nasutih brana i akumulaciju vode, od kojih se dvije akumulacije mogu locirati neovisno jedna o drugoj, Kotli i Draga i jedna, koja isključuje prethodne dvije akumulacije, Rečina. Usporedbom akumulacija Kotli i Draga i akumulacije Rečina donesena je odluka da je Rečina bolji izbor jer, iako je u početku skuplja zbog neophodnih otješnjenja dna akumulacije, osigurava veću količinu vode za navodnjavanje poljoprivrednih površina, veći volumen akumulacije za prihvrat velikih voda, a zauzima svojim volumenom manju površinu, što smanjuje negativan ekološki i estetski utjecaj akumulacije na okolno područje bogato prirodnim ljepotama (npr. 'kotli'), povijesnim i kulturnim spomenicima (mjesto Hum uz kojeg se koristi atribut 'najmanjeg grada na svijetu', glagoljaška škola i spomenici sa natpisima na glagoljici u mjestu Roč ...).

Na osnovu podataka o poljoprivrednim površinama i lokacijama potencijalnih akumulacija, prema situaciji (slika 4.4.1.), analizom svih mogućih varijanata sa aspekta funkcionalnosti, tehničko-tehnološke izvedivosti, ograničenja (ekološka i socijalna) i prihvatljivih ekonomskih troškova iz skupa mogućih kombinacija akumulacija i poljoprivrednih površina izdvojeno je dvanaest zadovoljavajućih varijanata navodnjavanja od kojih treba odabrati najbolju. Postupak odabira najboljeg rješenja u ovom radu proveden je višekriterijskom optimalizacijom.

Tablice 451 i 452 #

Stoga se u daljnjem oblikovanju varijanata kao odabrana potencijalna akumulacija u gornjem toku Mirne koristi Rečina.

S obzirom da je u studiji [4], planirano navodnjavati 17 699 ha poljoprivrednog zemljišta, varijante su oblikovane tako da se nastoji vodom iz potencijalnih akumulacija i izvora pokriti potrebe navodnjavanja tih površina i eventualno iskoristiti višak vode za navodnjavanje dodatnih površina. Pri generiranju varijanata pretpostavlja se da je moguće još do sada neplanirano zemljište koristiti za poljoprivrednu proizvodnju. U varijantama je s oznakom (*) prikazano koliko se više ili manje poljoprivredne površine, po fazama, navodnjava u odnosu na planiranu poljoprivrednu površinu koja je definirana u studiji (17 699 ha).

Varijante su planirane tako da se grade u četiri do pet faza (ovisno o varijanti). Sve varijante imaju zajedničku prvu fazu koja pokriva potrebne količine vode za navodnjavanje 1400 ha poljoprivrednih površina u dolini rijeke Mirne. Tu količinu vode može se osigurati na nekoliko načina. Do 2020. godine, kada će se ukupni volumen vode koristiti za vodoopskrbu, navedena poljoprivredna površina može se navodnjavati vodom iz akumulacije Botonega. Alternativno rješenje je korištenje voda iz tekućeg dotoka Mirne i preljevnih voda izvora koji se nalaze u njenom slivu (Tombazin, Sv. Ivan, Bulaž i Gradole) [4], naravno vodeći računa da se u koritu osigura ekološki prihvatljiv protok tijekom cijele godine.

Akumulacije Rakov Potok i Beram, odnosno akumulaciju Momjan i retenciju Bazuje, planira se graditi i koristiti istovremeno kao sustav Rakov Potok—Beram odnosno Momjan—Bazuje, pa se stoga u varijantama vode kao jedna faza.

Planiran je gravitacijski dotok vode iz akumulacija korištenjem postojećih korita vodotoka, zatim dalje gravitacijski dotok ili po potrebi, uz pomoć crpnih postaja, tlačni dovod vode cjevovodima do poljoprivrednih površina, direktno ili preko vodosprema koje bi tada osiguravale gravitacijski dotok na poljoprivredne površine. Iz cjevovoda bi se granala mreža za navodnjavanje s odgovarajućom opremom.

Oprema za navodnjavanje definirana je tipom navodnjavanja koji se želi primijeniti na poljoprivrednoj površini. Odabrana su dva tipa navodnjavanja ovisno o usjevu: navodnjavanje kišenjem, za ratarske i povrtlarske usjeve, i lokalizirano navodnjavanje za ostale usjeve [4].

1. VARIJANTA 1

Varijanta 1 obuhvaća navodnjavanje površine od 18499 ha (800 ha više*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.1.):

I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,

II faza – navodnjavanje 3400 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini i 800 ha doline Mirne, vodom iz akumulacije Rečina,

III faza – navodnjavanje 6612 ha Poreštine iz akumulacije Bračana,

IV faza – navodnjavanje 7087 ha, od kojih 3036 ha Bujštine (400 ha više*), 3827 ha Rovinjštine (400 ha više*) i 224 ha doline Mirne, iz akumulacije Blaškići.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.1.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline više ili Mirne,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Bujštine,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine i Rovinjštine.

2. VARIJANTA 2

Varijanta 2 obuhvaća navodnjavanje površine od 17475 ha (224 ha manje*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.2.):

- I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,
II faza – navodnjavanje 3400 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini i 800 ha doline Mirne, vodom iz akumulacije Rečina,
III faza – navodnjavanje 6612 ha Poreštine iz akumulacije Bračana,
IV faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacija Rakov Potok i Beram,
V faza – navodnjavanje 2636 ha Bujštine iz akumulacije Momjan i retencije Bazuje.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.2.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Bujštine,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine.

3. VARIJANTA 3

Varijanta 3 obuhvaća navodnjavanje površine od 17475 ha (224 ha manje*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.3.):

- I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,
II faza – navodnjavanje 3400 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini i 800 ha doline Mirne, vodom iz akumulacije Rečina,
III faza – navodnjavanje 6612 ha Poreštine iz akumulacije Bračana,
IV faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacije Marčana,
V faza – navodnjavanje 2636 ha Bujštine iz akumulacije Momjan i retencije Bazuje.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.3.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Bujštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz akumulacije Marčana na poljoprivredne površine Rovinjštine.

4. VARIJANTA 4

Varijanta 4 obuhvaća navodnjavanje površine od 17950 ha (251 ha više*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.4.):

- I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,
II faza – navodnjavanje 3400 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini i 800 ha doline Mirne, vodom iz akumulacije Rečina,

III faza – navodnjavanje 7087 ha, od kojih 6863 ha Poreštine (251 ha više*) i 224 ha doline Mirne, iz akumulacije Blaškići,

IV faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacija Rakov Potok i Beram,

V faza – navodnjavanje 2636 ha Bujštine iz akumulacije Momjan i retencije Bazuje.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.4.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Bujštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine.

5. VARIJANTA 5

Varijanta 5 obuhvaća navodnjavanje površine od 17950 ha (251 ha više*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.5.):

I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,

II faza – navodnjavanje 3400 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini i 800 ha doline Mirne, vodom iz akumulacije Rečina,

III faza – navodnjavanje 7087 ha, od kojih 6863 ha Poreštine (251 ha više*) i 224 ha doline Mirne, iz akumulacije Blaškići,

IV faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacije Marčana,

V faza – navodnjavanje 2636 ha Bujštine iz akumulacije Momjan i retencije Bazuje.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.5.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Bujštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz akumulacije Marčana na poljoprivredne površine Rovinjštine.

6. VARIJANTA 6

Varijanta 6 obuhvaća navodnjavanje površine od 17735 ha (36 ha više*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.6.):

I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,

II faza – navodnjavanje 6612 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini, 1024 ha u dolini Mirne i 2988 ha Poreštine, vodom iz akumulacije Bračana,

III faza – navodnjavanje 7087 ha, od kojih 3642 ha Poreštine (18 ha više*) i 3445 ha Rovinjštine (18 ha više*), iz akumulacije Blaškići,

IV faza – navodnjavanje 3427 ha Bujštine iz akumulacija Momjan i retencije Bazuje.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.6.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,

- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Bujštine,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine i Rovinjštine.

7. VARIJANTA 7

Varijanta 7 obuhvaća navodnjavanje površine od 18526 ha (827 ha više*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.7.):

- I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,
- II faza – navodnjavanje 6612 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini, 1024 ha u dolini Mirne i 2988 ha Poreštine, vodom iz akumulacije Bračana,
- III faza – navodnjavanje 7087 ha, od kojih 4038 ha Poreštine (414 ha više*) i 3049 ha Rovinjštine (413 ha više*), iz akumulacije Blaškići,
- IV faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacija Rakov Potok i Beram.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.7.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Bujštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine.

8. VARIJANTA 8

Varijanta 8 obuhvaća navodnjavanje površine od 18526 ha (827 ha više*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.8.):

- I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,
- II faza – navodnjavanje 6612 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini, 1024 ha u dolini Mirne i 2988 ha Poreštine, vodom iz akumulacije Bračana,
- III faza – navodnjavanje 7087 ha, od kojih 4038 ha Poreštine (414 ha više*) i 3049 ha Rovinjštine (413 ha više*), iz akumulacije Blaškići,
- IV faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacije Marčana.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.8.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Bujštine,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz akumulacije Marčana na poljoprivredne površine Rovinjštine.

9. VARIJANTA 9

Varijanta 9 obuhvaća navodnjavanje površine od 17502 ha (197 ha manje*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.9.):

I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,

II faza – navodnjavanje 6612 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini, 1024 ha u dolini Mirne i 3185 ha Poreštine, vodom iz akumulacije Bračana,

III faza – navodnjavanje 3427 ha Poreštine iz akumulacija Rakov Potok i Beram,

IV faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacije Marčana,

V faza – navodnjavanje 2636 ha Bujštine iz akumulacije Momjan i retencije Bazuje.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.9.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Bujštine,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Poreštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz akumulacije Marčana na poljoprivredne površine Rovinjštine.

10. VARIJANTA 10

Varijanta 10 obuhvaća navodnjavanje površine od 17977 ha (278 ha više*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.10.):

I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,

II faza – navodnjavanje 7087 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini, 1024 ha u dolini Mirne i 3463 ha Poreštine (278 ha više*), vodom iz akumulacije Blaškići,

III faza – navodnjavanje 3427 ha Poreštine iz akumulacija Rakov Potok i Beram,

IV faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacije Marčana,

V faza – navodnjavanje 2636 ha Bujštine iz akumulacije Momjan i retencije Bazuje.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.10.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- crpna postaja za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Bujštine,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Poreštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz akumulacije Marčana na poljoprivredne površine Rovinjštine.

11. VARIJANTA 11

Varijanta 11 obuhvaća navodnjavanje površine od 18266 ha (567 ha više*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.11.):

I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,

II faza – navodnjavanje 3400 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini i 800 ha doline Mirne, vodom iz akumulacije Rečina,

III faza – navodnjavanje 6612 ha, od kojih 3468 ha Poreštine (283 ha više*), 2920 ha Bujštine (284 ha više*) i 224 ha u dolini Mirne, iz akumulacije Bračana,

IV faza – navodnjavanje 3427 ha Poreštine iz akumulacija Rakov Potok i Beram,

V faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacije Marčana.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.11.):

- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Bujštine,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Poreštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz akumulacije Marčana na poljoprivredne površine Rovinjštine.

12. VARIJANTA 12

Varijanta 12 obuhvaća navodnjavanje površine od 18741 ha (1042 ha više*) koje bi se ostvarilo u slijedećim fazama (prema slici 5.12.):

I faza – navodnjavanje 1400 ha doline Mirne iz Botonege / dotoka Mirne uz preljevne količine izvora,

II faza – navodnjavanje 3400 ha, od kojih 2600 ha na Bujštini i 800 ha doline Mirne, vodom iz akumulacije Rečina,

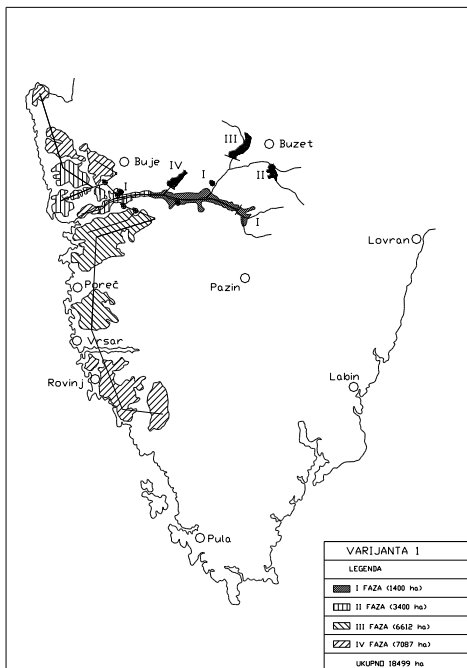
III faza – navodnjavanje 7087 ha, od kojih 3706 ha Poreštine (521 ha više*), 3157 ha Bujštine (521 ha više*) i 224 ha u dolini Mirne, iz akumulacije Blaškići,

IV faza – navodnjavanje 3427 ha Poreštine iz akumulacija Rakov Potok i Beram,

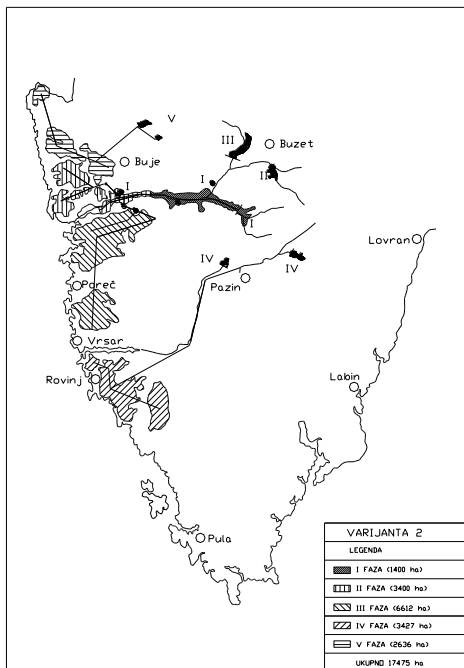
V faza – navodnjavanje 3427 ha Rovinjštine iz akumulacije Marčana.

Ova varijanta obuhvaća gradnju slijedećih crpnih postaja (prema slici 5.12.):

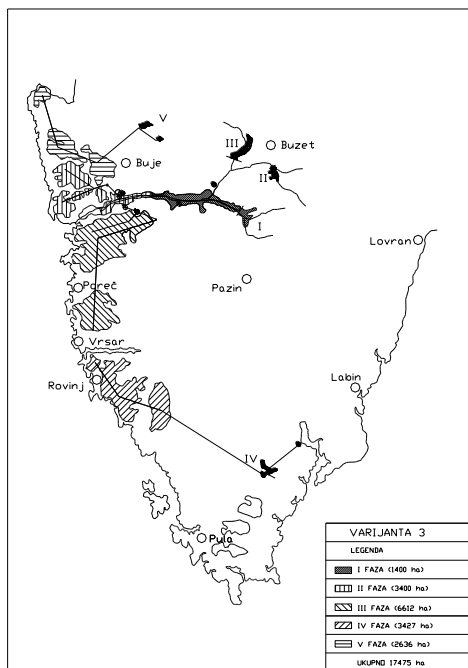
- crpna postaja za osiguranje dopreme vode iz korita rijeke Mirne na poljoprivredne površine doline Mirne,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na poljoprivredne površine Bujštine,
- dvije crpne postaje za dopremu vode iz korita Mirne na dio poljoprivredne površine Poreštine,
- crpna postaja za dopremu vode iz akumulacije Marčana na poljoprivredne površine Rovinjštine.



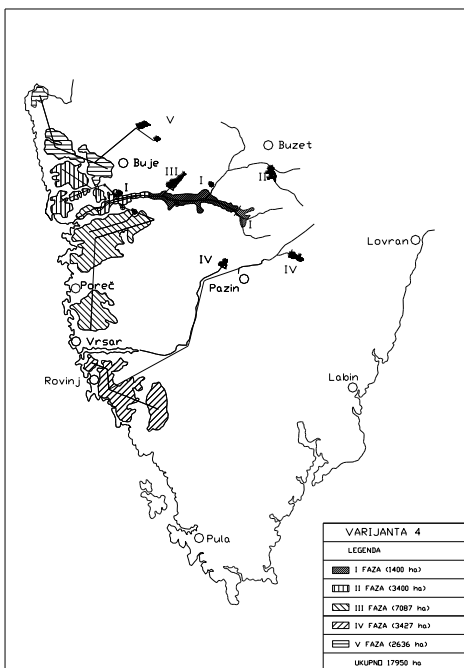
Slika 5.1: Prikaz varijante 1



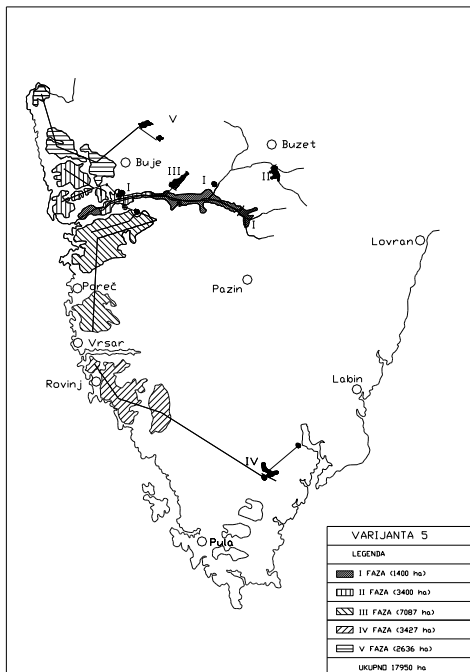
Slika 5.2: Prikaz varijante 2



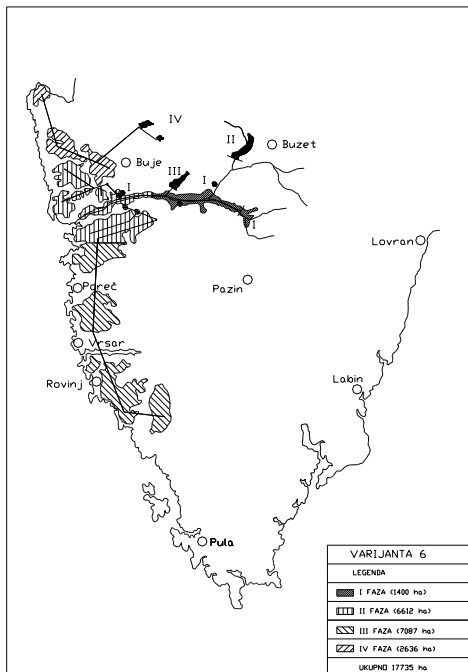
Slika 5.3: Prikaz varijante 3



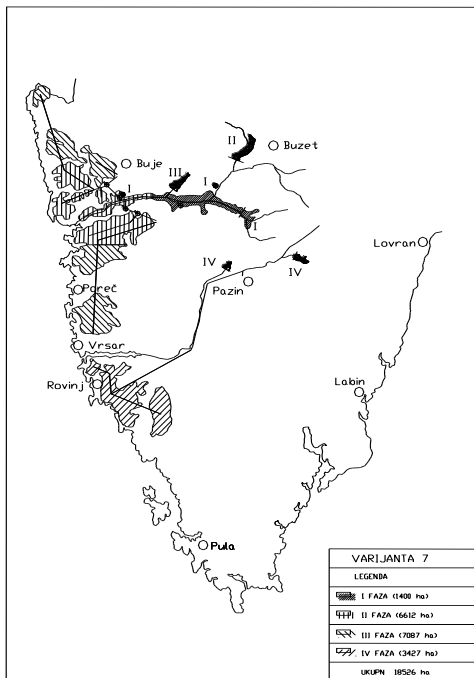
Slika 5.4: Prikaz varijante 4



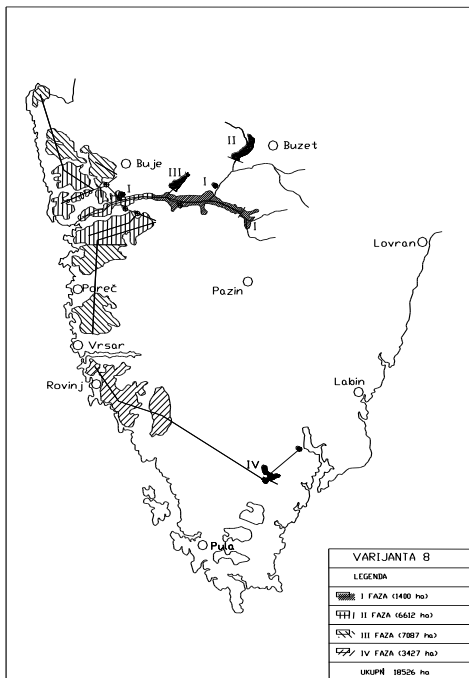
Slika 5.5: Prikaz varijante 5



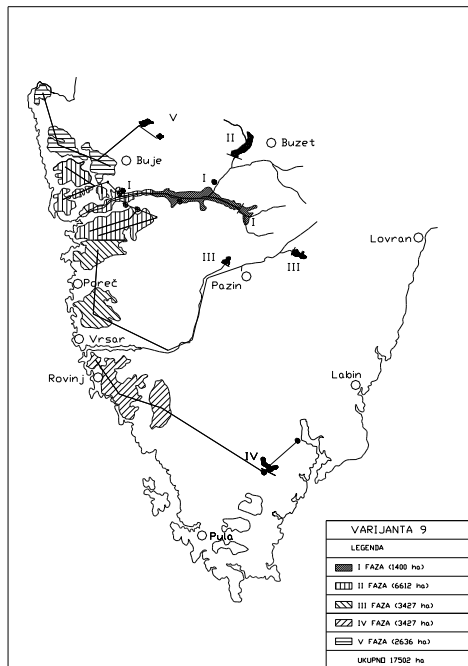
Slika 5.6: Prikaz varijante 6



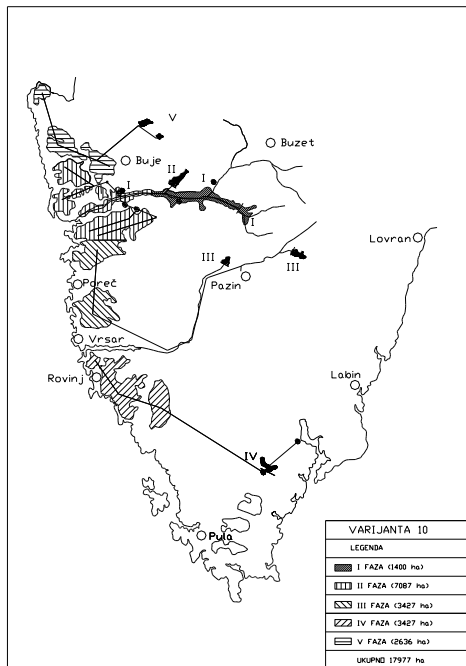
Slika 5.7: Prikaz varijante 7



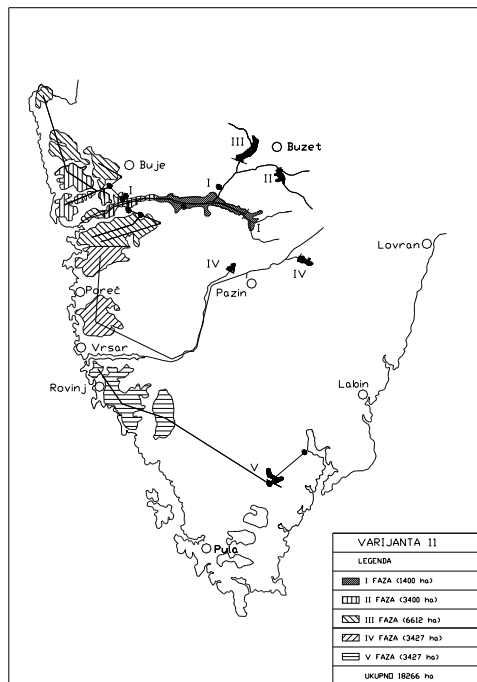
Slika 5.8: Prikaz varijante 8



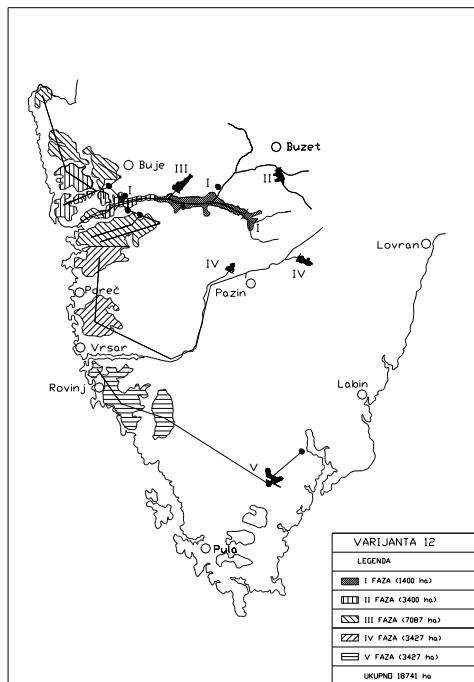
Slika 5.9: Prikaz varijante 9



Slika 5.10: Prikaz varijante 10



Slika 5.11: Prikaz varijante 11



Slika 5.12: Prikaz varijante 12

6. Vrednovanje varijanata po izabranim kriterijima

6.1. Kriteriji kojima se procjenjuje zadovoljenje potreba vezanih uz vode

Kriteriji kojima se procjenjuje zadovoljenje potreba vezanih uz vode na primjeru navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre su:

- za potrebe navodnjavanja: poljoprivredna površina koja se navodnjava (ha),
- za potrebe zaštite od velikih voda: volumen zadržanog vodnog vala ($m^3 \times 10^6$).

6.1.1. Navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre

U [t.5.] definirane su poljoprivredne površine koje se mogu navodnjavati po generiranim varijantama, stoga se ostvarenje potrebe, navodnjavanje, može vrednovati kriterijem poljoprivredne površine (ha) koja se navodnjava, što je prikazano u tablici 6.5.1.

6.1.2. Zaštita od velikih voda

Zaštitu od velikih voda moguće je vrednovati novčanim kriterijem kao što je prikazano u [28], međutim to je teško provesti zbog složenosti pristupa. Višekriterijskom optimalizacijom mogu se uspoređivati razno-dimenzionalni kriteriji, stoga se zaštita od velikih voda može vrednovati na druge načine. S obzirom da za područje Istre, odnosno slivove vodotoka promatranih u ovom radu, nema podataka o štetama koje su izazvale poplave u prošlosti, kao kriterij vrednovanja varijanata, uz pretpostavku da su štete jednake za sva nizvodna područja u omjeru volumena poplavnog vala, korišten je volumen velikih voda kojeg akumulacije pojedine varijante mogu zadržati.

Sumiranjem volumena velike vode kojeg akumulacije pojedinih varijanata mogu zadržati prema tablici 4.5.2., dobiven je ukupan volumen zadržanog velikog vodnog vala po varijanti što je prikazano u tablici 6.5.1

6.2. Ekonomski kriterij

Za određivanje ekonomskih pokazatelja: dobiti, rentabilnosti, interne kamatne stope, [28]neophodno je odrediti:

- troškove gradnje brana i korištenja akumulacija,
- troškove gradnje i korištenja sustava za navodnjavanje i
- koristi od navodnjavanja,
- dok su za određivanje ekonomskog pokazatelja, jedinične cijene m^3 vode, neophodni samo troškovi.

6.2.1. Određivanje troškova i koristi

1. *Troškovi gradnje i korištenja brana i akumulacija*

Kao što je već rečeno u [t.5.] varijante su planirane za izvođenje u fazama. Pretpostavljeno je da treba godinu dana za provođenje prethodnih i pripremnih radova i dvije godine za gradnju svih nasutih brana (osim Blaškići). Za branu Blaškići s obzirom

na nešto veću visinu pretpostavlja se gradnja pregrade u trajanju od tri godine. Planira se započeti sa pripremnim i prethodnim radnjama za slijedeću fazu godinu dana prije završetka prethodne faze. Troškovi gradnje pregrada, uz eventualna otješnjenja akumulacija, pogonski troškovi i troškovi održavanja akumulacija i pregrada preuzeti su iz studije [4].

Za gradnju pregrada korištene su cijene prikazane u tablici 4.5.1. [t.4.5.]. Dinamika troškova je takva da se pretpostavlja korištenje sredstava za pripreme radove, troškove eksproprijacije, troškove izrade projekta i provođenja istraživanja odmah kada se počne sa tim radovima (na početku godine). Nakon godine dana planira se da su ti radovi završeni i tada se pristupa gradnji nasutih pregrada. U prvoj godini gradnje pregrada (sve osim Blaškići) planirano je koristiti 40% investicije za gradnju brane, i eventualno otješnjenje zaplavnog prostora, a u drugoj godini 60% investicije. Za pregradu akumulacije Blaškići investicija je podijeljena na 20% u prvoj, 30% u drugoj i 50% investicije u trećoj godini gradnje. U izračunavanju troškova te sume su uzete na početku svake godine. Na korištena sredstva, u razdoblju korištenja, tri odnosno četiri godine, za ostvarenje prethodnih, pripremnih radova i gradnje pregrada zaračunata je interkalarna kamata koja dodana investiciji daje ukupnu vrijednost kredita koji je potrebno otplatiti.

Kreditni za otplatu investicije planirani su za otplatu na 25 godina. Za ovakve investicije kamatne stope kredita najčešće se kreću oko 8%. Zbog izračunavanja interne kamatne stope bilo je neophodno provesti proračun za kamate 4, 6, 8, 10, 11, 12, 14 i 16%.

Izračunavanje godišnje rate (anuiteta), R , otplate kredita, K , provedeno je prema izrazu:

$$R = K \cdot f \quad (1)$$

gdje je f faktor, kojim množimo ukupnu vrijednost kredita, koji je zadan izrazom:

$$f = \frac{(1 + p)^n p}{(1 + p)^n - 1} \quad (2)$$

p je kamata, a n broj godina otplate kredita.

Na osnovu izraza (1) i (2) izračunate su godišnje rate otplate kredita.

Za korištenje akumulacija potrebno je pretpostaviti troškove održavanja, akumulacija i pregrada, i pogonske troškove. Pretpostavlja se da troškovi održavanja i pogona iznose 2% investicije iz tablice 4.5.1.

S obzirom da će se ekonomski aspekt sagledavati sa stajališta navodnjavanja treba uzeti u obzir dio troškova gradnje i održavanja brana i akumulacija iskazan u % koji pripada navodnjavanju. Preostali dio troškova pripada zaštiti od velikih voda.

Kod brana Rečina, Bračana, Rakov Potok i Momjan 50 % troškova izgradnje i održavanja pripada navodnjavanju, a 50 % zaštiti od velikih voda. Marčana, Blaškići, Beram i Bazuje nemaju utjecaja na zaštitu od velikih voda nego se sav volumen akumulacija koristi za navodnjavanje stoga se cijeli trošak, 100 %, računa kao trošak za navodnjavanje. S obzirom da Rakov Potok i Beram, odnosno Momjan i Bazuje, predstavljaju jednu fazu onda je u odnosu na njihove volumene, određen postotak troškova koji pripada navodnjavanju (75 odnosno 72%). Troškovi gradnje i održavanja brana i akumulacija i pogonski troškovi koji pripadaju navodnjavanju prikazani su u tablici 6.2.1.1.

Tablica 6.2.1.1: *Troškovi gradnje i održavanja brana i akumulacija i pogonski troškovi koji pripadaju navodnjavanju (mil.kn)*

Akumulacija	Dio godišnje rate otplate kredita za gradnju i troškova održavanja brana i akumulacija i pogonskih troškova (mil.kn) koji pripada navodnjavanju uz kamatu od						
	4%	6%	8%	10%	12%	14%	16%
Rečina	3,366970	4,034092	4,781452	5,658420	6,582229	7,601173	8,720497
Bračana	1,512764	1,825192	2,179132	2,598220	3,045332	3,543639	4,096615
Rakov Potok —Beram	3,473094	4,171229	4,956519	5,880909	6,859161	7,942219	9,136381
Momjan —Bazuje	4,967251	5,967096	7,092050	8,416663	9,819038	11,372165	13,085169
Marčana	5,583212	6,686710	7,922145	9,370971	10,895980	12,576947	14,422316
Blaškići	29,206212	35,158214	41,880113	49,820310	58,264095	67,651449	78,045250

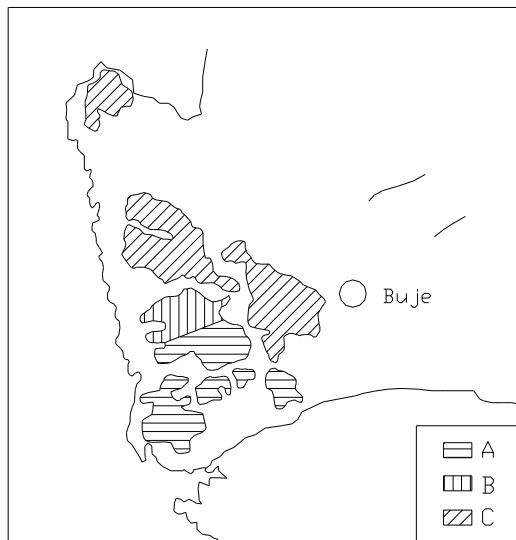
2. Troškovi gradnje i korištenja sustava za navodnjavanje

Za navodnjavanje poljoprivrednih površina vodom iz akumulacija potrebno je vodu dovesti do površine koja se želi navodnjavati. Gradnja sustava za navodnjavanje također je planirana u fazama koje su vezane za faze izgradnje akumulacija iz kojih se planira puštati voda. Planira se odgovarajući dio sustava za navodnjavanje izgraditi u toku zadnje godine izgradnje pripadajuće brane tako da bi se već iduće vegetacijske sezone koristila voda koja bi se akumulirala u izvanvegetacijskom periodu. Prva faza gradnje sustava za navodnjavanje koja podrazumijeva navodnjavanje 1400 ha doline Mirne nije povezana sa akumulacijama pa se izgradnji tog dijela sustava može pristupiti u trenutku kada se želi započeti s ostvarivanjem projekta.

Podaci za izračunavanje troškova izgradnje mreže za navodnjavanje, izgradnje crpnih postaja, opreme i njene ugradnje, pogona i osoblja preuzeti su iz studije [4], kao i rješenja sustava s crpkama (postavljenim gdje nema dovoljno tlaka), cjevovodima, razvodnom mrežom i opremom za navodnjavanje kišenjem ili lokaliziranim navodnjavanjem, ovisno u usjevu. Zbog detaljnijeg obračuna troškova navodnjavanja poljoprivrednih površina Bujština je podijeljena na tri dijela A, B i C prema slici 6.2.2.1.

Iznosi investicije gradnje sustava za navodnjavanje ovisno o lokaciji poljoprivredne površine prikazani su u tablici 6.2.1.2. (Pod sustavom za navodnjavanje u ovom radu podrazumijeva se dovod vode iz akumulacije i navodnjavanje poljoprivrednih površina, stoga u troškove nisu uračunati troškovi gradnje i održavanja pregrada i akumulacija.)

Slika 6.2.1.1:
Podjela Bujštine
na dijelove A, B i C



Tablica 6.2.1.2: Iznosi investicije gradnje sustava za navodnjavanje (kn/ha)

Lokacija poljoprivr. površine	Po- vršina (ha)	Akumulacija	Investicijski troškovi (mil.kn)				Ukupna investicija (kn/ha)
			Mreža za navodnj.	Crpne postaje	Oprema	Ukupna investicija	
Dolina Mirne	1400	Sve varijante	35,966000	5,489	3,675000	45,130400	32236
Bujština (A)	1600	Sve varijante	62,342000	11,558	3,721200	77,621600	48514
Bujština (B)	1000	Sve varijante	22,842750	9,143	2,452800	34,438950	34439
Bujština (C)	2636	Sve akumulacije na Mirni	108,128125	12,394	6,085800	126,608125	48030
	2636	Momjan-Bazuje	117,540500	0,000	5,823300	123,360300	46798
Poreština	6612	Sve varijante osim Rakov Potok—Beram	278,315625	51,568	15,607200	345,490043	52252
	3427	Rakov Potok —Beram	321,281800	0,000	8,036700	329,318500	96095
Rovinjšтина	3427	Sve akumulacije na Mirni	204,228500	22,871	8,036700	235,135950	68613
	3427	Rakov Potok —Beram	321,281800	0,000	8,036700	329,318500	96095
	3427	Marčana	233,881550	22,588	8,036700	264,505850	77183

Za korištenje kredita s kamatama 4, 6, 8, 10, 12, 14 i 16% prema izrazu (2) izračunate su godišnje rate otplate sustava za navodnjavanje, te su godišnjoj rati otplate kredita dodani godišnji troškovi održavanja sustava za navodnjavanje, koji iznose 1% investicije sustava za navodnjavanje, troškove održavanja crpnih postaja i opreme za navodnjavanje, koji iznose 5% investicije crpne postaje i opreme, te pogonske troškove, koji se sastoje od troškova za utrošenu energiju i zaposleno osoblje (preuzeto iz studije [4]).

Ukupan godišnji trošak sustava za navodnjavanje obuhvaća ratu otplate (prema odgovarajućoj kamati), troškove održavanja i pogona i prikazan je tablicom 6.2.1.3.

Tablica 6.2.1.3: *Ukupni godišnji troškovi sustava za navodnjavanje za određenu poljoprivrednu površinu*

Lokacija poljoprivredne površine	Akumulacija	Ukupni godišnji troškovi sustava za navodnjavanje za određenu poljoprivrednu površinu (kn/ha)						
		4%	6%	8%	10%	12%	14%	16%
Dolina Mirne	Sve varijante	4303	4754	5238	5786	6334	6914	7526
Bujština (A)	Sve varijante	6107	6786	7514	8338	9163	10036	10958
Bujština (B)	Sve varijante	5900	6382	6899	7484	8070	8689	9344
Bujština (C)	Sve akumulacije na Mirni	5504	6176	6897	7713	8530	9394	10307
	Momjan – Bazuje	4149	4804	5506	6302	7097	7940	8829
Poreština	Sve v. osim Rakov Potok — Beram	6536	7267	8051	8939	9828	10768	11761
	Rakov Potok — Beram	7793	9138	10580	12214	13847	15577	17403
Rovinjština	Sve akumulacije na Mirni	7884	8845	9874	11040	12207	13442	14745
	Rakov Potok — Beram	7793	9138	10580	12214	13847	15577	17403
	Marčana	8914	9994	11152	12464	13776	15166	16632

3. Koristi od navodnjavanja

Korist od navodnjavanja proizlazi iz uvećanog prinosa poljoprivrednih kultura uslijed navodnjavanja, stoga korist od navodnjavanja treba odrediti tako da se od ukupne koristi koja je ostvarena na poljoprivrednim površinama oduzme korist koja bi bila ostvarena bez navodnjavanja.

Prinos u uvjetima navodnjavanja ovisi o usjevu pa tako za povrće (kao predstavnik odabrana je rajčica) prinos iznosi 5000 kg/ha, za voće (breskva) 2000 kg/ha, za vinovu lozu 5800 kg/ha i za ratarske kulture (pšenica) 5000 kg/ha [4]. Povećanje prinosa uslijed navodnjavanja definirano je u [t.4.]. Isti podatak može se prikazati kao redukcija prinosa bez navodnjavanja, za povrće, voće i vinovu lozu na području Istre ona iznosi 50%, a za vinovu lozu 25%. Za formiranje cijena poljoprivrednih proizvoda korišteni su podaci Ministarstva šumarstva i poljoprivrede obavljani na Internetu. Korištene su aproksimativne cijene: za povrće 6 kn/kg; voće 10 kn/kg, grožđe 10 kn/kg i ratarske kulture 1 kn/kg. S obzirom da se sve varijante uspoređuju koristeći iste cijene eventualna netočnost u cijeni neće uzrokovati promjene u konačnom rangiranju varijanata. Korist od prinosa obračunata je na kraju svake godine.

6.2.2. Ekonomski pokazatelji

1. Cijena 1 m³ vode za navodnjavanje

Jednostavniji ekonomski pokazatelj, od dobiti, rentabilnosti i interne kamatne stope, ali ujedno i manje točan, je cijena 1 m³ vode u kunama.

Za određivanje cijene vode pretpostavljeno je korištenje kamatne stope od 8%. Cijena vode sastoji se od cijene vode u akumulaciji i cijene korištenja sustava za navodnjavanje što je prikazano u tablici 6.2.2.1. kao primjer za slučaj varijante 1. Cijena vode sa svaku pojedinu varijantu dana je u tablici 6.5.1.

Tablica 6.2.2.1: *Cijena vode za varijantu 1*

Varijanta 1 Izvor vode za navodnjavanje	Površina za navod. (ha)	Količina vode (mil.m ³)	Troškovi akumulacije (mil.kn)	Cijena vode u akumulaciji (kn/m ³)	Troškovi sustava za navod. (mil. kn)	Cijena korištenja sustava za navod. (kn/m ³)	Ukupna cijena (kn/m ³)
Izvori	1400	4,00	0	0	7,332634	1,83	
Rečina	3400	9,06	4,781452	0,53	23,110730	2,55	
Bračana	6612	17,98	2,179132	0,12	53,232954	2,96	
Blaškići	7087	20,00	41,880113	2,09	59,899746	2,99	
	18499	51,04	17,702	0,94	143,576	2,81	3,76

2. Dobit, rentabilnost i interna kamatna stopa

Na osnovu podataka i postupaka opisanih u [t.6.2.1] provedena je detaljna ekonomska analiza varijanata na osnovu koje su izračunate dobiti i rentabilnosti za kamatne stope 4, 6, 8, 10, 12, 14 i 16% i interne kamatne stope, za svaku varijantu posebno.

Za svaku varijantu dinamika radova, troškova i koristi može se prikazati grafički. Kao primjer dan je grafički prikaz varijante 1 (slika 6.2.2.1.).

Način proračunavanja dobiti i rentabilnosti prikazan je na primjeru varijante 1, za kamatu od 8%, u tablicama 6.2.2.2., 6.2.2.3. i 6.2.2.4.

Iz navedenih tablica može se odrediti dobit od navodnjavanja koja predstavlja razliku koristi od navodnjavanja i troškova gradnje i održavanja pregrada, akumulacija i sustava za navodnjavanje. Za varijantu 1, uz kamatnu stopu od 8 %, dobit na kraju projektnog razdoblja korištenja cjelokupnog sustava, iznosi 312,057 milijuna kuna, a rentabilnost 1,229. Za određivanje interne kamatne stope izračunate su dobiti i rentabilnosti i za ostale kamatne stope (4, 6, 10, 12, 14 i 16%), prema literaturi [28], interna kamatna stopa predstavlja kamatu za koji dobit iznosi 0, odnosno rentabilnost 1, što nije moguće odrediti direktno. Rezultati proračuna za varijantu 1 prikazani su u tablici 6.2.2.5.

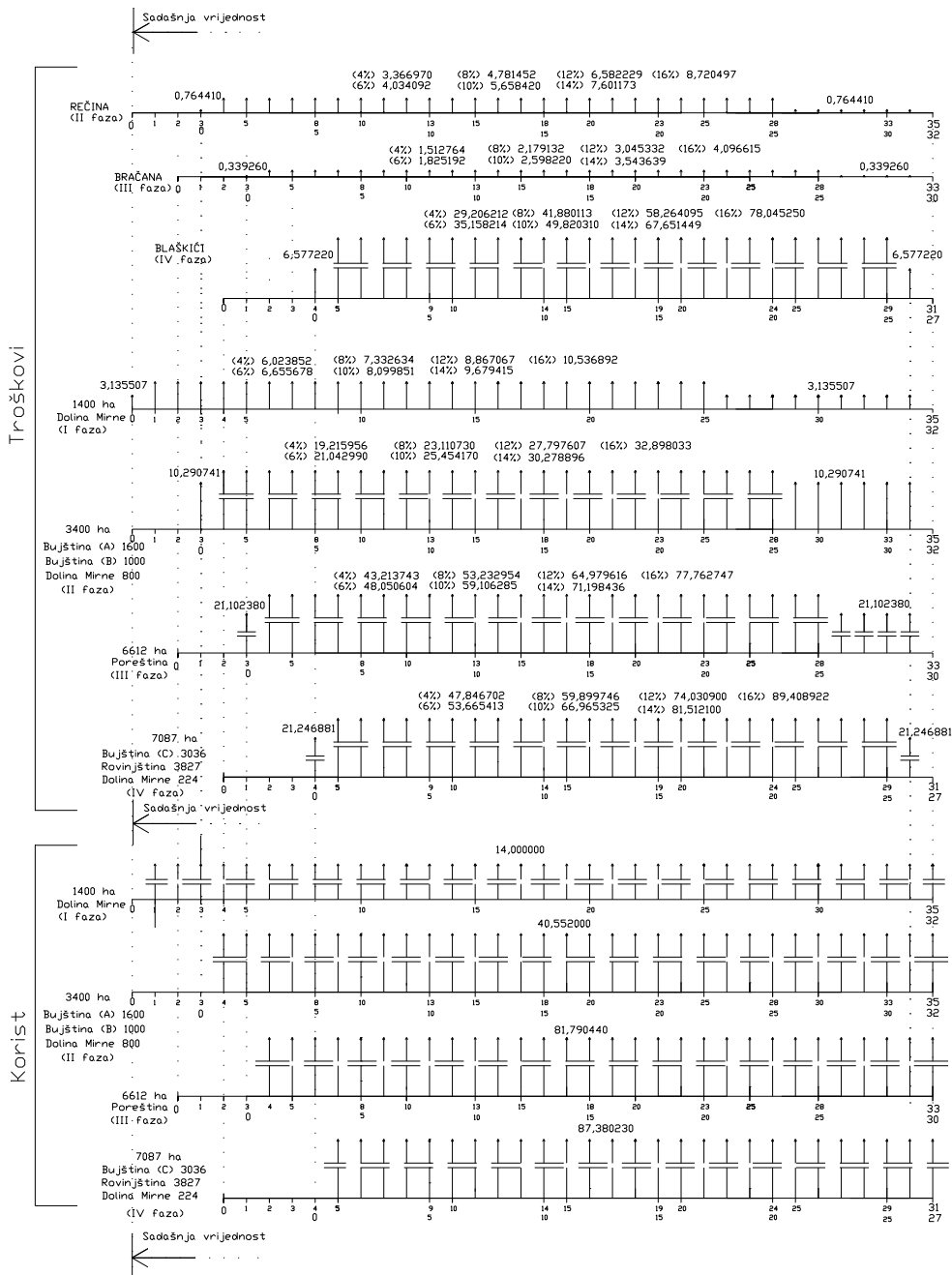
Tablica 6.2.2.5:

Izračunana dobit, rentabilnost i interna kamatna stopa za varijantu 1

Varijanta 1		
Kamata (%)	Dobit (mil.kn)	Rentabilnost
4	1141,809	1,580
6	628,796	1,388
8	312,057	1,229
10	105,874	1,090
12	-19,874	0,981
14	-100,900	0,888
12	-154,211	0,809
Interna kamatna stopa (%)		11,65

Izračunane vrijednosti dobiti, rentabilnosti i interna kamatna stopa za ostale varijante prikazane se u tablici 6.5.1.

Za usporedbu varijanata u ovom radu koristi se dobit i rentabilnost uz kamatnu stopu 8% i interna kamatna stopa.



Slika 6.2.2.1: Grafički prikaz dinamike troškova i koristi za varijantu 1

Tablica 6.2.2.2#

Tablica 6.2.2.3#

Tablica 6.2.2.4#

6.3. Ekološki kriterij

Vrednovanje varijanata treba obuhvatiti elemente utjecaj akumulacija na životnu sredinu [28]. S obzirom da na području Istre nisu provedena istraživanja utjecaja akumulacija na životnu sredinu nije se mogao koristiti pristup iz literature [28] stoga su odabrana su dva nešto drugačija načina vrednovanja ekološkog aspekta varijanata.

Prvi kriterij vrednuje varijante prema površinama koje potapaju akumulacije pri maksimalnoj razini vode. Površina koja biva potopljena vodom nepovratno mijenja životnu sredinu, strukturu života, biljaka i životinja i to se smatra negativnim utjecajem varijanata. Vrednovanje varijanata provedeno je zbrajanjem površina svih akumulacija koje čine pojedine varijante, što je prikazano za varijantu 1 u tablici 6.3.1.

Tablica 6.3.1:

Ekološki kriterij
— površine akumulacija
za varijantu 1

Varijanta 1	Površina akumulacija (m ² *10 ³)
Akumulacija	
Rečina	6560
Bračana	22500
Blaškići	4600
Ukupna površina (m ² *10 ³)	33660

Vrednovanje varijanata provedeno je na isti način kao i za varijantu 1, a rezultati su prikazani u tablici 6.5.1.

Drugi ekološki kriterij vrednuje estetsku komponentu. Iako jezera kada su puna izgledaju lijepo, u razdoblju kada su u akumulacijama niski vodostaji ogoljele obale su ružna posljedica gradnje hidrotehničkih objekata. Taj negativan efekt vrednovan je visinom ogoljele obale. S obzirom da ti podaci nisu prikazani u studiji [4] korištene su visine pregrada prema tablici 4.5.2. Varijante su vrednovane tako da su sumirane visine svih brana koje čine pojedinu varijantu, što je prikazano za varijantu 1 u tablici 6.3.2., dok su konačne vrijednosti za sve varijante prikazane u tablici 6.5.1.

Tablica 6.3.2:

Ekološki kriterij
— ukupna visina pregrada
za varijantu 1

Varijanta 1	Visina brane (m)
Akumulacija	
Rečina	47
Bračana	36
Blaškići	59
Ukupna visina (m)	142

Poželjno bi bilo vrednovati ekološki utjecaj akumulacija na nizvodno područje. Varijante su zamišljene tako da sve akumulacije trebaju ispuštati prihvatljivi minimum cijele godine. Na taj način osiguralo bi se održavanje životinjskog i biljnog svijeta na tom području. Eventualna zagađenja koja bi dospjela u vodotok mogla bi se razblažiti ispuštanjem većih količina vode iz akumulacija i tako izbjeći negativne posljedice koje bi to zagađenje moglo uzrokovati. S obzirom na složenost varijanti takvo je vrednovanje bilo teško provedivo.

6.4. Socijalni kriterij

Za vrednovanje varijanata sa socijalnog aspekta ne postoje konkretni podaci za promatrano područje na osnovu kojih bi se rješenja mogla vrednovati. Za pravilno vrednovanje trebalo bi provesti detaljnu analizu svih elemenata koji su opisani u [28]. S obzirom da to nije osnovni cilj ovog rada, za vrednovanje varijanata sa socijalnog aspekta korištena su dva opisna kriterija. Prvi kriterij ocjenjuje koje varijante uzrokuju potapanje postojećih naselja koja se nalaze u zaplavnom području akumulacije. Jedina akumulacija koja uzrokuje potapanje naselja je akumulacija Blaškići, stoga su varijante koje u kombinaciji imaju tu akumulaciju, a to su varijante 1, 4, 5, 6, 7, 8, 10 i 12, ocijenjene sa 1 jer imaju negativan utjecaj, ostale varijante 2, 3, 9, 10 i 11, su vrednovane sa 0 što znači da socijalno nemaju negativan utjecaj na stanovništvo.

Kao drugi kriterij promatrane su mogućnosti korištenja akumulacija za rekreaciju. Akumulacije su u odnosu na kriterij povoljnosti korištenja za rekreaciju ocijenjene vrijednostima: 0 nepovoljno za rekreaciju, što se odnosi na akumulacije Blaškići, Rakov Potok—Beram i Momjan—Bazuje, i 1 povoljno za rekreaciju, što se odnosi na akumulacije Rečina, Bračana i Marčana. Akumulacije su vrednovane u odnosu na udaljenost akumulacija od drugih značajnih turističkih mjesta i atrakcija i veličini akumulacije. Vrijednosti varijanata po kriteriju rekreacije dobivene su sumiranjem ocjena akumulacija koje čine pojedinu varijantu, što je za varijantu 1 prikazano u tablici 6.4.1., dok su rezultati za sve varijante prikazani u tablici 6.5.1.

Tablica 6.4.1:
Socijalni kriterij
– rekreacija za varijantu 1

Varijanta 1	Ocjena akumulacije
Akumulacija	
Rečina	1
Bračana	1
Blaškići	0
Ukupna ocjena	2

S obzirom da su poljoprivredne površine na istim lokacijama i da se razlikuju samo po površini i to ne značajno sve varijante djeluju sa socijalnog aspekta jednako na stanovništvo područja pa se taj aspekt nije proučavao.

6.5. Pregled vrednovanja varijanata po izabranim kriterijima

Uz navedene kriterije izabran je još jedan koji vrednuje rješenja prema poljoprivrednoj površini koju se navodnjava.

Pregled vrednovanja varijanata po odabranim kriterijima dan je u tablici 6.5.1:

- navodnjavana površina (**P**),
- zaštita od velikih voda, volumen velikog vodnog vala kojeg mogu zadržati akumulacije pojedine varijante (**VVV**), ekonomski kriteriji:
- cijena m^3 vode za navodnjavanje (**C**),
- dobit od navodnjavanja (uz kamatu od 8%) (**D**),
- rentabilnost navodnjavanja (za kamatu od 8%) (**R**),
- interna kamatna stopa (**IKS**),

- ekološki kriteriji:
- utjecaj na područje koje se potapa akumulacijom (EK/P),
 - utjecaj na krajobraz područja (EK/K),
- socijalni kriteriji:
- negativan utjecaj uslijed potapanja naselja (SK/UP),
 - mogućnost rekreacije (SK/R).

Tablica 6.5.1: Vrednovanje varijanata po izabranim kriterijima

Varijante	P (ha)	VVV (m ³ ×10 ⁶)	C (kn)	D (za 8%) (mil.kn)	R (za 8%)	IKS (%)	EK/P (m ² ×10 ³)	EK/K (m)	SK/UP	SK/R
1	18499	8,48	3,76	312,057	1,229	11,65	33660	142	1	2
2	17475	11,72	3,17	487,068	1,434	14,08	50370	170,8	0	2
3	17475	9,42	3,26	449,713	1,388	13,75	47500	149,3	0	3
4	17950	6,47	3,89	184,293	1,134	9,81	32470	193,8	1	1
5	17950	4,17	3,98	150,740	1,107	9,54	29600	172,3	1	2
6	17735	6,19	3,75	296,186	1,211	11,19	33350	146,3	1	1
7	18526	7,55	3,71	297,143	1,204	11,05	42160	131,5	1	1
8	18526	5,25	3,80	275,849	1,186	10,93	39290	110	1	2
9	17502	8,49	3,12	417,761	1,335	12,76	56000	138,8	0	2
10	17977	3,24	4,04	82,769	1,055	8,76	38100	161,8	1	1
11	18266	10,78	3,35	428,189	1,348	13,26	56310	134,5	0	3
12	18741	5,53	4,05	134,541	1,091	9,33	38410	157,5	1	2

Tablica 6.6.1: Rezultati ispitivanja zavisnosti izabranih kriterija

	P	VVV	C	D	R	IKS	EK/P	EK/K	SK/UP	SK/R
P	0 (0,1029)	NE (0,1029)	DA/NE (0,3693)	NE	NE	NE (0,2331)	NE (0,1047)	NE (0,1391)	DA/NE (0,3672)	NE (0,0092)
VVV	NE (0,1029)	0	DA (0,7429)	DA	DA	DA (0,8604)	DA/NE (0,5211)	NE (0,0128)	DA (0,6439)	DA/NE (0,3022)
C	DA/NE (0,3693)	DA (0,7429)	0	DA (0,9061)	DA (0,9298)	DA (0,9017)	DA (0,7302)	NE (0,0463)	DA (0,8737)	DA/NE (0,2966)
D	NE	DA	DA (0,9061)	0	DA (0,9774)	DA (0,9869)	DA	NE	DA	DA/NE
R	NE	DA	DA (0,9298)	DA (0,9774)	0	DA (0,9919)	DA	NE	DA	DA/NE
IKS	NE (0,2331)	DA (0,8604)	DA (0,9017)	DA (0,9869)	DA (0,9919)	0	DA (0,5753)	NE (0,0785)	DA (0,7561)	DA/NE (0,3906)
EK/P	NE (0,1047)	DA/NE (0,5211)	DA (0,7302)	DA	DA	DA (0,5753)	0	NE (0,1174)	DA (0,8035)	DA/NE (0,3156)
EK/K	NE (0,1391)	NE (0,0128)	NE (0,0463)	NE	NE	NE (0,0785)	NE (0,1174)	0	NE (0,0062)	NE (0,0755)
SK/UP	DA/NE (0,3672)	DA (0,6439)	DA (0,8737)	DA	DA	DA (0,7561)	DA (0,8035)	NE (0,0062)	0	DA/NE (0,4706)
SK/R	NE (0,0092)	DA/NE (0,3022)	DA/NE (0,2966)	DA/NE	DA/NE	DA/NE (0,3906)	NE (0,0755)	NE (0,0755)	DA/NE (0,4706)	0

DA – čvrsta korelacijska veza,
 DA/NE – izražena korelacijska veza,
 NE – slabo izražena korelacijska veza, u zagradama se nalaze vrijednosti R^2

6.6. Ispitivanje zavisnosti izabranih kriterija

Za sve izabrane kriterije potrebno je provjeriti postoji li međusobna zavisnost. Ovisno o koeficijentu korelacije R (ili kvadratu koeficijenta korelacije R^2) može se odrediti prema [29] koliko je zavisnost između kriterija:

- za $1 < R < 0,75$ ili $1 < R^2 < 0,5625$ korelacijska veza je čvrsta,
- za $0,75 < R < 0,5$ ili $0,5625 < R^2 < 0,25$ korelacijska veza je izražena,
- za $R < 0,5$ ili $R^2 < 0,25$ korelacijska veza je slabo izražena.

Rezultati ispitivanja zavisnosti odabranih kriterija prikazani su u tablici 6.6.1.

7. Primjena izabranih postupaka višekriterijske optimalizacije i rezultati

7.1. Plan ispitivanja

Izabrani postupci višekriterijske optimalizacije (korištenjem računarskih programa) analizirani su prema planu istraživanja. Svrha plana istraživanja je odrediti kombinacije odabranih kriterija, težina kriterija i kriterijske funkcije čijim bi se promjenama uočio njihov utjecaj na izbor optimalnog rješenja.

Odabranim kriterijima definiranim u tablici 6.5.1. dodjeljivane su težine:

- 0 — kriterij se ne uzima u obzir,
- 1 — mala težina kriterija,
- 2 — srednja težina kriterija,
- 3 — velika težina kriterija.

S obzirom da su podaci o navodnjavanim površinama varijanata egzaktni i varijante detaljno vrednovane sa ekonomskog aspekta prvo je provedeno ispitivanje rangiranja varijanata po kriterijima: navodnjavana površina, cijena vode i interna kamatna stopa (umjesto korištenja dobiti, rentabilnosti i interne kamatne stope s obzirom na njihovu međusobnu zavisnost korišten je samo kriterij interna kamatna stopa), kojima su dodjeljivane navedene težine u različitim kombinacijama prema tablici 7.1.1.

U slijedećem koraku uveden je kriterij zaštite od velikih voda te provedeno ispitivanje za različite težine i kombinacije kriterija: navodnjavana površina, cijena vode, interna kamatna stopa i zaštita od velikih voda prema tablici 7.1.2.

Uvođenjem ekoloških kriterija (površine akumulacija i krajobraz-visina brana) ispitivanje je provedeno za različite težine i kombinacije kriterija: navodnjavana površina, cijena vode, interna kamatna stopa, zaštita od velikih voda i ekološki kriteriji prema tablici 7.1.4.

U slijedećem koraku uveden je socijalni kriterij prema kojem se vrednuje negativan utjecaj potapanja naselja te je ispitivanje rangiranja varijanata provedeno za različite težine i kombinacije kriterija: navodnjavana površina, cijena vode, interna kamatna

stopa, zaštita od velikih voda, ekološki kriteriji i socijalni kriterij-utjecaj potapanja naselja, prema tablici 7.1.4.

Konačno je provedeno ispitivanje korištenjem različitih težina i kombinacije svih kriterija uključujući i socijalni kriterij-rekreacija, prema tablici 7.1.5.

S obzirom da je u [t.6.6.] ustanovljena zavisnost među nekim kriterijima provedeno je ispitivanje postupaka za kombinacije samo nezavisnih kriterija (uključen je jedino socijalni kriterij-rekreacija za kojeg je izražena korelacijska veza sa ostalim kriterija, ali nije čvrsta). Prvo je provedeno ispitivanje varijacijom težina nezavisnih kriterija: navodnjavana površina, cijena vode, ekološki kriterij-krajobraz i socijalni kriterij-rekreacija, prema tablici 7.1.6., a zatim sa svim navedenim kriterijima, ali uz zamjenu ekonomskog kriterija cijena vode s kriterijem interna kamatna stopa, prema tablici 7.1.7.

U tablici 7.1.8. za ispitivanje su korišteni odabrani kriteriji neovisno o njihovoj međusobnoj zavisnosti, ali su zato nezavisnim kriterijima dane težine onoliko puta veće koliko je zavisnih kriterija u danoj kombinaciji.

Tablica 7.1.1: Težine kriterija za rangiranje varijanata prema kriterijima navodnjavana površina, cijena vode i interna kamatna stopa

Broj kombinacije	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
P	1	2	1	1	2	1	2	3	1	1	3	1	3	2	1	3	2
C	1	1	2	1	2	2	1	1	3	1	3	3	1	3	2	1	1
IKS	1	1	1	2	1	2	2	1	1	3	1	3	3	1	3	2	3
VVV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EK/P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EK/K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK/UP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK/R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablica 7.1.2: Težine kriterija za rangiranje varijanata prema kriterijima navodnjavana površina, cijena vode, interna kamatna stopa i zaštita od velikih voda

Broj kombinacije	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
C	1	2	3	2	3	2	2	1	1	1	1	1
IKS	1	2	3	2	3	2	3	1	2	1	1	1
VVV	1	1	1	2	3	2	2	2	2	3	2	3
EK/P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EK/K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK/UP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK/R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablica 7.1.3: *Težine kriterija za rangiranje varijanata prema kriterijima navodnjavana površina, cijena vode, interna kamatna stopa, zaštita od velikih voda i ekološki kriteriji*

Broj kombinacije	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
P	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2
C	1	2	3	2	3	2	2	1	1	1	1	1	2	2
IKS	1	2	3	2	3	2	3	1	2	1	1	1	2	2
VVV	1	1	1	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	3
EK/P	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
EK/K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SK/UP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK/R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablica 7.1.4: *Težine kriterija za rangiranje varijanata prema kriterijima navodnjavana površina, cijena vode, interna kamatna stopa, zaštita od velikih voda, ekološki kriteriji i socijalni kriterij-utjecaj potapanja naselja*

Broj kombinacije	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
P	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
C	1	2	3	2	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
IKS	1	2	3	2	3	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2
VVV	1	1	1	2	3	2	2	2	2	2	2	3	2	3	1	1	2	2	2	3	3
EK/P	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	3	1	1	2	3	2	1	1	1	1
EK/K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SK/UP	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	3	2	2	2	3	2	1	2	1	2
SK/R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablica 7.1.5: *Težine kriterija za rangiranje varijanata prema svim odabranim kriterijima*

Broj kombinacije	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2
C	1	2	3	2	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
IKS	1	2	3	2	3	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2
WWW	1	1	1	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	1	1	2	2	1	2	3	3	
EK/P	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	3	1	1	2	3	2	2	2	1	1	1
EK/K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SK/UP	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2
SK/R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1

Tablica 7.1.6: Težine kriterija za rangiranje varijanata prema kriterijima navodnjavana površina, cijena vode, ekološki kriterij-krajobraz i socijalni kriterij-rekreacija

Broj kombinacije	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	1	2	3	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	2	3	1	1	3	2	3
C	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2	3	2	3	1	1	3	1	1	3	2
IKS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EK/P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EK/K	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2	3	2	3	1	3	3	1	3
SK/UP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK/R	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	1

Tablica 7.1.7: Težine kriterija za rangiranje varijanata prema kriterijima navodnjavana površina, interna kamatna stopa, ekološki kriterij – krajobraz i socijalni kriterij – rekreacija

Broj kombinacije	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	1	2	3	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	2	3	1	1	3	2	3
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IKS	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2	3	2	3	1	1	3	1	1	3	2
WWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EK/P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EK/K	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2	3	2	3	1	3	3	1	3
SK/UP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK/R	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	1

Tablica 7.1.8: Težine kriterija za rangiranje varijanata prema odabranim kriterijima

Broj kombinacije	1	2	3	4	5	6	7
P	2	3	4	4	5	5	6
C	1	1	1	1	1	1	1
IKS	1	1	1	1	1	1	1
VVV	0	1	1	1	1	1	1
EK/P	0	0	1	1	1	1	1
EK/K	0	0	0	4	5	5	6
SK/UP	0	0	0	0	1	1	1
SK/R	0	0	0	0	0	5	1

7.2. Primjena software-a PROMCALC & GAIA V.3.2 i rezultati

PROMCALC & GAIA V.3.2. računarski program temelji se na postupku višekriterijske optimalizacije PROMETHEE. PROMCALC & GAIA V.3.2. program je predviđen za korištenje u MS-DOS sustavu. Danas se na tržištu nalazi i novija verzija računarskog programa baziranog na PROMETHEE postupku, a to je Decision Lab 2000 koji radi pod Windows sustavom.

Uz PROMETHEE postupak u računarskom programu PROMCALC & GAIA V.3.2. nalazi se i program za grafičku prezentaciju rezultata GAIA.

PROMCALC traži kao ulazne podatke:

- vrijednosti varijanata po pojedinim kriterijima,
- tip kriterija i podatke za oblikovanje funkcije preferencije,
- težine kriterija.

Izlazni podaci koji slijede iz programa su:

- matrica korelacije,
- statistički podaci o vrijednostima varijanata po pojedinim kriterijima,
- indeksi preferencije,
- prikaz funkcija preferencije,
- tokovi preferencije (ulazni, izlazni i čisti tok),
- prema PROMETHEE I grafički prikaz djelomične rang liste varijanata,
- prema PROMETHEE II grafički prikaz potpune rang liste varijanata,
- analiza stabilnosti težina,
- GAIA analiza.

Uneseni su podaci dani tablicom 6.5.1. (bez dobiti i rentabilnosti jer su ti kriteriji popuno zavisni, međusobno i u odnosu na kriterij interna kamatna stopa) te proveden proračun po PROMETHEE II postupku prema tablicama težina kriterija od 7.1.1. do 7.1.8. Rezultati ispitivanja su prikazani tabelarno i grafički u radu [30]. Za sve kriterije prvo je proveden proračun sa običnim kriterijem odnosno kriterijem tipa I za kojeg nije potrebno definirati nikakve parametre [9][21][24].

Cijeli proces ispitivanja ponovljen je za tablice težina kriterija od 7.1.1. do 7.1.5., ali uz drugačiji tip kriterija. Za sve kriterije odabrana je kriterijska funkcija tipa IV [9][21][24], tzv. razinski kriterij, osim za socijalne kriterije koji su opisani kriterijskom funkcijom tipa I.

Za kriterije tipa IV definirane su vrijednosti q i p prema tablici 7.2.1.

Tablica 7.2.1: Vrijednosti q i p za formiranje kriterijske funkcije IV tipa

Kriterij	mjera	q	p
P	ha	300	600
C	kn	0,1	0,2
IKS	%	1	2
VVV	$m^3 \times 10^6$	1	2
EK/UP	$m^2 \times 10^3$	1000	3000
EK/K	m	5	10

ZAKLJUČAK ANALIZE RANG LISTA UKOLIKO SE PROMATRA KORITENJE JEDNE KRITERIJSKE FUNKCIJE (TIP I) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.8.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Na vrhu rang lista pojavljuju se varijante 2, 7, 9 i 11, a pri dnu varijante 4, 5, 10 i 12. Sredina rang listi se mijenja. Najlošije varijante su 5 i 10. Nema neke izrazite zakonitosti u rangiranju varijanata koja se posebno ističe. Promjenom težina znatno se utječe na promjenu ranga varijanata.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Na vrhu rang listi smjenjuju se varijante 2 i 11, nakon toga slijede varijante 3 i 9, pa 1, 7, 6, 8, 4, 12, 5 i kao najlošija varijanta 10. Promjena težina kriterija ne uzrokuje velike razlike u rang listama. Ta sličnost u rezultatima uzrokovana je zavisnošću kriterija cijene vode, interne kamatne stope i kriterija zaštite od velikih voda. Kombinacije 1, 2, 11 i 12 koje daju veću težinu kriteriju navodnjavanja površina daju rang 1 varijanti 1 koja je bolja po tom kriteriju od varijante 11. Slično se dešava i sa ostalim varijantama.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Na vrhu rang listi pojavljuje se, uz varijante 2 i 11, varijanta 1. To je posljedica uvođenja ekoloških kriterija od kojih je kriterij koji je vrednovan površinama akumulacija zavisan o kriterijima: cijena vode, interna kamatna stopa i zaštita od velikih voda. Svi kriteriji, ukoliko se pojedinačno promatraju, varijantu 1 stavljaju u sredinu rang liste, ali kako ostale varijante zauzimaju posve različite rangove po različitim kriterijima, ona se ističe među boljim varijantama. Na rangovima od 1 do 6 varijante se značajnije izmjenjuju uslijed promjene težina kriterija, dok je na rangovima od 7 do 12 to manje izraženo.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Rang liste su ujednačenije, u odnosu na prethodni slučaj, zbog većeg broja zavisnih kriterija. Odstupanja se javljaju za rang 3 i 4 gdje se smjenjuju varijante 3 i 9 i za rangove 10 i 11 gdje se smjenjuju varijante 5 i 10. Zavisnost kriterija očituje se u kombinacijama 5, 6, 7, 8 i 9, gdje zavisni kriteriji imaju značajnije težine i utječu na pozicioniranje varijante 2 na vrh rang liste. Na rangu 1 prevladava varijanta 11 kao najbolja, zatim slijede varijante 2, 3, 9, 1, 7, 6, 8, 4 te 5 i 12 i kao najgora varijanta 10.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Uvođenje ekološkog kriterija krajobraz očituje se izmjenama varijanata na rangovima 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10 i 11, dok je po svim kombinacijama težina najbolja varijanta 11, a najlošija 10. Na rangu 5 zadržava se varijanta 1, a na rangu 6 varijanta 7. Za kombinacije 6, 7, 8 i 9 po rangovima se uočava zavisnost kriterija.

6. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.6.)

Rang liste su izrazito neujednačene što je rezultat primjene kriterija koji nisu u međusobnoj zavisnosti. Kao najbolja varijanta pojavljuje se u većini slučajeva varijanta 11, a četiri puta varijanta 8. Varijanta 8 pojavljuje se kao najbolja ukoliko je kriteriju navodnjavanja površina dana značajna težina u odnosu na ostale kriterije. Najlošiju varijantu predstavlja varijanta 4 jer je ona najgora po kriteriju krajobraz. Ne uočava se nikakva druga zavisnost u rangiranju varijanata.

7. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.7.)

Rang liste su izrazito neujednačene što je rezultat primjene kriterija koji nisu u međusobnoj zavisnosti. Kao najbolja varijanta ponovo se ističe varijanta 11, dok najlošije varijante predstavljaju varijante 4 i 10. Iz istih razloga kao i za kombinaciju

težina iz tablice 7.1.6., varijanta 8 se pojavljuje 3 puta kao najbolja. Ne uočava se nikakva druga zavisnost u rangovima.

8. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.8.)

Korištenjem kriterija neovisno o njihovoj zavisnosti ukoliko se nezavisnim kriterijima da onoliko puta veća težina koliko je zavisnih kriterija uočava se smanjen utjecaj zavisnosti. Varijanta 2 nalazi se na lošim rangovima dok se na rang 1 uz varijantu 11 penju varijanta 7 i 8 koje su se za prethodne kombinacije kriterija, osim za slučaj korištenja samo nezavisnih kriterija kada su visoko rangirane, nalazile u srednjim rangovima.

ZAKLJUČAK ANALIZE RANG LISTA UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE KOMBINACIJE KRITERIJSKIH FUNKCIJA (TIP I I TIP IV) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Stabilan rang imaju varijanta 11 (rang 1), 5 (rang 11) i 10 (rang 12). Ostale varijante mijenjaju rang u ovisnosti od promjene težina kriterija. Među boljim varijantama nalaze se uz 1, još varijante 2, 9 i 3. Na rang 6 prevladava varijanta 7, a na rang 7 varijanta 8. Na rangovima 8, 9 i 10 neujednačeno se izmjenjuju varijante 5, 12 i 4.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Rang liste su ujednačene s izuzetkom rangova 9 i 10 na kojima se izmjenjuju varijante 4 i 12. Takva ujednačenost je posljedica zavisnosti kriterija cijene vode, interne kamatne stope i zaštite od velikih voda. Varijante su rangirane tako da je najbolja varijanta 11, a zatim slijede 2, 3, 9, 1, 7, 8, 6, 4 i 12, 5 i kao najgora varijanta 10.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Uvođenje ekoloških kriterija od kojih je jedan zavisna (površina akumulacije od cijene vode, interne kamatne stope i zaštite od velikih voda) i jedan posve nezavisna (krajobraz) uzrokuje male promjene u rangovima. Pri vrh rang liste penje se varijanta 1. Rangovi 2, 3, 4, 5 i 6 su promjenjivi, dok su rangovi 1 i 12 (varijante 11 i 10) stabilni, a rangovi 7, 8 i 10 malo promjenjivi.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Stabilni su rangovi 1 (varijanta 11), 6 (varijanta 7), 7 (varijanta 8), 8 (varijanta 6), 11 (varijanta 5) i 12 (varijanta 10). U ostalim rangovima uočava se mala promjena (za rangove 2 i 3 varijante 2 i 3, za rangove 4 i 5 varijante 1 i 9, za rangove 9 i 10 varijante 4 i 12).

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Uvođenje nezavisnog socijalnog kriterija rekreacija uzrokuje promjene rangova za različite kombinacije težina. Stabilne su varijante 11 s rangom 1 i 10 s rangom 12.

ZAKLJUČAK USPOREDBE RANG LISTA UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE JEDNE KRITERIJSKE FUNKCIJE (TIP I) I KOMBINACIJE KRITERIJSKIH FUNKCIJA (TIP I I TIP IV) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Uočeno je da se rang liste varijanata manje mijenjaju ako se odabere kriterij tipa IV, što je posljedica zanemarivanja malih razlika među varijantama po pojedinim kriterijima. Kod kriterija tipa IV stabilne su varijante 11, 5 i 10, dok se kod ostalih

varijanti može uočiti manje osciliranje u odnosu na određivanje rangova s kriterijem tipa I, iako je ono i dalje prisutno.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Uočava se značajna stabilnost rezultata ukoliko su kriteriji tipa IV. Rezultati se poklapaju u većini rangova, izuzev u rangovima 7 i 8 gdje je po kriteriju tipa I bolja varijanta 6 od 8, a po kriteriju IV obrnuto.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Iako se zbog uvođenja ekoloških kriterija javljaju promjene u rangovima može se uočiti da su one blaže ukoliko se primjeni kriterij tipa IV. Za oba tipa kriterija uočava se napredovanje varijante 1 na viši rang u odnosu na kriterije iz tablice 7.1.2. Postoji razlika u rangovima varijanata 6 i 8.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Promjene varijanata po rangovima blaže su za kriterij tipa IV. Uočava se razlika u rangovima za varijantu 6 i 8, kao kod prethodnih kombinacija kriterija.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Promjene rangova su podjednake za primjenu oba tipa kriterija što je rezultat uvođenja još jednog nezavisnog kriterija, a to je socijalni kriterij rekreacija. Uočava se razlika u rangovima za varijantu 6 i 8, kao kod prethodnih kombinacija.

Uočeno je da varijante međusobno utječu na formiranje konačnog ranga stoga je poželjno postepeno eliminirati loše varijante (jednu po jednu) i ponavljati postupak optimalizacije bez eliminiranih varijanata.

Cijeli postupak ispitivanja osjetljivosti promjene rang lista pri promjeni težine kriterija proveden je ponovo za sve kombinacije težina kriterija prikazane u tablicama 7.1.1.—7.1.5. prvo korištenjem kriterija tipa I, a zatim korištenjem kriterija tipa IV za sve kriterije osim socijalnih koji su i dalje definirani kriterijem tipa I, ali za četiri varijante 2, 3, 9 i 11 koje su se pokazale najboljima u prethodnim ispitivanjima.

ZAKLJUČAK ANALIZE RANG LISTA SUŽENOG SKUPA VARIJANATA (2,3,9,11) UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE JEDNE KRITERIJSKE FUNKCIJE (TIP I) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Rang liste su neujednačene. Na rangu 1 izmjenjuju se sve varijante.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Na rangu 1 stabilizirala se varijanta 2, na 4 rangu nalazi se pretežno varijanta 9, dok rang 2 i rang 3 naizmjenično zauzimaju varijante 3 i 11.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Rangovi su i dalje mijenjaju za promjene težina kriterija, ali u manjoj mjeri nego za kombinacije kriterija iz tablice 7.1.1. i 7.1.2. kao posljedica zavisnosti kriterija cijena vode, interna kamatna stopa, zaštita od velikih voda i ekološkog kriterija površine akumulacija.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Za kombinaciju težina iz tablice 7.1.4. s obzirom da su sva četiri odabrana rješenja ista po socijalnom kriteriju utjecaja potapanja naselja rangovi su identični rangovima za kombinaciju iz tablice 7.1.3. što znači da su i rezultati usporedbe isti.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Pojavljuju se značajnije promjene rangova, u odnosu na rezultate dobivene na osnovu kriterije prema tablici 7.1.4. Na rang 1 stabilizirala se varijanta 2, a na rang 4 varijanta 9.

ZAKLJUČAK ANALIZE RANG LISTA SUŽENOG SKUPA VARIJANATA (2,3,9,11) UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE KOMBINACIJE KRITERIJSKIH FUNKCIJA (TIP I I TIP IV) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Promjene u rangovima izražene su za prva tri ranga dok se na rang 4 stabilizirala varijanta 3 kao najlošija.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Na rang 1 i 2 izmjenjuju se varijante 11 i 2, dok na rang 3 prevladava varijanta 9, a na rang 4 varijanata 3.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Na rang 1 i 2 izmjenjuju se varijante 11 i 2, dok se na rang 3 i 4 izmjenjuju varijante 3 i 9.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Za kombinaciju težina iz tablice 7.1.4. s obzirom da su sva četiri odabrana rješenja ista po socijalnom kriteriju utjecaja potapanja naselja rangovi su identični rangovima za kombinaciju iz tablice 7.1.3.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Na rang 1 prevladava varijanta 11 uz utjecaj varijante 2, na rang 3 prevladava varijanta 3, a na rang 4 apsolutno prevladava varijanata 9.

ZAKLJUČAK ANALIZE USPOREDBE RANG LISTA SUŽENOG SKUPA VARIJANATA (2,3,9,11) UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE JEDNE KRITERIJSKE FUNKCIJE (TIP I) I KOMBINACIJE KRITERIJSKIH FUNKCIJA (TIP I I TIP IV) ZA ISTE KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Za slučaj primjene kriterija IV tipa rangovi se malo manje mijenjaju (varijanta 3 se stabilizirala na rang 4). Na rang 1 po kriterijima tipa I izmjenjuju se sve varijante, dok se po kriteriju IV na toj poziciji pretežno nalazi varijanta 11.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Za oba kriterija primjećuje se promjena rangova, koja je za nijansu manja u slučaju kriterija IV tipa.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Primjenom običnog kriterija uočava se stabilizacija varijante 2 na prvom rang 1 dok se na ostalim rangovima izmjenjuju varijante. Kod ispitivanja kriterija tipa IV postoje promjene rangova, ali su nešto blaže nego za slučaj primjene kriterija tipa I.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Vrijedi isto kao i za prethodnu točku.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Kod ispitivanja kriterija tipa IV postoje promjene rangova, ali su nešto blaže nego za slučaj primjene kriterija tipa I.

ZAKLJUČAK ANALIZE REZULTATA PRIMJENE PROMETHEE POSTUPKA (PROMCALC&GAIA V.3.2.)

Na osnovi analize svih rezultata dobivenih primjenom navedenog programa doneseni su sljedeći zaključci:

- Na rangiranje varijanata značajno utječe zavisnost kriterija koja rezultira ujednačenim rang listama za različite kombinacije težina. Promjene rangova ističu se za kombinacije kriterija definirane tablicama 7.1.1., 7.1.3. i 7.1.5. gdje su neki kriteriji međusobno zavisni, ali se koriste i neki koji nisu zavisni, dok su za kombinaciju iz tablica 7.1.6. i 7.1.7. kriteriji posve nezavisni pa su oscilacije još izražajnije. Za kombinacije iz tablice 7.1.2. i 7.1.4. veći broj kriterija je zavisan pa su i rang liste ujednačenije. Korištenje zavisnih kriterija s odgovarajućim težinama (nezavisni kriteriji imaju onoliko puta veću težinu koliko ima zavisnih kriterija) prema tablici 7.1.8. daje rezultate slične kombinacijama samo nezavisnih kriterija 7.1.6. i 7.1.7.
- Korištenje kriterija tipa IV zanemaruje male razlike u varijantama i omogućava da se na viši rang plasiraju one varijante koje su značajnije bolje po nekim kriterijima od drugih, a neznatno lošije od njih.
- S obzirom da se varijante po PROMETHEE metodi potpuno rangiraju na osnovu čistog toka koji je rezultat razlike ulaznog i izlaznog toka (koji se određuju na osnovu relacije višeg ranga među varijantama) rang lista je rezultat međuodnosa svih varijanata po izabranim kriterijima pa sve varijante utječu na konačni rang, stoga eliminiranje nekih varijanata utječe na rangiranje preostalih varijanti što se vidi iz usporedbe rang lista svih dvanaest varijanata i četiri varijanata gdje se one za iste kriterije i težine kriterija razlikuju.
- Za kombinacije prema tablicama 7.1.1.—7.1.5. kao najbolja varijanta izabrana je iz skupa od svih dvanaest varijanata varijanta 11 zatim varijanta 2 i rjeđe 3, a iz suženog skupa od četiri varijante (2, 3, 9 i 11) varijanta 2 i rjeđe varijanta 11. Iz skupa od svih dvanaest varijanata prema tablicama 7.1.6.—7.1.8. kao najbolje varijante ističu se 11, 8 i 7.

7.3. Primjena software-a ELECTRE TRI 2.0 a i rezultati

Računarski program ELECTRE TRI 2.0 a temelji se na postupku višekriterijske optimalizacije ELECTRE TRI [25]. ELECTRE TRI 2.0 a program je predviđen za korištenje pod Windows sustavom.

ELECTRE TRI 2.0 a traži kao ulazne podatke:

- λ – podjelu (za određivanje optimističkog ili pesimističkog pristupa sortiranju varijanata),
- kriterije i težine kriterija,
- profile – granice kategorija, za svaku granicu kategorije njezine performanse, pragove indiferencije, preferencije i zabrane,
- vrijednosti varijanata po pojedinim kriterijima.

Izlazni podaci koji slijede iz programa su:

- varijante sortirane po kategorijama (pesimistički i optimistički pristup),
- grafička usporedba varijanata sa kategorijama,

- stupnjevi vjerojatnosti
- statistički podaci.

Odabrana je podjela $\lambda = 0,5$ za koju optimističan i pesimističan pristup daju jednake rezultate. Uneseni su podaci dani tablicom 6.5.1. (bez dobiti i rentabilnosti jer su ti kriteriji popuno zavisni, međusobno i u odnosu na kriterij interna kamatna stopa). Za sve kriterije prvo su odabrani pragovi $q = p = 0$ koji predstavljaju tzv. običan kriterij te su povedeni proračuni za tablice težina kriterija 7.1.1.—7.1.8., zatim je cijeli proces ispitivanja ponovljen za tablice težina kriterija od 7.1.1. do 7.1.5., ali uz drugačije pragove pseudokriterija. Za sve kriterije, osim socijalnih (gdje je korišten običan kriterij s pragovima $q = p = 0$) uvedeni su pseudokriteriji s odabranim pragovima p i q prema tablici 7.2.1.

Ispitivanje je provedeno za dvije vrste kategorija, prvo za dvanaest kategorija, a nakon toga za tri kategorije (dobra, srednje dobra i loša rješenja).

ZAKLJUČAK ANALIZE SORTIRANJA VARIJANATA PO DVANAEST KATEGORIJA (1 najbolja, 12 najlošija) UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE OBIČNOG KRITERIJA ($q = p = 0$) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.8.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

U prvoj kategoriji nalazi se pretežno varijanta 2, uz manje zastupljene varijante 3, 9 i 12. Varijanta 12 sortirana je u najbolju kategoriju za kombinacije težina koje povećavaju utjecaj kriterija površina u odnosu na ostale kriterije. Varijanta 3 javlja se u prvoj i drugoj kategoriji uz pojavljivanje varijante 11. U treću kategoriju sortirane su pretežno varijante 9 i 11 uz pojavljivanje varijanata 1, 7 i 8 za kombinacije težina koje povećavaju utjecaj kriterija površina u odnosu na ostale kriterije. U kategoriji 4 i 5, izuzev jednog pojavljivanja varijante 11 nema varijanata. Kategoriju 7 čini varijanta 7 uz pojavljivanje varijante 6. Kategorije 8, 9, 10, 11 i 12 pretežno čine varijante (po redu) 8, 6, 4, 5 i 11, 10. U tim kategorijama pojavljuje se odstupanje za kombinacije težina 2, 8 i 16 zbog značajnijeg utjecaja kriterija navodnjavane površine. Kategorije su relativno ujednačene izuzev za kombinacije 2, 8, 9 i 16.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Uočava se stabiliziranje varijanata po kategorijama kao posljedica zavisnosti kriterija cijena vode, interna kamatna stopa i zaštite od velikih voda. Varijanta 2 je jedina u kategoriji 1. Kategoriju 2 čine varijante 3 i 11, kategoriju 3 varijanta 9 i ponekad varijanta 11. Kategorija 4 je prazna ili je čini varijanta 3, dok kategoriju 5 čine varijante 1 i 9 ili je prazna. U kategoriju 6 spadaju varijante 1 i 7, u 7 6 i 7, u kategoriju 8 varijante 4 i 8. Kategoriju 9 čine varijante 6, 8, i 12, kategoriju 10 varijanta 4 ili je prazna, kategoriju 11 varijante 5 i 12, dok je u kategoriji 12 uvijek varijanta 10. Oscilacije su malo manje nego za slučaj težina kriterija iz tablice 7.1.1.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

U kategoriji 1 stabilizirala se varijanta 2, u kategoriji 4 varijanta 3, u kategoriji 6 pretežno varijanta 7, u kategoriji 7 pretežno varijanta 6 uz rijetku pojavu varijanti 7 i 12. Kategoriju 8 čine varijante 4 i 8 i rijetko 10, kategoriju 9 varijanta 12 uz pojavu varijante 5, kategoriju 10 ukoliko nije prazna čini varijanta 4. Kategoriju 11 čini varijanta 5, a kategoriju 12 varijanta 10. Sortiranje varijanata po kategorijama postaje jednoličnije nego za kriterije prema tablici 7.1.2. što je rezultat zavisnosti jednog od kriterija koji je dodan (ekološki kriterij površine akumulacija).

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Ujednačavanje sortiranja varijanata po kategorijama rezultat je uvođenja kriterija socijalnog utjecaja potapanja naselja. Uočava se stabiliziranje varijante 2 u prvoj kategoriji i varijante 10 u zadnjoj. Pojavljuju se oscilacije varijanta jednu kategoriju gore ili dolje, ali nema drastičnih skokova varijanata za dvije ili više kategorija. Varijante se uz male izmjene javljaju u istim kategorijama kao za težine kriterija iz tablice 7.1.3.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Uočava se da se nema značajnih promjena u sortiranju varijanata po kategorijama u odnosu na prethodnu kombinaciju kriterija i težina kriterija prema tablici 7.1.4. iako se to očekivalo zbog uvođenja nezavisnog socijalnog kriterija rekreacije. Varijanta 8 se javlja na višim kategorijama nego za prethodne kombinacije kriterija i težina.

6. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.6.)

Sortiranje varijanta po kategorijama nema uočljivu zakonitost i uveliko se razlikuje pri promjeni težina kriterija što je rezultat nezavisnosti kriterija prema kojima je provedeno ispitivanje. Uočava se da se u najboljoj kategoriji mijenjaju varijante 2, 3, 5, 8, 9 i 11. Varijanta 3 se stabilizirala u kategoriji 2, dok se u najlošijim kategorijama nalazi varijanta 4, uz varijantu 10 koja za pojedine kombinacije težina kriterija odskače u kategoriju 8 te varijante 2, 5 i 6. U bolje kategorije penju se i varijante 7 i 8. U kategoriju 7 spustila se varijanta 2 što je relativno nisko u odnosu na druge kombinacije kriterija.

7. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.7.)

Sortiranje varijanta po kategorijama uveliko se razlikuje pri promjeni težina kriterija što je rezultat nezavisnosti kriterija prema kojima je provedeno ispitivanje. Uočava se da se u najboljoj kategoriji pretežno nalazi varijanta 3, dok se u najlošijim kategorijama nalazi varijanta 4, uz varijantu 10 koja za ovu kombinaciju kriterija za pojedine težine kriterija odskače u kategoriju 8 te varijante 2 i 5. U bolje kategorije penju se i varijante 7 i 8.

8. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.8.)

Uočava se sortiranje varijanata 7, 8 i 11 među bolja rješenja. Varijanta 2 zadržava se u prvoj kategoriji samo za kombinacije 1 i 2, za ostale kombinacije sortirana je u lošije kategorije.

ZAKLJUČAK ANALIZE SORTIRANJA VARIJANATA PO DVANAEST KATEGORIJA (1 najbolja, 12 najlošija) UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE KOMBINACIJE KRITERIJSKIH FUNKCIJA (običan kriterij $q = p = 0$ i pseudokriterij za vrijednosti p, q definirane prema tablici 7.2.1.) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Velik broj varijanta sortiran je u kategoriju 1, a to su 2,3,9 i 11, uz pojavljivanje varijanti 1, 7, 8 i 12. U kategorijama 11 i 12 nema varijanta. Kao najgora varijanta na rang 9 i 10 ističe se varijanta 11. Sortiranje varijanata nije ujednačeno.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Uočava se stabiliziranje varijanata po kategorijama kao posljedica zavisnosti kriterija prema kojima se provodi optimalizacija. U prvoj kategoriji nalaze se uvijek varijante 2 i 11, malo rjeđe varijanta 3 i još rjeđe varijanta 9. Kategorija 2 je pretežno prazna. Kategoriju 3 čine varijanta 1 i 9, kategoriju 4 varijanta 7, kategoriju 5 varijante 6 i 8 i rijetko 7, zatim kategoriju 6 varijanta 4. U kategoriji 7 javljaju se varijante 5, 8 i 12,

u kategoriji 8 varijante 5 i 12, u kategoriji 9 varijanta 5 ili je prazna, a u kategoriji 10 varijanta 10. Zadnje dvije kategorije su prazne.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Pojavljuju se značajnije razlike u sortiranju varijanta po kategorijama za različite težine kriterija što je uzrokovano uvođenjem ekoloških kriterija (kriterij površina akumulacija je zavisn o ekonomskim kriterijima i kriteriju zaštite od velikih voda i krajobraz koji je posve nezavisn o drugim kriterijima). U kategoriji 1 nalaze se varijante 2 i 11 uz pojavu varijanti 3 i 9. Kategoriju 2 čini varijanta 3, zatim se na kategoriji 3 nalaze varijante 1 i 9, u kategoriji 4 varijante 7 i 8. Kategoriju 5 čini varijanta 6 uz pojavu varijante 8 i jednom varijanata 3 i 7. Kategoriju 6 čini varijanta 4, kategoriju 7 varijante 4, 10 i 12. Varijanta 5 stabilizirala se u kategoriji 8 dok kategorije 9 i 10 ukoliko nisu prazne čini varijanta 10. Zadnje dvije kategorije su prazne.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Situacija je jednaka kao za ispitivanje provedeno prema težinama kriterija definiranim u tablici 7.1.3. iako se uvodi zavisni socijalni kriterij potapanja naselja.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Uočava se da ustaljenost varijanta u istim kategorijama. Situacija je slična kao u prethodnim tablicama i opet su zadnje dvije kategorije prazne.

ZAKLJUČAK ANALIZE USPOREDBE SORTIRANJA VARIJANATA PO DVA-NAEST KATEGORIJA (1 najbolja, 12 najlošija) UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE RAZLIČITIH KRITERIJSKIH FUNKCIJA (običan kriterij $q = p = 0$ i kombinacija običnog i pseudokriterija za vrijednosti p, q definirane prema tablici 7.2.1.) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Po običnom kriteriju u kategoriju 1 ulaze varijanta 2, a povremeno i varijante 3, 9 i 12, dok su za pseudokriterij u kategoriji 1 varijante 2, 3, 9, 11, uz rijetko pojavljivanje varijanata 1, 7, 8 i 12. Korištenjem pseudokriterijem sve varijante rangiranju se nekoliko kategorija više, pa su za pseudokriterije kategorije 11 i 12 prazne.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Zavisnost kriterija rezultira ujednačenijim sortiranjem varijanata po kategorijama. Po običnom kriteriju najbolja je varijanta 2, dok za pseudokriterije prvu kategoriju čine varijante 2, 11 te 3 i 9. Varijante se prema pseudokriterijima rangiraju nekoliko kategorija više nego za obične kriterije.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Uvođenje ekoloških kriterija od kojih je jedan zavisn od ekonomskih kriterija i kriterija zaštite od velikih voda, a drugi nezavisn rezultira malo manjom ujednačenošću sortiranja varijanata po kategorijama nego za kombinaciju kriterija iz tablice 7.1.2. Najbolje varijante su sortirane slično kao za kriterije prema tablici 7.1.3., s tim da korištenje pseudokriterija plasira varijante nekoliko kategorija više nego običan kriterij.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Socijalni kriterij potapanja naselja ujednačava rezultate, s time da se opet po pseudokriteriju varijante plasiraju nekoliko kategorija više nego za običan kriterij.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Kriterij rekreacija uvodi neujednačenost jer je nezavisn od drugih kriterija. Ponavljaju se iste karakteristike za pseudokriterij kao u prethodnim točkama.

ZAKLJUČAK ANALIZE SORTIRANJA VARIJANATA PO TRI KATEGORIJE (dobre, srednje i loše varijante) UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE OBIČNOG KRITERIJA ($q = p = 0$) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Za kombinacije 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 i 17 varijante su sortirane jednako. U kategoriju dobrih varijanata spadaju varijante 2, 3, 9 i 11, u srednje dobre varijante 1, 6, 7 i 8, a u loše 4, 5, 10 i 12. Odstupanja varijanata od ovog sortiranja javljaju se za kombinacije težina kada značajnu težinu pridajemo kriteriju površine kombinacije 2, 8 i 16.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Uočava se ujednačeno sortiranje varijanta po kategorijama. Među dobre varijante sortirane su varijante 2 i 11, uz pojavljivanje varijanata 3 i 9. Srednju kategoriju čine stalno varijante 1, 6, 7 i 8 uz pojavljivanje varijanti 3, 9 i 12 i jednom 4. Među loše varijante spadaju 4, 5, 10 i ponekad 12.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

U kategoriju 1 sortirane su varijanta 2 i 11, i dva puta varijante 3 i 9. Drugu kategoriju čine varijante 3 i 9 za sve ostale kombinacije osim one u kojima se pojavljuju u kategoriji dobrih varijanata, varijante 1, 6, 7, 8 i 12 te dva puta varijanta 10, dok kategoriju loših varijanata čine 4, 5 i 10 (osim dva puta kada se javljaju u višoj kategoriji). Postoji neujednačenost sortiranja varijanata za različite kombinacije težina kriterija zbog uvođenja ekoloških kriterija.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Za kombinacije 1, 6 te 10—21 sortiranje kategorija je jednako: dobre varijante 2 i 11, srednje 1, 3, 6, 7, 8, 9 i 12 te loše 4, 5 i 10. Za kombinacije 2—9 izuzev 6 dobre varijante su 2, 3, 9 i 11, dok se u kategoriji srednjih i loših javljaju promjene utoliko da je varijanta 12 ponekad sortirana u kategoriju srednjih, a ponekad u kategoriju loših varijanata.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Uočava se značajna neujednačenost kod sortiranja varijanata po kategorijama za različite kombinacije težina kriterija. Pretežno dobre varijante čine 2, 3 i 11, srednje dobre varijante 1, 6, 7, 8, 9 i 12, a loše 4, 5 i 10.

ZAKLJUČAK ANALIZE SORTIRANJA VARIJANATA PO TRI KATEGORIJE (dobre, srednje i loše varijante) UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE KOMBINACIJE KRITERIJSKIH FUNKCIJA (običan kriterij $q = p = 0$ i pseudokriterij za vrijednosti p, q definirane prema tablici 7.2.1.) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Uočavaju se manje promjene u sortiranju i to u kombinacijama 2, 8 i 16. Kategoriju dobrih varijanti pretežno čine varijante 1, 2, 3, 9 i 11, srednje dobre varijante 4, 5, 6, 8, 7 i 12 dok se varijanta 10 nalazi pretežno u kategoriji srednjih ili loših rješenja.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Sortiranje varijanata je jednako za sve kombinacije težina kriterija, što proizlazi iz zavisnosti kriterija i odabranog tipa pseudokriterija. U kategoriji loših varijanata za sve kombinacije rješenja nalazi se varijanta 10.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Postoji ujednačenost u sortiranju varijanata, koja odstupa za kombinacije 4, 5, 10 i 14, za koje se daje veća težina kriteriju zaštite od velikih voda.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Sortiranje je ujednačeno za kategoriju dobrih rješenja gdje su sortirane varijante 1, 2, 3, 9 i 11. Za kategoriju srednjih i loših rješenja odstupanja se javljaju kod sortiranja varijante 10 koja je pretežno u kategoriji loših, ali se za kombinacije težina 1, 2, 3, 15, 16, 18, 20 i 21 nalazi u kategoriji srednje dobrih rješenja.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Sortiranje je ujednačeno za sve kategorije rješenja za sve kombinacije osim 16. Dobre su varijante 1, 2, 3, 9 i 11, srednje 4, 5, 6, 7, 8 i 12 i loša 10.

ZAKLJUČAK ANALIZE USPOREDBE SORTIRANJA VARIJANATA PO TRI KATEGORIJE (dobre, srednje i loše varijante) UKOLIKO SE PROMATRA UKOLIKO SE PROMATRA KORIŠTENJE RAZLIČITIH KRITERIJSKIH FUNKCIJA (običan kriterij $q = p = 0$ i kombinacija običnog i pseudokriterija za vrijednosti p, q definirane prema tablici 7.2.1.) ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.5.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Uočava se da su promjene u sortiranju varijanata po kategorijama manje za običan kriterij nego što je slučaj kod korištenja pseudokriterija. Kod pseudokriterija varijante se sortiraju u više kategorije nego kod običnog kriterija, pa tako varijanta 1 dolazi u kategoriju dobrih rješenja, dok u kategoriju srednjih rješenja ulaze varijante 4, 5 i 12, a povremeno i 10. U kategoriji loših rješenja ostaje varijanta 10 ili je prazna.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Uočava se da korištenje pseudokriterija daje ujednačenije sortiranje varijanata po kategorijama. Korištenjem pseudokriterija varijante 1, 4, 5 i 12 sortirane su u višu kategoriju.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Sortiranje varijanata za različite kombinacije kriterija ujednačenije je kada se koriste pseudokriteriji, koji ujedno sortiraju u kategoriju više varijante 1, 3, 9 te 4, 5 i povremeno 10. U istim kategorijama ostaju varijante 2, 11 te 6, 7, 8 i 12.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Sortiranje varijanata za različite kombinacije kriterija ujednačenije je za pseudokriterije, koji ujedno sortiraju u kategoriju više varijante 1, 3, 9 te 4, 5 i povremeno 10. U istim kategorijama ostaju 2, 11 uz 6, 7, 8 i 12. Uvođenjem socijalnog kriterija utjecaj potapanja naselja koji je zavisen od ekonomskih kriterija i zaštite od velikih voda uočava se povećana ujednačenost kod sortiranja varijanata u odnosu na kombinacije kriterija iz tablice 7.1.3.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Sortiranje varijanata za različite kombinacije težina kriterija za obične kriterije je dosta neujednačeno zbog uvođenja kriterija rekreacije koji je nezavisan. Za pseudo-kriterije sortiranje je ujednačeno.

ZAKLJUČAK ANALIZE REZULTATA PRIMJENE **ELECTRE TRI** POSTUPKA (ELECTRE TRI 2.0a)

Na osnovu analize rezultata ispitivanja primjenom navedenog programa doneseni su slijedeći zaključci:

- Ujednačenost sortiranja varijanata za različite težine kriterija rezultat je zavisnosti kriterija. Neujednačenost sortiranja varijanata po kategorijama ističe se za kombinacije kriterija definirane tablicama 7.1.1., 7.1.3. i 7.1.5., gdje su neki od kriterija međusobno zavisni, ali su neki i nezavisni, dok su za kombinacije iz tablica 7.1.6. i 7.1.7. kriteriji posve nezavisni pa su neujednačenosti izražajnije. Za kombinacije iz tablica 7.1.2. i 7.1.4. veći broj kriterija je zavisan pa su i rang liste ujednačenije.
- Korištenje pseudokriterija omogućava da se varijante plasiraju u više kategorije nego što se to dešava kod običnog kriterija.
- Varijante međusobno ne utječu na sortiranje drugih varijanata po kategorijama.
- S obzirom da se često treba provesti izbor optimalne varijante između velikog broja varijanata ELECTRE postupak daje mogućnost da se prvo provede sortiranje varijanata prema manjem broju kategorija i na taj način eliminiraju one varijante koje su loše, a zatim da se provede novo sortiranje sa manjim brojem varijanata i većim brojem kriterija.
- Kod sortiranja varijanata po dvanaest definiranih kategorija za kombinacije težina kriterija prema tablicama 7.1.1.—7.1.5. kao najbolje varijante izabrane su varijante 2, 3, 9 i 11, s time da je za slučaj korištenja običnog kriterija u kategoriju 1 pretežno sortirana varijanta 2, dok su kod pseudokriterija u kategoriju 1 uz varijantu 2 sortirane varijante 11 te 3 i 9. Za kombinaciju težina kriterija prema tablici 7.1.6. i 7.1.7. uočava se sortiranje varijanata 3 i 8 uz 11 te za tablicu 7.1.8. varijante 7 i 8 uz varijantu 11 u najviše kategorije, dok je varijanta 2 u oba slučaja sortirana u niže kategorije. Kod sortiranja varijanata u tri kategorije (dobra, srednje dobra i loša rješenja) prema težinama kriterija definiranih tablicama 7.1.1.—7.1.5. u kategoriji dobrih rješenja nalaze se uvijek varijante 2 i 11 i nešto rjeđe 3 i 9, dok se kod korištenja pseudokriterija u toj kategoriji nalazi još i varijanta 1.

7.4. Primjena software-a EXPERT CHOICE Pro 9.5 i rezultati

Računarski program EXPERT CHOICE Pro 9.5 temelji se na postupku višekriterijske optimalizacije AHP [25]. Program EXPERT CHOICE Pro 9.5 je predviđen za korištenje u Windows sustavu.

EXPERT CHOICE Pro 9.5 traži kao ulazne podatke:

- hijerarhijsko strukturiranje problema (cilj, kriteriji, varijante),
- težine kriterija ili, ako nisu zadane egzaktno težine onda, procjena odnosa među parovima kriterija,
- vrijednosti varijanata po pojedinim kriterijima (za egzaktno vrijednosti) ili odnosi među varijantama po pojedinim kriterijima (ukoliko nisu zadane egzaktno vrijednosti).

Izlazni podaci koji slijede iz programa su:

- rang lista (grafovi prioriteta) po pojedinom kriteriju i po svim kriterijima (prema cilju),
- grafovi osjetljivosti,
- zavisnost kriterija.

Uneseni su podaci dani tablicom 6.5.1. (bez dobiti i rentabilnosti jer su ti kriteriji popuno zavisni, međusobno i u odnosu na kriterij interna kamatna stopa) te proveden proračun za tablice težina kriterija 7.1.1.—7.1.8. Na osnovu provedenih ispitivanja pomoću računarskog programa PROMCALC & GAIA V.3.2. i ELECTRE TRI 2.0 a, s obzirom da EXPERT CHOICE ne može određivati prioritete za broj varijanata veći od 9, eliminirane su najlošije varijante dobivene za kombinacije kriterija i težina prema tablicama 7.1.1—7.1.5., a to su 4, 5, 10 i 12 (nije se moglo izdvojiti samo tri varijante jer su sve četiri varijante jednako loše). Za kombinacije kriterija i težina kriterija prema tablicama 7.1.6., 7.1.7. i 7.1.8. eliminirane su po istom principu najlošije varijante.

ZAKLJUČAK ANALIZE RANG LISTA ZA KRITERIJE I TEŽINE KRITERIJA IZ TABLICA 7.1.1.—7.1.8.

1. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.1.)

Uočava se da varijanta 2 zadržava rang 1. Varijanta 3 javlja se na rang 2 i 3, varijanta 9 na rang 2, 3 i 4, a varijanta 11 javlja se u prvih pet rangova. Na rang 5 prevladava varijanta 1 uz varijantu 7 koja se još javlja na rang 6. Rang 7 i 8 dijele varijante 6 i 8. Rangovi se mijenjaju prema promjeni težina kriterija.

2. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.2.)

Varijante zadržavaju svoje rangove za sve kombinacije težina, što je posljedica značajne zavisnosti kriterija. Rang lista od najbolje do najlošije varijante glasi: 2, 11, 3, 9, 1, 7, 6 i 8.

3. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.3.)

Uočava se oscilacija u rangovima varijanata jer se uvode dva ekološka kriterija od kojih je jedan (krajobraz) posve nezavisan. Rang 1 zadržava varijanta 2, na rang 2 prevladava varijanta 11 uz utjecaj varijante 3, slično je na rang 3. Na rang 4, 5, 6 i 7 varijante se izmjenjuju, dok rang 8 pripada većinom varijanti 8.

4. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.4.)

Rangovi su ustaljeni i nema značajnih promjena što je posljedica uvođenja socijalnog kriterija potapanja naselja koji je zavisan u odnosu na ekonomske kriterije, kriterij zaštite od velikih voda i ekološki kriterij površina akumulacija. Prvih 5 rangova po redu zauzimaju varijante 2, 11, 3, 9 i 1. Promjene se javljaju na rang 6, 7 i 8, za varijante 6, 7 i 8.

5. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.5.)

Pojava promjena u rangovima povezuje se s uvođenjem kriterija rekreacije. Na prvom mjestu stabilizirala se varijanta 11 uz ravnopravno dijeljenje ranga 1 sa varijantom 3 i rjeđe s varijantom 2. Za slučajeve kada nisu sve tri navedene varijante na prvom rang 2 može se uočiti da se na rang 2 nalazi pretežno varijanta 3, a na rang 3 pretežno varijanta 2. Rang 4 zauzima varijanta 9, rang 5 varijanta 1, rang 6 varijanta 8, dok se na rang 7 i 8 izmjenjuju varijante 6 i 7.

6. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.6.)

Rang liste su neujednačene što je posljedica međusobne nezavisnosti kriterija. Na prvom mjestu ističe se varijanta 11, dok se može vidjeti da se varijanta 2 nalazi među lošim varijantama. Uočava se penjanje varijante 8 na više rangove.

7. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.7.)

Rang liste su neujednačene. Vrijedi isti komentar kao za tablice kriterija 7.1.6..

8. (Za kombinacije težina kriterija iz tablice 7.1.8.)

Uočava se rangiranje varijante 8 na prvo mjesto za kombinacije 4, 5 i 7. Visoki rang ima i varijanta 11, dok se varijanta 2 nije niti koristila za te kombinacije jer je eliminirana na osnovu rezultata PROMETHEE i ELECTRE TRI postupka.

ZAKLJUČAK ANALIZE REZULTATA PRIMJENE AHP POSTUPKA (EXPERT CHOICE Pro 9.5)

Na osnovu analize podataka dobivenih ispitivanjem primjenom navedenog postupka doneseni su slijedeći zaključci:

- Ujednačenost rang listi varijanata za različite težine kriterija rezultat je zavisnosti kriterija. Neujednačenost sortiranja varijanata po kategorijama ističe se za kombinacije kriterija definirane tablicom 7.1.1., 7.1.3., 7.1.5., gdje su neki od kriterija međusobno zavisni, ali su neki i nezavisni, dok su za kombinaciju 7.1.6. i 7.1.7 kriteriji posve nezavisni pa su neujednačenosti izražajnije. Za kombinacije 7.1.2. i 7.1.3. veći broj kriterija je zavisan pa su i rang liste ujednačene.
- Za kombinacije težina kriterija definiranih prema tablicama 7.1.1.—7.1.4. na rang 1 nalazi se varijanta 2 i na rang 2 varijanta 11, dok je prema tablici 7.1.5. najbolja varijanta 11 i na rang 2 varijanta 3. U slučaju korištenja samo nezavisnih kriterija (tablice 7.1.6. i 7.1.7.) rang 1 zauzimaju varijante 11, 8 ili 3, dok su za kombinacije težina kriterija 3, 4, 5, 6 i 7 definiranih prema tablici 7.1.8. na rang 1 varijante 8 ili 11.

7.5. Usporedba postupaka

Sva tri postupka dala su podjednake rezultate ovisno o definiranim kriterijima i težinama kriterija. PROMETHEE i ELECTRE TRI postupci pokazali su se pogodniji za provođenje višekriterijske optimalizacije za primjeru navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre kod kojeg su vrijednosti zadovoljenja kriterija po varijantama dane egzaktnim podacima, kao i težine kriterija. AHP postupak je bolje primijeniti kada su usporedbe među varijantama po kriterijima ili usporedbe kriterija dane ocjenom jednako važno (ocjena 1), nešto važnije (ocjena 3), izrazito važnije (ocjena 5), ..., ili za međuvrijednosti (ocjene 2, 4, 6, ...), dok su obrnuti odnosi kriterija prikazani ocjenama u obliku recipročnih vrijednosti ($1/2$, $1/3$, ...). PROMETHEE II i ELECTRE TRI postupci daju mogućnost korištenja različitih funkcija preferencije (tipova kriterija), dok AHP postupak nema tu mogućnost. Uočen je međusoban utjecaj varijanata na konačan rang korištenjem PROMETHEE postupka, što se ne dešava kod korištenja ELECTRE TRI i AHP postupaka. PROMCALC i ELECTRE TRI računarski software-i omogućuju usporedbu većeg broja varijanata u odnosu na software EXPERT CHOICE. Korištenjem sva tri software-a uočena je jednostavnost unošenja podataka kod PROMCALC programa dok su ELECTRE TRI i EXPERT CHOICE programi složeniji za primjenu. Prednosti i nedostaci postupaka i softwarea prikazani su u obliku tablice 7.5.1.

Tablica 7.5.1: *Prikaz dobrih i loših strana odabranih postupaka višekriterijske optimalizacije i software-a koji se baziraju na tim postupcima*

POSTUPAK SOFTWARE	PREDNOSTI	NEDOSTACI
PROMETHEE	<ul style="list-style-type: none"> • mogućnost potpunog i/ili djelomičnog rangiranja varijanata • mogućnost korištenja različitih funkcija preferencije (6 tipova kriterija) 	<ul style="list-style-type: none"> • međusoban utjecaj varijanata na konačan rang • potrebni su egzaktni ulazni podaci
PROMCALC & GAIIV.3.2	<ul style="list-style-type: none"> • jednostavnost unošenja podataka • preglednost • veći broj varijanata i kriterija u odnosu na EXPERT CHOICE Pro 9.5 	
ELECTRE	<ul style="list-style-type: none"> • sortiranje po grupama, nema međusobnog utjecaja varijanata na konačan rang • mogućnost korištenja različitih funkcija preferencije (pseudokriteriji) 	<ul style="list-style-type: none"> • potrebni su egzaktni podaci
ELECTRE TRI 2.0 a	<ul style="list-style-type: none"> • veći broj varijanata i kriterija u odnosu na EXPERT CHOICE Pro 9.5 	<ul style="list-style-type: none"> • složen unos podataka • nepreglednost unesenih podataka
AHP	<ul style="list-style-type: none"> • moguće različito definirati ocjenu odnosa između varijanata i kriterija (verbalno, grafički, numerički) • moguće je imati podkriterije 	<ul style="list-style-type: none"> • može se koristiti samo običan kriterij, drugi oblici funkcija preferencije nisu mogući
EXPERT CHOICE Pro9.5	<ul style="list-style-type: none"> • preglednost hijerarhija 	<ul style="list-style-type: none"> • složen unos podataka • relativno ograničen broja varijanata i kriterija

7.6. Rezultati izbora optimalne varijante sustava akumulacija za navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre

Primjenom izabranih postupaka višekriterijske optimalizacije dobiveni su raznoliki rezultati koji su komentirani u prethodnoj točki. Raznolikost rezultata proizlazi iz velikog broja kriterija čija je težina mijenjana prema planu ispitivanja.

Primjenom PROMETHEE II postupka (PROMCALC&GAIIV.3.2) korištenjem običnog kriterija (tip I) za tablice od 7.1.1. do 7.1.5. kao najbolje varijante pokazale su se varijante 2, 7, 9 i 11, a za težine kriterija iz tablica od 7.1.6. do 7.1.8. varijante 7, 8 i 11, dok se primjenom kombinacije običnog kriterija (tip I) i razinskog kriterija (tip IV) za tablice od 7.1.1. do 7.1.5. kao najbolje varijante ističu 2 i 11.

Primjenom ELECTRE TRI postupka (ELECTRE TRI 2.0 a) korištenjem običnog kriterija za tablice od 7.1.1. do 7.1.5. kao najbolje varijante pokazale su se varijante 2, 3, 9 i 12, a za težine kriterija iz tablica od 7.1.6. do 7.1.8. varijante 2, 3, 5, 8, 9, 11 i 12, dok se primjenom kombinacije običnog kriterija i pseudokriterija (za odabrane pragove preferencije) za tablice od 7.1.1. do 7.1.5. kao najbolje varijante ističu 2, 3, 7, 8, 9, 11 i 12.

Primjenom AHP postupka (EXPERT CHOICE Pro 9.5) za kombinacije kriterija i težine kriterija prema tablicama od 7.1.1. do 7.1.5. kao najbolje varijante pokazale su se varijante 2, i 11, a za težine kriterija iz tablica od 7.1.6. do 7.1.8. varijante 8 i 11. Rezultati primjene izabranih postupaka višekriterijske optimalizacije prikazani su tablicom 7.6.1.

Tablica 7.6.1.: Prikaz rezultata primjene izabranih postupaka višekriterijske optimalizacije na izboru optimalne varijante sustava akumulacija za navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre

	OBIČAN KRITERIJ (tip I)		PSEUDOKRITERIJ (tip IV)
	Tablice težina kriterija		
	7.1.1.—7.1.5.	7.1.6.—7.1.8.	7.1.1.—7.1.5.
PROMCALC&GAIA V.3.2. PROMETHEE II	2, 7, 8, 11	7, 8, 11	2, 11
ELECTRE TRI 2.0 a ELECTRE TRI	2, 3, 9, 12	2, 3, 5, 8, 9, 11, 12	2, 3, 7, 8, 9, 11, 12
EXPERT CHOICE Pro 9.5 AHP	2, 11	8, 11	—

8. Zaključak

Osnovni cilj ovog rada je dati doprinos unapređenju gospodarenja vodama. Poboljšanje gospodarenja vodama moguće je ostvariti poboljšanjem odgovarajućih postupaka rješavanja problema. Polazeći od postavke da primjena procesa rješavanja problema prikazana na slici 2.1.1. omogućuje ostvarenje kvalitetnog rješenja uočava se da se najveći doprinos poboljšanju rješavanja problema gospodarenja vodama može ostvariti poboljšanjem procesa izbora rješenja.

Postupak izbora obuhvaća definiranje osnovnih ciljeva, kriterija i mjera te provedbu ocjenjivanja sagledanih rješenja. Složenost problema koje treba riješiti pri planiranju vodoprivrednih sustava i njihovim upravljanjem proizlazi iz složenih ciljeva i različito-dimenzionalnih kriterija za vrednovanje rješenja. Višenamjensko korištenje vodoprivrednih objekata, česte konfliktne situacije kada korisnici objekata imaju ponekad i posve suprotne interese (npr. navodnjavanje za koje je potrebno akumulirati što više vode i maksimalno koristiti volumen akumulacije i zaštita od velikih voda gdje se nastoji rezervirati dio volumena akumulacije za prihvat velikih vodnih valova), uz značajne ekološke i socijalne utjecaje objekata čini gospodarenje vodama složenom aktivnošću koju nije moguće vrednovati jedno-dimenzionalnim jednostavnim kriterijem i koja onemogućuje jednoznačno rješenje problema. Stoga se vodoprivredni objekti, kao dio rješenja u gospodarenju vodama, trebaju vrednovati prema više kriterija korištenjem različitih mjernih jedinica (vrednovanje može biti i opisno).

Postoje razni postupci izbora odluka koji se mogu primijeniti za određivanje najpovoljnije strategije gospodarenja vodama (čiji je pregled dan u [t.2.]) od kojih su u ovom radu obrađeni postupci višekriterijske optimalizacije koji pripadaju grupi postupaka višekriterijskog rangiranja varijanata, a to su PROMETHEE, ELECTRE i AHP odnosno računarski programi koji se baziraju na navedenim metodama PROMCALC & GAIA V.3.2., ELECTRE TRI 2.0 a i EXPERT CHOICE Pro 9.5.

Iz cjelokupne ponude višekriterijskih postupaka na osnovu analizirane literature i pregleda Internet stanica sa ovom tematikom uočava se njihova primjena kao pomoć pri

izboru rješenja u raznim područjima, pa tako i u gospodarenju vodama. Međutim, u tim se prikazima ne definira način na koji bi se trebali odrediti kriteriji i mjere niti kako ocijeniti njihovu primjerenost u postupku izbora rješenja tj. ne provodi se vrednovanje ulaznih podataka. Za vrednovanje rješenja uobičajeno je korištenje različitih kriterija za koje se očekuje da u potpunosti pokrivaju postavljene ciljeve.

Proučavani postupci izbora također ne ulaze u područje ocjenjivanja primjerenosti ponuđenih varijanata.

Primjenom računarskih programa provedeno je ispitivanje ponašanja postupaka na primjeru izbora najpovoljnije varijante sustava akumulacija za navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre. Prema definiranim ciljevima vodeći računa o tehničko-tehnološkoj izvedivosti, funkcionalnosti, ekološkim i socijalnim ograničenjima i prihvatljivim ekonomskim troškovima generirano je dvanaest varijanata [t.5.], a za vrednovanje varijanata izabran je skup od deset različitih, uobičajeno korištenih, kriterija i odgovarajućih mjera postavljenih u sklopu cjelovitog i svestranog sagledavanja problema [t.6.]. Izabrani su kriteriji: površina, cijena vode, dobit, rentabilnost, interna kamatna stopa, zaštita od velike vode te dva ekološka i dva socijalna kriterija.

S obzirom da su kriteriji često međusobno zavisni njihova nekritična primjena može dovesti do nesvjesnog preferiranja određenih rješenja pa je neophodno ispitivanje međusobne zavisnosti kriterija prije pristupanja višekriterijskoj optimalizaciji. Za izabrane kriterije je na primjeru izbora najbolje varijante sustava akumulacija za navodnjavanje poljoprivrednih površina zapadne Istre provedena analiza međusobne zavisnosti u [t.6.6.].

Izabranim računarskim programima provedena su rangiranja varijanata prema planu ispitivanja [t.7.1.] koji obuhvaća različite kombinacije kriterija i težina kriterija. Ispitivanje je provedeno u cilju ocjene utjecaja pojedinih kriterija i izbora njihovih težina na rezultat.

Na osnovu plana ispitivanja izabrani postupci višekriterijske optimalizacije (odnosno računarski programi bazirani na izabranim postupcima) primijenjeni su na primjeru izbora sustava akumulacija kojima bi se riješio problem navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre. Uočene su njihove pojedinačne i zajedničke prednosti i nedostaci na osnovu kojih se može sugerirati za koji tip problema je koji postupak povoljniji. Za rješavanje konkretnog primjera izbora najbolje varijante navodnjavanja poljoprivrednih površina zapadne Istre pokazali su se primjereniji postupci PROMETHEE i ELECTRE jer za ulazne podatke koriste egzaktnu vrijednost kriterija, što odgovara obliku ulaznih podataka kojim se raspolagalo (iz studije [4]), daju mogućnost korištenja različitih oblika kriterijskih funkcija koji bolje opisuju preferencije donositelja odluke, a mogu obrađivati veći broj varijanata i kriterija u odnosu na AHP postupak. AHP postupak se može primijeniti za egzaktno definirane vrijednosti kriterija i težina kriterija, ali je primjereniji za podatke koji daju međusobnu usporedbu varijanata prema pojedinim kriterijima odnosno međusobnu usporedbu kriterija.

Sa aspekta pripreme ulaznih podataka PROMCALC & GAIA V.3.2. i ELECTRE TRI 2.0 a, odnosno PROMETHEE i ELECTRE TRI, traže definiranje kriterijskih funkcija, a ELECTRE TRI i granice kategorija za koje je potrebno utrošiti određeno vrijeme da se korisnik postupka upozna sa parametrima koje treba definirati. S aspekta korištenja računarskog programa najjednostavnije se koristi software PROMCALC & GAIA V.3.2., dok su ELECTRE TRI 2.0 a i EXPERT CHOICE Pro 9.5 nešto složeniji za primjenu.

Primjenom postupaka iz skupa od dvanaest generiranih varijanata izdvojene su varijante 2, 3, 7, 8, 9 i 11, kao 'bolje' varijante dok su preostale eliminirane kao 'lošije' varijante. U radu je uočen i komentiran utjecaj međusobne zavisnosti kriterija na

konačan izbor najbolje varijante. Korištenjem osam kriterija (kao predstavnike ekonomskih pokazatelja odabrane su cijena m^3 vode za navodnjavanje i interna kamatna stopa) definiranih u [t.6.] kao najbolje varijante pokazale su se 2 i 11. Međutim uslijed uočene međusobne zavisnosti pojedinih kriterija, korištenjem samo nezavisnih kriterija ili svih kriterija, ali na način da se težine kriterija definiraju tako da nezavisni kriteriji imaju težinu onoliko puta veću od zavisnih koliki je broj zavisnih kriterija, među najbolje varijante penju se, uz varijantu 11, varijante 3, 7 i 8. Optimalizacijom, prema isključivo ekonomskim kriterijima, izabrane bi bile, kao najbolje varijante, varijante 2 i 11, dok bi se zanemarile neke druge varijante kao što su varijante 3, 7 i 8, koje su nešto lošije s ekonomskog aspekta, ali imaju određene prednosti sa ekološkog (krajobraz) i socijalnog aspekta (rekreacija) u odnosu na varijante 2 i 11.

Primjenom postupaka PROMETHEE i ELECTRE uz različite kriterijske funkcije uočen je pozitivan utjecaj odgovarajućih tipova kriterijskih funkcija odnosno pseudokriterija što je dokazano stabilnijim rang listama varijanata koje su manje osjetljive na promjene težina kriterija. Raznolikost tipova kriterijskih funkcija pruža mogućnost boljeg definiranja preferencija donositelja odluke.

Zaključak je da su izabrani postupci višekriterijske optimalizacije primjereni za provođenje izbora rješenja u gospodarenju vodama. Istraživanje je pokazalo da je u procesu rješavanja složenih problema kao što je gospodarenje vodama, upotreba višekriterijskih postupaka i razvijenih računarskih programa korisna. Pokazalo se da je potrebno kritički ispitati ulazne podatke i njihov utjecaj na konačan rezultat. Također se zaključuje da daljnja istraživanja poboljšanja u procesu rješavanja problema gospodarenja vodama treba prvenstveno usmjeriti na definiranje kriterija i njima primjerenih mjera te definiranje složenih varijantnih rješenja gospodarenja vodama.

LITERATURA

- [1] **Dorđević, B.**, (1990), **Vodoprivredni sustavi**, Naučna knjiga, Beograd.
- [2] **Margeta, J.**, (1992), **Osnove gospodarenja vodama**, Građevinski fakultet, Split.
- [3] **Fijan, Z., Beraković, B. i Lauc, A.**, (1984), **Causes of Status and Possibilities of the Development of Operational Research**, X Conference IFORS (Međunarodno udruženje društava za operativna istraživanja), Washington, (kao saopćenje dano na XI SYM-OP-IS 84, 1984, Herceg Novi).
- [4] **Kos, Z. i suradnici**, (1998), **Plan navodnjavanja za područje istarskih slivova**, Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka.
- [5] **Cerić, A.**, (1999), **Donošenje odluka o prioritetima u održavanju zgrada**, Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [6] **Petraš, J. i Bonacci, O.**, (1992), **Vodoprivredna osnova Grada Zagreba, Izmjene i dopune, Knjiga 21, Postupci i kriteriji optimalizacije i usaglašavanja rješenja**, Javno vodoprivredno poduzeće »Hrvatska vodoprivreda«, Zagreb.
- [7] **Opricović, S.**, (1986), **Višekriterijumska optimizacija**, Naučna knjiga, Beograd.
- [8] **Roy, B., i Vincke, P.**, (1981), **Multicriteria analysis: survey and new direction**, **European Journal of Operational Research**, br. 8, str. 207–218, North Holland Publishing Company, Nizozemska.
- [9] **Roy, B., Vincke, P. i Mareschal, B.**, (1981), **How to select and how to rank project: The PROMETHEE method**, **European Journal of Operational Research**, br. 24, str. 207–218, North Holland Publishing Company, Nizozemska.
- [10] **Saaty, T. L.**, (1996), **The Analytic Hierarchy Process**, drugo izdanje, RWS Publications, Pittsburg.

- [11] **Saaty, T. L.**, (1994), **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory**, RWS Publications, Pittsburg.
- [12] **Mousseau, V. i Slowinski, R.**, (1998), **Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples**, Journal of Global Optimization, br. 12, str. 157–174, Kluwer Academic Publishers, Nizozemska.
- [13] **Miličić, J. i Mladineo, N.**, (1982), **Primjena višekriterijalne analize na problemu unapređenja armiračkih radova**, Građevinar, br. 34, str. 447–456.
- [14] **Roy, B.**, (1996), **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**, Kluwer Academic Publishers, Nizozemska.
- [15] **Raju, K.S. i Pillai, C.R.S.**, (1999), **Multicriterion decision making in river basin planning and development**, European Journal of Operational Research, br. 112, str. 249–257.
- [16] **Duckstein, L., Treichel, W. i El Magnouni, S.**, (1994), **Ranking Ground–water Management Alternatives by Multicriterion Analysis**, Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 120, br. 4, str. 546–565.
- [17] **Raju, K.S. i Pillai, C.R.S.**, (1999), **Multicriterion decision making in performance evaluation of an irrigation system**, European Journal of Operational Research, br. 112, str., 479–488.
- [18] **Srđević, B., Jandrić, Z. i Potkonjak, S.**, (2000), **Vrednovanje alternativa korištenja akumulacije pomoću analitičkog hijerarhijskog procesa**, Jugoslavenski časopis: Vodoprivreda, br. 32, str. 237–242.
- [19] **Margeta, J.**, (1986), **Izbor optimalnog rješenja dispozicije otpadnih voda Poljičke rivijere**, Vodoprivreda, br. 18, str. 79–87.
- [20] **Riel, P. i Leblanc, D.**, (1989), **Multicriterion Selection of Wastewater Management Alternatives**, Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 115, br. 5, str. 711–713.
- [21] **Margeta, J., Andričević, R. i Mladineo, N.**, (1986), **Višekriterijalno rangiranje potencijalnih lokacija za male hidroelektrane**, Naše građevinarstvo, br. 40, str. 34–38.
- [22] **Margeta, J., Mladineo, N. i Petrićec, M.**, (1987), **Višekriterijsko rangiranje lokacija za male hidroelektrane**, Građevinar, br. 39, str. 239–244.
- [23] **Cordeiro Netto, O., Parent, E. i Duckstein, L.**, (1996), **Multicriterion Design of Long–Term Water Supply in Southern France**, Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 122, br. 6, str. 403–413.
- [24] **Brans, J. P. i Vincke, Ph.**, (1985), **Preference Ranking Organization Method: The Promethee Method for MCDM**, Management Science, vol. 31, str. 647–656.
- [25] **Mousseau, V., Slowinski, R., Zielniewicz, P.**, (1998), **ELECTRE TRI 2.0 a Methodological Guide and User's Manual**, Université Paris–Dauphine–Paris–Francuska i Poznan University of Technology–Piotrowo–Poljska.
- [26] **Kos, Z.**, (1983), **Dugoročni razvoj vodoprivrede Istre**, Građevinar, br. 35, str. 169–175.
- [27] **Grupa autora**, (1991), **Vode Hrvatske**, Ministarstvo vodoprivrede Republike Hrvatske, Javno vodoprivredno poduzeće »Hrvatska vodoprivreda«, Zagreb.
- [28] **Grupa autora**, (1982), **Uputstva za vrednovanje višenamenskih vodoprivrednih projekata sa ekonomskog, društvenog i aspekta zaštite životne sredine**, Ekonomska zajednica za razvoj i saradnju, Paris.
- [29] **Žugaj, R.**, (2000), **Hidrologija**, Rudarsko–geološko–naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [30] **Karleuša, B.**, (2002), **Primjena postupaka višekriterijske optimalizacije u gospodarenju vodama**, Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

10

KORIŠTENJE NEKONVENCIONALNIH VODNIH RESURSA U SUŠNIM PODRUČJIMA

Prof. dr. sc. Ognjen Bonacci, dipl.ing.građ.

U sušnim i polusušnim krajevima opskrba vodom visoke kakvoće za potrebe poljoprivredne proizvodnje postaje sve teža djelom zbog sve većih potreba za vodom ostalih korisnika a djelom zbog sve manjih količina kvalitetne vode koja je u brojnim regijama precrpljena ili nepovratno izgubljena zagađenjem. Pri tome se ne smije zaboraviti niti na globalne trendove smanjenja vodnih količina, povećanja čestine pojave te produženja suša u brojnim krajevima svijeta. Mnoge su se države već danas drastično suočile s nedostatkom vode a probleme su barem djelomično riješile korištenjem nekonvencionalnih vodnih resursa. Kombinacija posljedica s jedne strane povećanih potreba za vodom za navodnjavanje a s druge strane problema u odlaganju otpadnih voda te drugih zagađenih procjednih voda, koje se istovremeno javljaju na istim ili bliskim prostorima uzrokovala je tehnološke inovacije kojima se u jednom mahu rješavaju dva problema. Stvoreni su poticajni uvjeti za učinkovito i za okoliš održivo ponovno korištenje već upotrijebljene i zagađene vode.

Dosadašnje iskustvo u ponovnom korištenju (reuse) zagađene vode dokazalo je da se novim tehnologijama istovremeno mogu povećati količine vode potrebne kakvoće koje se mogu ponovo koristiti za agrotehničku proizvodnju te pomoći kontroli kakvoće vode i zaštititi okoliša.

Međutim, postoji osnovana bojazan da ponovno korištenje nekoć vrlo zagađene vode može ostaviti dugotrajne posljedice na poljoprivredne kulture, tlo i okoliš. Zbog toga se traži da se brojni i različiti pristup i postupci integriraju i kombiniraju unutar sustava objektivne i stroge kontrole. Očigledno je da bez sveobuhvatne i dugoročne strategije primjenjive u prevladavajućim ekonomskim, klimatskim, socijalnim i hidrološko-hidrogeološkim uvjetima nije moguće donijeti ispravne odluke vezane s ponovnim korištenjem već upotrijebljene i zagađene vode za navodnjavanje. U Mediteranskom agronomskom institutu u Bariju (Italija) više od deset godina vrše se istraživanja ove problematike. U ovom radu iznesena su iskustva profesora A. Hamdya, direktora za istraživanja spomenutog instituta, koja je on usmeno iznio i objavio na kratkom naprednom tečaju »Održivo korištenje i nekonvencionalni vodni resursi na Mediteranu« održanom u Aleppu (Sirija) od 18. do 20. travnja 1998.

Od najvišeg je značenja prilikom podržavanja ponovnog korištenja upotrijebljene vode istovremeno raditi na minimiziranju mogućih nepovoljnih posljedica na biljke i okoliš. Da bi se to moglo postići prvo se moraju razviti nove tehnologije ili poboljšati postojeće. Sve one moraju biti fokusirane na praktične aspekte korištenja upotrijebljene vode za navodnjavanje odgovarajuće za različite klimatske, hidrogeološke i ostale uvjete. Ovi problemi postaju posebno aktualni gotovo u cjelom prostoru Mediterana u kojem je brzi rast stanovništva praćen velikim zagađenjima vode uz povećanu potrošnju

vode za piće i navodnjavanje već danas uzrokovao ozbiljnu i teško rješivu vodnu krizu. Kao mogućnost njenog ublažavanja javila se ideja a potom i tehnologije za ponovno korištenje zagađene vode za navodnjavanje.

Među brojnim sektorima društva sve više raste natjecanje za određene količine vode ali i za njenu sve bolju kakvoću. Kako su potrošnja i potrebe vode za poljoprivrednu proizvodnju daleko najveće u usporedbi s ostalim korisnicima voda, na globalnom planu je došlo do potrebe prenamjene vode iz agrotehničkog sektora ostalim potrošačima. Jednostavnije rečeno voda je ostalim sektorima postala važnija kako za njihov razvoj tako i za društvo u cjelini. Od poljoprivrede se stoga zahtjeva da smanji svoju potrošnju vode. Kako to ona vrlo teško može načiniti a da pri tome ne samo održi nego i poveća proizvodnju hrane rješenja su se morala tražiti na drugi način. Jedan od njih je i ponovno korištenje i recikliranje već upotrijebljene vode. Ovo rješenje je gotovo jedino moguće u onim regijama (a one su na Mediteranu sve brojnije) u kojima su rezerve podzemnih i površinskih voda gotovo u cijelosti iskorištene.

Perspektiva na prostoru Mediterana i to ona vrlo bliska je krajnje jasna. Poljoprivredni sektor mora uložiti velike napore da nabavi nove količine nazovimo je marginalne vode (slane, bočate, industrijske ili kućne otpadne) te da je pripremi i koristi za svoje potrebe. Ta vrlo izvjesna činjenica otvara novi problem vezan s održivim razvojem i zaštitom okoliša. Upotreba marginalne vode mora biti ekonomski opravdana i ni na koji način ne smije ugrožavati bilo koji segment okoliša.

O upotrebi manje ili više zaslanjene vode za potrebe navodnjavanja relativno se često govori ali o tom problemu ne postoji dovoljan broj ozbiljnih znanstvenih ili stručnih radova iz čega se neposredno zaključuje da praktična iskustva nisu mnogobrojna. Međutim, postoje potvrde pretpostavke da voda slanija od uobičajene konvencionalne klasifikacijske sheme može bez problema biti korištena za navodnjavanje. Razumljivo je da važi princip što je voda zaslanjenija to je njeno korištenje za navodnjavanje manje podobno te može imati štetnije posljedice na tlo, biljke i okoliš. Najnovija razvojna istraživanja na uzgoju i selekciji biljaka u odnosu na tlo, prinose, upravljanje vodom te tehnologije odvodnje i navodnjavanje potvrđuju mogućnost korištenja zaslanjene vode za navodnjavanje kulturnih biljaka uz minimalne negativne posljedice na biljnu produktivnost, tlo i okoliš. Procjene o pogodnosti zaslanjene vode za navodnjavanje izvršene u brojnim krajevima svijeta potvrđuju njenu visoku potencijalnu mogućnosti korištenja.

Raspoloživi priručnici koji propisuju kakvoću vode za navodnjavanje (posebno u sušnim krajevima) nerijetko tretiraju mogućnosti korištenja pročišćene otpadne vode. Međutim, procjena izvora slanosti u vodi vrlo je složena te stoga mora biti izvršena individualno za svaku regiju. Bez obzira na to postoje opće sheme klasifikacije kakvoće vode za natapanje (Tablica 1).

Slabost korištenja ovakvog pojednostavljenog pristupa nalazi se u činjenici što su u njemu zanemareni ostali čimbenici koji utječu na pogodnost korištenja vode za navodnjavanje. Može se dogoditi da voda bude odbačena iako je pogodna za upotrebu i obratno. Opće pojednostavljene preporuke ne uzimaju u obzir specifične uvijete korištenja. U Okviru 1. navedeni su brojni primjeri korištenja zaslanjene vode za natapanje u cijelom svijetu iz kojih se može uočiti važnost uzimanja u obzir specifičnih uvjeta klime, tla, vegetacije itd.

Praksa korištenja zaslanjene vode za natapanje mora spriječiti preveliko akumuliranje soli i natrija u površini tla i u zoni korijena a osim toga mora kontrolirati bilancu soli u sustavu tlo-voda. Vrsta uzgajane kulture, kakvoća vode i svojstva tla određuju potrebnu praksu sa svrhom optimalizacije proizvodnje. U Okviru 2. date su pretpostavke za pogodnost korištenja zaslanjene vode za navodnjavanje.

Tablica 1: *Preporuke za kakvoću vode za navodnjavanje*

Ograničenje upotrebe	Parametar	Stupanj ograničenja upotrebe		
		nema ograničenja	lagano ograničenje	jako ograničenje
Slanoća	EC (dS/m)	0,7	0,7—3,0	>3,0
Propusnost tla	EC; (0-6) SAR	>1,2	1,2—0,3	<0,3
	EC;(6-12)SAR	>1,9	1,9—0,5	<0,5
	EC;(12-20)SAR	>2,9	2,9—1,3	<1,3
	EC;(20-40)SAR	>5,0	5,0—2,9	<2,9
Otrovnost za biljke pri površinskom natapanju	SAR(mM/l) ^{0,5}	<3	3—9	<9
	Cl(mg/l)	<140	140—350	<350
	B(mg/l)	<0,7	0,7—3,0	>3,0
Otrovnost za biljke pri natapanju kišenjem	Na (mg/l)	<70	>70	—
	Cl (mg/l)	<100	>100	—
	B (mg/l)	<0,7	0,7—3,0	>3,0
	HCO ₃ (mg/l)	>90	90—500	>500
	HC ostatak Cl(mg/l)	<1	1—5	>5
Otrovnost za biljke podzemne vode	dušik (mg/l)	<5	5—30	>30

OKVIR 1. Primjeri korištenja zaslanjene vode za natapanje u svijetu

1. U dolini Arkansas u Coloradu, SAD površina od 81000 hektara zasijana lucerkom, sirkom, šećernom repom i pšenicom natapana je potapanjem i brazdama vodom zaslanjenim u iznosu od 1,5 do 5,0 g/l.
U dolini Pecos u Teksasu podzemna voda je u prosjeku imala 2,4 g/l ukupno otopljenih soli (ali su varijacije bile znatno veće) a uspješno je korištena za natapanje pamuka žitarica, sirka i lucerke tijekom tri dekade.
2. Pamuk je uspješno uzgajan za komercijalne svrhe u Nahal Oz području (Izrael) sa slanom podzemnom vodom (EC je bio 5 dS/m, SAR je bio 26). Tlo se godišnje tretiralo gipsom i slatkom vodom uvijek tijekom zime sa ciljem da se poljski kapacitet tla dosegne do dubine od 150 do 180 cm prije početka uzgoja.
3. U Egiptu tisuću milijuna m³ slane drenažne vode korišteno je za natapanje oko 405000 hektara zemljišta. Oko 75 posto drenažne vode utječe u more te ima salinitet manji od 3 g/l. Politika egipatske vlade je da koristi drenažnu vodu izravno za natapanje. Ako je njen salinitet manji od 700 mg/l miješa se s vodom Nila čije salinitet iznosi od 180 do 250 mg/l. Ako koncentracija soli iznosi od 0,7 do 1,5 g/l miješa se s vodom Nila u iznosu 1:2, a ako je salinitet između 1,5 i 3,0 g/l odnos miješanja iznosi 1:3. Ponovno korištenje drenažne vode zabranjeno je ako salinitet prelazi 3,0 g/l.
4. Zaslanjena voda rijeke Medjarda u Tunisu (godišnji prosjek EC je 3 dS/m) se koristi za natapanje palmi datulja, ječma, lucerke, raži i artičoka. Tlo je vapnenačkog sastava s više od 35 posto CaCO₃ te glinovito. Kada je suho ima pukotine.
5. Na sol snošljive žitarice, povrće, lucerka i palme datulja uspješno se natapaju zaslanjenom vodom od 2 g/l TDS u Bahrainu, 2,4—6,0 g/l u Kuwaitu i čak 15 g/l u Ťagoru priobalnom području Libije. Plantažni uzgoj šume u Ujedinjenim

Arapskim Emiratima zasnovan je na korištenju zaslanjene podzemne vode s više od 10 g/l TDS.

6. Široko korištenje slane podzemne vode iz plitkog vodonosnika čija površina iznosi 106000 hektara vrši se u devet kotara države Haryana (Indija). U četiri se bočata voda izravno koristi za natapanje dok se u preostalim pet koristi poslije miješanja sa slatkom vodom iz dovodnih kanala ili drugih izvora.
7. Mediteranski Agronomski Institut u Bariju (Italija) na osnovu iskustva dužeg od 15 godina dokazao je mogućnost korištenja zaslanjene vode sa slanošću većom od 6 dS/m za uzgoj žitarica.
8. Dokazano je da neke vrste trava mogu potencijalno biti korištene kao kulturne biljke te da mogu rasti uz natapanje vodom čija slanost iznosi 10 g/l.
9. Mnogi istraživači izvijestili su u stručnoj literaturi o uzgoju različitih vrsti poljoprivrednih proizvoda natapanjem sa zaslanjenom pa čak i morskom vodom.

OKVIR 2. Pretpostavke za mogućnost korištenja zaslanjene vode za natapanje

1. Kolika je snošljivost saliniteta vode pojedine poljoprivredne kulture mora se ustanoviti točno količinski uvažavajući ekološke uvjete.
2. O zaštiti tla od akumuliranja soli u njemu mora se voditi strogo računa. Dinamika zaslanjivanja tla mora biti količinski poznata za svako posebno tlo, klimatske i hidro-pedološke uvjete koji vladaju u danom području. Osim toga, interakcija između ispiranja soli i reakcija biljaka na nju mora biti proučena i shvaćena.
3. Pri korištenju suvremenih i naprednih tehnologija dreniranja, metode navodnjavanja moraju biti prilagođene za upotrebu bočatih voda te trebaju biti krajnje učinkovite u tehničkom i ekonomskom smislu. Sustav odvodnje mora biti građen usporedno sa sustavom navodnjavanja tamo gdje se to pokaže potrebnim.
4. Istraživački programi moraju biti projektirani i modificirani tako da se kombinirano ispita plodored, upravljanje vodama i poboljšanje svojstva tla.
5. Više napora treba usmjeriti na razvoj odgovarajućih modela, kriterija i standarda za nestacionarne uvjete.

Često ne postoji jedinstven način kontrole saliniteta u vodi za natapanje. Koriste se brojne metode i postupci u zavisnosti od specifičnih ekonomskih, klimatskih, socijalnih i hidrogeoloških uvjeta. U Okviru 3. dati su postupci rukovanja slanom vodom za natapanje. Spomenute mjere ne smiju se provoditi odvojeno već moraju biti integrirane u cilju optimiziranja korištenja vode, minimiziranja njenog dreniranja te povećanja poljoprivredne proizvodnje unutar ograničenja koja nameću fizički i socijalni okoliš.

Sljedeće opće upravljačke strategije pokazale su se u praksi korisnim: 1) Kontrola slanosti unutar dozvoljenih granica; 2) Promjena uvjeta koji omogućuju bolju prilagodbu kulturnog bilja; 3) Promjena načina upravljanja da se održi nivo proizvodnje ako salinitet uzrokuje štete na biljkama. Sve tri strategije mogu biti korištene zajedno ali prva se najčešće koristi u praksi. Naglasak treba biti stavljen na one vrste navodnjavanja koje kontroliraju slanost tla i omogućavaju upravljanje sa slanom vodom. Za upravljanje slanom vodom najbitniji su: 1) Raspored natapanja (količina i vremenski intervali); 2)

Raspored ispitivanja soli (količina i vrijeme); 3) Metoda navodnjavanja; 4) Upravljanje vodom za natapanje iz različitih izvora od kojih svaki ima drugačiju kakvoću (salinitet).

OKVIR 3. Rukovanje zaslanjenom vodom koja se koristi pri navodnjavanju

Hidraulički zahvati

Ispiranje soli (potrebna količina vode, čestina); Natapanje (sustav, čestina); Odvodnja (sustav, dubina, prostor obuhvata); Višestruki vodni resursi (zamjena, miješanje).

Fizički zahvati

Izravnavanje terena; Oranje (priprema terena, dubina brazde); Način sijanja, Pjeskarenje; Odslanjivanje.

Kemijski zahvati

Dopune i poboljšanja; Uvjeti tla; Gnojidba (mineralna gnojidba).

Biološki zahvati

Organska i zelena gnojidba; Poljoprivredne kulture (plodored, vrste); Biološka poboljšanja; Zaštita sadnica.

Ljudski aspekt

Školovanje i obuka farmera; Socio-ekonomski aspekti; Aspekti okoliša; Praktični aspekti.

Raspored natapanja omogućuje dobar prinos poljoprivrednih kultura i odgovarajuće ispiranje soli iz tla kad se koristi zalanjena voda za navodnjavanja. Radi se o kompliciranom postupku zbog slijedeća dva glavna razloga. Informacije o vodi potrebnoj za razvoj većine biljaka pri natapanju sa zaslanjenom vodom ili nisu poznate ili nisu pouzdane. Potrebe i uvjeti ispiranja soli iz tla u odnosu na razinu zaslanjenosti moraju biti izračunate i uključene u postupak odnosa biljka-voda. Raspored natapanja osnovni je parametar za procjenu odgovarajućeg pristupa natapanju sa zaslanjenom vodom. Treba naglasiti da tom aspektu problema do sada nije bila posvećena dovoljna pažnja prilikom istraživanja i eksperimentiranja. Najčešće ograničenje za poboljšanje korištenja vode u praksi je nedostatak informacija kada je natapanje potrebno i koji je kapacitet u zoni korijena na raspolaganju da bude zapunjen vodom. Postoje brojne stare (klasične) metode dane u obliku empirijskih formula, koje se koriste za određivanje početka stresa kod biljaka, uzrokovanog prevelikom slanošću. Bez obzira radi li se o izravnim ili neizravnim mjerenjima one su ograničene nedostacima tipičnim za sve empirijske formule. Mjerenja količine vode u tlu ili potencijala ne mogu biti korištena (najmanje ne konvencionalno) za procjenu ili kontrolu izlučenih dijelova, a zahtjeva se zaštita od prekomjernog razvoja slanosti tla. Raspored natapanja slanom vodom zahtijeva metodu procjene vode raspoložive za biljke koja također uključuje dovoljno vrijeme procjene za korištenje vode prije pojave stresa. Nove metode kao što je klorofilna fluorescencija (chlorophyll fluorescence) biljaka pod stresom, zahtijevaju iskustvo i terenske probe. Uspješno natapanje zaslanjenom vodom traži novu proizvodnu funkciju koja povezuje prinose kulture sa potrošnjom vode uključujući intervale navodnjavanja za razne poljoprivredne kulture. U najnovije vrijeme razvijeno je nekoliko modela koji simuliraju proizvodne funkcije biljka-voda.

Nema sumnje da je postignut stvaran napredak u razvoju empirijskih modela koji mogu biti korišteni za kombiniranje prinosa kultura i načina natapanja sa zaslanjenom vodom. Međutim, potreban je daljnji rad prije nego će ih se pouzdano moći koristiti u širokom rasponu terenskih uvjeta. Mnogo napora trebat će uložiti za određivanja

evapotranspiracije i uvjeta okoliša. Nejednolika primjena vode i prostorne varijacije parametara tla značajno utječu na sezonske vodno produkcijske funkcije. Do danas je malo učinjeno na procjeni kratkotrajne produkcijske funkcije pod nejednolikim uvjetima. Procedure za procjenu jednodolnosti raspodjele u mjerilu odgovarajućem za biljku također su neophodne. Varijacije u okolišu mogu utjecati na rast biljaka. Ta činjenica mora također biti uključena u modele rasta biljaka natapanih zaslanjenom vodom.

Čestina natapanja bitan je čimbenik razvoja biljaka. Biljka predstavlja funkciju osmotskog i matričnog potencijala vode u tlu. Osmotski potencijal može biti kontroliran ispiranjem dok je matrični potencijal kontroliran odgovarajućom i vremenski pravodobnom upotrebom vode.

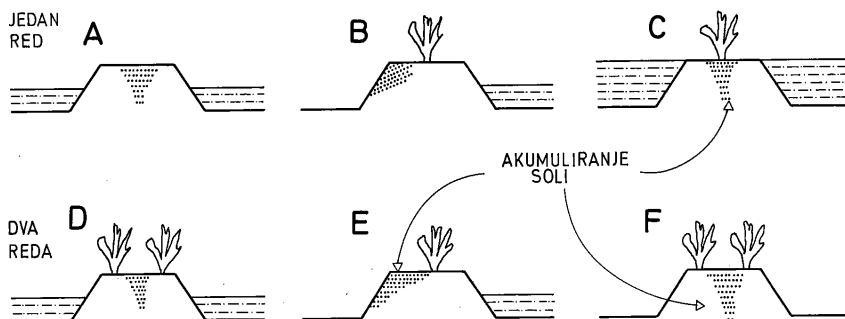
Utjecaj intervala natapanja na konačnu biljnu proizvodnju izučavan je od strane brojnih istraživača. Došlo se do zaključka da povećanje čestine natapanja ne pridonosi značajno biljnoj proizvodnji. Što više, češće natapanje može prije povećati nego smanjiti učinak zaslanjenosti. Nedostatak povećanja čestine natapanja se izrazitije odražava kada je kontrola opskrbe vodom manje fleksibilna (na pr. kod površinskog natapanja), te može uzrokovati velike gubitke vode, povećanu duboku perkolaciju i podizanje razine podzemne vode. Istraživanja su pokazala da nema potvrde da je češće natapanje sa zaslanjenom vodom dobra praksa jer može povremeno uzrokovati ozbiljne štete. Međutim, uz povećano ispiranje one mogu biti ispravljene.

Metode navodnjavanja utječu značajno na smanjenje dreniranih (dakle i izgubljenih) količina vode i jednodolnost ispiranja soli, a korištenje vode loše kakvoće čine lakšim. Slab izbor metode natapanja ne pogoršava samo zaslanjivanje već stvara probleme prilikom odvodnje. Dugotrajno korištenje slanijih vodnih resursa zahtijeva znanstvene spoznaje o odnosu tlo-voda-biljka i njihov utjecaj na modificiranje tehnika navodnjavanja.

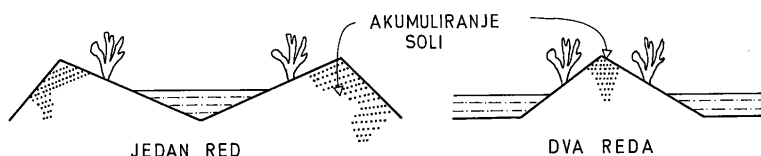
Na slici 1 ucrtna su tipična mjesta akumuliranja soli na grebenima i na dnu presjeka kod natapanja brazdama. Sol se raspodjeljuje različito kod raznih vrsta natapanja te ima različit utjecaj na produktivnost biljaka, odnosno izaziva različite štete posebno kod biljaka čiji su listovi osjetljivi na vlaženje slanom vodom. Pri natapanju slanom vodom razdoblje klijanja i izbivanja sadnica najkritičniji su stadiji razvoja biljaka. Promašaji u ovim stadijima uzrokuju loše stanje i značajno smanjenje uroda. Višak slanosti vode u kasnijim stadijima izaziva mnogo manje štete. Akumuliranje soli može biti posebno štetno za klijanje i izbivanje sadnica kad se sol koncentrirana na grebenima i dnu vlaži natapanjem brazdi. Položaj sjemena i sadnica mora biti takav da minimizira učinak visoke koncentracije soli. Za tla natapana zaslanjenom vodom kosa dna su najbolja mjesta. Na njima sadnica može biti sigurno utemeljena na kosini ispod zone akumuliranja soli.

Farmeri u SAD-u i Izraelu koriste posebnu praksu natapanja za ublažavanje utjecaja soli na rast biljaka. Proces se sastoji od: 1) Izmijenjenog natapanja brazdama sa ciljem da se sol makne na suhu stranu dna (tada se sjeme polaže na rubove ravnog dna gdje je akumuliranje soli minimalno); 2) Ponovno sijanje i sadnja slijedeći kiše koje su pale (ako slana kora ograniči izbivanje sadnica i klijanje); 3) Korištenje uzgoja u jednom redu u uskim koritima prateći pomicanje vrhova dna prije izbivanja sadnica sa ciljem da se skine tlo i/ili slana kora. Ako na raspolaganju stoje dvije vrste vode s različitim salinitetom ona s nižom slanosti koristi se tijekom klijanja i izbivanja sadnica.

PRAKSA NATAPANJA KOD RAVNOG DNA



POJAVA SOLI KOD DNA S NAGIBOM



Slika 1

Natapanje umjetnim kišenjem omogućava strogu kontrolu količine i raspodjele vode a koristi se često na terenima na kojima su nagibi previše strmi za primjenu ostalih metoda. Za tla s visokim koeficijentom infiltracije ili sa strukturnim problemima ova vrsta natapanja može se ponuditi kao uspješna alternativa. Osnovni problem koji se javlja kod natapanja umjetnim kišenjem sa zaslanjenom vodom je vlaženje listova što može uzrokovati opekline na vrhovima i rubovima lišća i u konačnici njihovo padanje.

Pri procjeni podobnosti metoda natapanja sa zaslanjenom vodom evidentno je da prevladavajući uvjeti vlage koji se javljaju kod metode kap na kap pružaju najbolje moguće uvjete za rast biljaka štiteći istovremeno lišće od opekline. Što više, lokalizirano natapanje nudi prednost opskrbe vodom na dnevnoj osnovu, čuvajući sadržaj vlage u tlu i slanost otopine tla u stabilnim iznosima. Jedina mana ove metode je potreba fizičkog odnošenja soli koja se akumulira na vlažnoj strani.

Kod sustava podzemnog navodnjavanja ne javlja se izlučivanje soli iznad površine tla. Stalno podizanje vode i evaporacija uzrokuju da se sol akumulira u blizini površine tla. Ako se tlo na ispre obilnim oborinama, površinskim navodnjavanjem ili poplavom, razina soli sigurno će postati toksična. Ovaj sustav nije pogodan za dugotrajno korištenje, posebno ako je koncentracija soli u vodi za natapanje visoka.

Ključ za kontrolu slanost i održivo navodnjavanje je u ispiranju soli, tj. izravnom kretanju slane vode i soli prema dolje u tlu kroz zonu korijena. Ispiranje soli je tijesno povezano s rastom biljaka, metodom navodnjavanja i fizičkim svojstvima tla. Izravno kretanje vode i soli prema dolje i kontrola akumuliranja soli u tlu oblikuje drenažnu vodu. Njena količina utječe na zahtjeve projektiranja drenaže i kakvoću drenirane vode.

Čestina i količina vode za ispiranje zavisi o kakvoći vode, klimi, tlu i osjetljivosti biljaka na slanost, sezonu i akumulaciju soli u tlu. Za učinkovito upravljanje i kontrolu ispiranja katkad je poželjno koristiti više vode pri svakom turnusu natapanja kako bi se

sol uklonila iz tla što zahtijeva povećanje potrošnje vode. Nasuprot tome moguće je koristiti manje vode i rjeđe vršiti ispiranje kada je više vode na raspolaganju. Koju od ovih opcija izabrati zavisi o raspodjeli soli a u odnosu je sa fazom razvoja biljaka. S druge strane sezonsko ispiranje tijekom razdoblja visoke potrošnje vode može biti poboljšano padanjem oborina. To se posebno odnosi na područje Mediterana i Srednjeg istoka gdje se oborine javljaju tijekom zime.

Čestina ispiranja soli istraživana je od strane brojnih znanstvenika. Postoje indicije da na soli tolerantnije biljke mogu uzrokovati smanjenje potrebe ispiranja. Visoka koncentracija soli u donjem dijelu korjenove zone može biti tolerirana uz minimalni efekt smanjenja biljne proizvodnje ako se u gornjem sloju održi niska koncentracija soli. Do danas nije raščišćeno koja količina soli može biti uskladištena u zoni korijena prije ispiranja i kako često je potrebno vršiti ispiranje.

Rezultati različitih istraživača podržavaju ideju da ispiranje treba koristiti tek onda kad akumulacija soli postane prevelika, dakle povremeno a ne pri svakom turnusu natapanja. Ta strategija posebno je bolja za biljke s kratkom vegetacijskom sezonom. Međutim, još uvijek nije utvrđeno da li ispiranje treba prakticirati periodično te koje su odgovarajuće količine vode za ispiranje u različitim stadijima razvoja biljki.

Zaključeno je da u cilju postizanja maksimalnog učinka te uštede slatke vode, ispiranje treba provoditi u skladu sa snošljivošću soli u pojedinom vegetacijskom stadiju i stvarnom količinom frakcija ispiranja. Vezano s tim količina i trajanje ispiranja može biti umanjeno u zavisnosti od faze razvoja u kojoj se biljka nalazi i njenoj toleranciji prema soli, sadržaju soli u vodi za natapanje i svojstvima tla. Povećanje učinkovitosti ili smanjenje potrebe ispiranja soli pod stvarnim okolnostima može rezultirati efikasnijim korištenjem vode, smanjenjem soli potrebne da bude uklonjena te znatnom redukcijom volumena drenirane vode. U okviru 4. navedeni su postupci povećanja učinkovitosti ispiranja i smanjenja količine vode potrebne za ispiranje.

Pri upravljanju s više vodnih resursa različitih kakvoća vode potrebno je stvoriti operativne strategije koje će omogućiti optimalni razvoj bilja i maksimalni prinos uz minimalne štetne posljedice te štednju vrednije (slatke) vode. U tom smislu postoje dvije osnovne tehnike od kojih se prva zasniva na miješanju voda a druga na izmjeničnoj upotrebi voda različite kakvoće (slanosti).

OKVIR 4. Praktične preporuke za povećanje učinkovitosti ispiranja soli

1. Ispiranje vršiti tijekom hladne sezone (radije nego tijekom tople) kada su gubici na evapotranspiraciji manji.
2. Koristiti natapanje kišenjem s manjim iznosima vode kako bi se formiralo nezasićeno tečenje koje je za ispiranje soli efikasnije od zasićenog tečenja.
3. Koristiti biljke koje toleriraju više soli pa stoga zahtijevaju manje korištenje vode za ispiranje.
4. Koristiti takovu obradu oranica da se uspori brzina tečenja po terenu i smanji broj površinskih pukotina koje odvede tok vode kroz velike pore i smanjuju učinkovitost ispiranja.
5. Gdje je to moguće treba vršiti ispiranje u razdobljima kad biljci nije potrebno mnogo vode ili odložiti ispiranje za poslije vegetacijske sezone.

Miješanje voda vrši se prije njenog ulaza u natapnu mrežu. Odnos miješanja zavisi o različitim salinitetima vode a uvjetovan je tolerancijom na sol uzgojene poljoprivredne kulture. Rezultati su pokazali da ovaj postupak nije skup te se lakše može upotrijebiti na velikim farmama. Usprkos svemu česta i dugotrajna primjena prije upotrijebljene slane

vode uz korištenje tehnike miješanja može dovesti do štetnih učinaka na produktivnost tla i urod biljaka. Zbog toga neophodne mjere opreza koje se tiču drenaže, ispiranja soli i selekcije biljaka moraju biti pažljivo i striktno provedene. Nadalje, pri miješanju visoko kvalitetne slatke vode sa zaslanjenom vodom, potpuno korištenje visokokvalitetne vode za biljke osjetljive na sol se smanjuje zbog dodataka soli.

Pri izmjeničnoj upotrebi voda različite kakvoće razrjeđenje se javlja u zoni korištena. Izvori natapanja se mijenjaju tijekom vegetacijske sezone u suglasju sa specifičnom tolerancijom prema soli biljaka u svakom stadiju razvoja. Ovom se strategijom izbjegava miješanje voda. Iskustva stečena u praksi pokazala su da su obje strategije (miješanje i izmjenična upotreba) prihvatljive te da daju dobre rezultate u slučaju dobro vođenih projekata navodnjavanja.

Pri vršenju izbora jedne od spomenutih strategija u obzir moraju biti uzeti brojni čimbenici kao što su: 1) Razina slanosti vode; 2) Relativna tolerancija različitih biljaka u različitim stadijima razvoja; 3) Osjetljivost biljaka na vlaženje listova; 4) Svojstva tla u odnosu na sastav vode (posebno na natrij); 5) Mogućnosti ispiranja; 6) Projektiranje i raspoloživost opreme; 7) Troškovi i dobit svake pojedine strategije. Prva tehnika (miješanje) izravna je stoga što prilagođava razinu zaslanjenosti pragu tolerancije na sol određene biljke. Ona pretpostavlja da je dovoljno raspolagati s opremom za miješanje voda kojom se postiže željena koncentracija. Eksperimentalne studije provedene u Institutu u Bariju procijenile su da izmjenična upotreba vode ima prednosti pred miješanjem voda o čemu su u okviru 5. dana četiri objašnjenja.

Izmjenična upotreba vode naziva se i cikličnom strategijom. Ona je potencijalno fleksibilnija od strategije miješanja ali ju je teško primijeniti na malim farmama. Njena primjena zahtijeva postojanje dvostrukog sustava distribucije a problem vršenja izmjena vodnih resursa nije tako jednostavan kako se čini na prvi pogled. Vrijeme i iznosi izmjenične upotrebe variraju u zavisnosti od kakvoće vode, svojstava uzgajanih biljaka, klime, izvjesnih svojstava tla te sustava za navodnjavanje. Svi ovi složeni međuodnosi nažalost do danas još uvijek nisu dovoljno izučeni što predstavlja ograničenje učinkovitog primjene ciklične strategije.

U posljednjih desetak godina razvijeni su vrlo složeni modeli interakcije tla, vode i razvoja biljaka povezani s različitim strategijama upravljanja vodnim resursima posebno vodeći računa o mogućnostima korištenja vode iz raznih izvora različite kakvoće. Postoje novi kompjuterski programi koji u obzir uzimaju snošljivost soli od strane raznih biljaka, zaslanjenost i kemijski sastav vode za navodnjavanje i njezin utjecaj na biljni razvoj, pojavu povremenih voda (oborine, poplave), kretanje soli te prisustvo ili odsustvo razine podzemne vode. Svi ovi parametri uključeni u kompjuterski model mogu služiti za simulaciju uzgoju biljaka, primjene raznih plodoreda te za optimalizaciju korištenja vode za natapanje.

Pokazalo se da će u budućnosti kompjuterski programi igrati značajnu ulogu u razvoju, planiranju i korištenju alternativnih sustava za navodnjavanje. Oni će pomoći u odgovaranju na pitanje na koji način zaslanjena voda može biti korištena u navodnjavanju. Za postizanje stvarnih uspjeha u praksi bit će potrebno raditi na poboljšanju programa, tj. njihovog približavanja korisnicima, izradi jednostavnijih i praktičnijih priručnika te obuci konzultanata, specijalista ali i farmera u njihovoj primjeni.

OKVIR 5. Prednosti izmjeničnog korištenja voda (ciklične strategije)

1. Izbjegava se pogoršanje svojstava kvalitetne vode. Ta voda može biti korištena u onom trenutku kad bude najpotrebnija (na pr. u stadiju klijanja)

- i izbjivanja sadnica koje je vrlo osjetljivo na razinu zaslanjenosti vode za natapanje). Kvalitetna je voda potrebna i za učinkovitost procesa ispiranja soli.
2. Kod biljaka osjetljivih na razinu soli u vodi za natapanje zadovoljavajući urod moguće je postići jedino sa vodom visoke kakvoće primjenom ciklične strategije. Nedostaci miješanja voda mogu biti potpuno eliminirani. Ova metoda nudi slobodnu mogućnost korištenja različitih vodnih resursa u skladu s prevladavajućim uvjetima na terenu.
 3. Ciklično korištenje vode niske i visoke slanosti štiti tlo da ne postane preslano. Dugoročno omogućava da bočata voda može biti korištena kao vrijedna frakcija vode za navodnjavanje.
 4. Ciklična strategija omogućava da brojne poljoprivredna kulture mogu biti uključene u plodored. Kod metode miješanja voda selekcija biljaka ograničena je na samo one koje podnose slanu vodu.

Kako je na početku već bilo rečeno od šezdesetih godina dvadesetog stoljeća porastao je interes za ponovno korištenje zagađene vode u mnogim krajevima svijeta. Glavni razlog leži u nedostatku kvalitetne (prije svega pitke) vode za sve korisnike. Današnji procesi pročišćavanja osiguravaju visoku kakvoću tretirane zagađene vode. Stupanj pročišćenja upotrijebljene i zagađene vode razlikuje se, a sukladno s tim i kakvoća pročišćene vode varira od slučaja do slučaja. Najjednostavniji i najjeftiniji sustavi uključuju odvajanje tvrde komponente od tekuće.

Složeniji sustavi uključuju kombinaciju fizičkih, kemijskih i bioloških procesa uz korištenje višestrukih tretmana kojima se odstranjuju zagađivači. Najsofisticiranijim ali ujedno i najskupljim sustavima moguće je proizvesti pitku vodu od upotrijebljene i zagađene vode. Pri tome najveći problem predstavlja uklanjanje bioloških i kemijskih sastojaka opasnih za ljudsko zdravlje. Najveći rizik je od patogenih bakterija, crijevnih glista, protozoa i crijevnih virusa. U posljednjih četrdesetak godina napravljeni su napor i postignuti su i uspjesi u postupcima pročišćavanja otpadnih voda. Danas se krenulo dalje a napor su usmjereni na primjenu dijelom pročišćene vode za natapanje, njenom zagrijavanju te prihranjivanju podzemnih voda.

Mogućnost i korist od ponovne primjene dijelom pročišćene vode za navodnjavanje poznata je stoljećima. Prednost njenog korištenja leži u činjenici što je ta voda najčešće jeftina te što njenom upotrebom može biti povećana biljna proizvodnja i smanjena upotreba kemijskih gnojiva. Bitno je prije svega za potrebe navodnjavanja umjetnim kišenjem biljaka koje se jedu nekuhane pročititi vodu od virusa. Svjetska zdravstvena organizacija izradila je 1989. godine preporuke za mikrobiološku kakvoću pročišćena vode koja se koristi za navodnjavanje (Tablica 2.).

U preporukama Svjetske zdravstvene organizacije naglasak je stavljen na potrebu korištenja akumulacija (bazena) za stabilizaciju u kojima se mora izvršiti mikrobiološki oporavak kakvoće vode. Što više, specificiran je i monitoring crijevnih nametnika. Država Kalifornija (Tablica 3.) je 1978. godine donijela preporuke koje se oslanjaju na sustave pročišćavanja i monitoring količine ukupnih koliformnih bakterija za procjenu njihove mikrobiološke kakvoće.

Usprkos iznesenim preporukama i postupcima na osnovu njihovih traženja ponovno korištenje zagađene vode nije bez rizika. Praksa je pokazala da uvijek postoji opasnost od infekcija, što ne znači da je ponovno korištenje pročišćene zagađene vode nesigurno. Sigurnost je u ovom kontekstu određena kao prihvatljiva razina definirana od strane agencije odgovorne za upravljanje rizikom i javno prihvaćena te potvrđena u praksi. Nova istraživanja rezultirat će razvojem novih tehnika i popravljanjem postojećih

metodologija koje se koriste za procjenu rizika na zdravlje. Pri tome je posebna pažnja usmjerena na analize vezane s praćenjem kretanja zagađivača, procjenu mikrobiološke kakvoće, sustave tretiranja otpadnih voda i procjena opasnosti od mikrobioloških, kemijskih i organskih zagađivača.

Tablica 2. *Preporuke Svjetske zdravstvene organizacije za primjenu pročišćenih otpadnih voda za navodnjavanje*

Uvjeti ponovnog korištenja	Crijevni* nametnici	Fekalne ili ukupne koliformne bakterije	Zahtjevani tretman otpadnih voda
Voće i povrće koje se jede nekuhano, sportski tereni i javni parkovi	< (1/L)	< (1000/100 ml)	Niz akumulacija za stabiliziranje ili drugi odgovarajući tretman
Natapanje površina na kojima javnost ima pristup (na pr. hoteli, moteli ...)	< (1/L)	< (200/100 ml)	Sekundarni tretman upotpunjen dezinfekcijom
Natapanje žitarica, industrijskog bilja, pašnjaka i stabala	< (1/L)	Nema preporuka	Akumulacije za stabilizaciju sa 8—10 dnevnom retencijom ili odgovarajući tretman

* Izraženo kao aritmetički srednjak broja jajašaca na litru vode tijekom perioda natapanja.

Tablica 3. *Kriteriji za pročišćavanje zagađene vode u Kaliforniji (SAD)*

Uvjeti ponovnog korištenja	Crijevni nametnici*	Fekalne ili ukupne koliformne bakterije	Zahtjevani tretman otpadnih voda
Navodnjavanje kišenjem i potapanjem hranjivih biljaka, navodnjavane površine jako izložene (na pr. parkovi)	Nema standarda	< (2,2/100 ml) preporuča se	Sekundarni tretman upotpunjen filtracijom i dezinfekcijom
Natapanje pašnjaka za stoku koja proizvodi mlijeko, obori za stoku	Nema standarda	< (23/100 ml)	Sekundarni tretman upotpunjen dezinfekcijom

* Izraženo kao aritmetički srednjak broja jajašaca na litru vode tijekom perioda natapanja.