



**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišta u Rijeci**

**HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE  
I NAVODNJAVANJE**

**PRIRUČNIK  
ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE**

II. KOLO

NAVODNJAVANJE

KNJIGA 5

PLANIRANJE, PROJEKTIRANJE I ORGANIZACIJA  
NATAPNIH SUSTAVA

Rijeka 1996.

*Sadržaj ove knjige predstavlja rezultat pete godine istraživanja u okviru znanstvenog projekta "Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj", financiranog od Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike Republike Hrvatske. Izdavanje rezultata istraživanja u vidu priručnika u ograničenom broju primjeraka novčano su potpomogli:*

- Javno vodoprivredno poduzeće "Hrvatska vodoprivreda", Zagreb, Avenija grada Vukovara 220*
- "Hidroprojekt - ing" Projektiranje d.o.o. , Zagreb, Draškovićeva 35/1*
- "Hidroing" d.o.o. za projektiranje, građenje i nadzor, Osijek, Križanićev trg 3*

Rijeka, veljača 1996.

# Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

## Republike Hrvatske

Projekt: Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj

Šifra: 2-11-059

Voditelj projekta: Prof.dr. Zorko Kos

Istraživači:

Prof.dr. Zorko Kos

Prof.dr. Ognjen Bonacci

Mr. Vladimir Prosen

Prof.dr. Frane Tomić

Prof.dr. Stjepan Mađar

Dr. Davor Romić

Mr. Ivica Plišić

Dr. Dragutin Gereš

Senko Vlah, dipl. inž. građ.

Katalogizacija u publikaciji - CIP

Sveučilišna knjižnica Rijeka

UDK 626.8(035)

PRIRUČNIK za hidrotehničke melioracije // urednik Zorko Kos/.

- Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci / etc./,

1992- . - sv. ; 24 cm

Kolo

2 : Navodnjavanje

Knj.

5 : Planiranje, projektiranje i organizacija natapnih sustava.

- 1996. - XII, 246 str. : ilustr. , graf. prikazi

Bibliografija iza svakog poglavlja.

Rezultati istraživanja na temi tokom 1995.

# GRAĐEVINSKI FAKULTET

Sveučilišta u Rijeci

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE  
I NAVODNJAVANJE

## PRIRUČNIK

# ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE

II. KOLO

NAVODNJAVANJE

KNJIGA 5

PLANIRANJE, PROJEKTIRANJE I ORGANIZACIJA  
NATAPNIH SUSTAVA

Autori:

Prof.dr. Zorko Kos

Prof.dr. Ognjen Bonacci

Prof.dr. Frane Tomić

Prof.dr. Stjepan Mađar

Dr. Davor Romić

Dr. Dragutin Gereš

Mr. Ivica Plišić

Mr. Jasna Šoštarčić

Rijeka, 1995.



# GRAĐEVINSKI FAKULTET

## Sveučilišta u Rijeci

Za izdavača:

Prof.dr. Zorko KOS

Uredništvo:

Prof.dr. Zorko KOS

Prof.dr. Juraj PLENKOVIĆ

Prof.dr. Edvard PAVLOVEC

Prof.dr. Ante MATKOVIĆ

Doc.dr. Ivica KOŽAR

Glavni i odgovorni urednik:

Prof.dr. Zorko KOS

Recenzenti:

Prof.dr. Ivo MARINČIĆ

Prof.dr. Božidar EKL

Lektor:

Mr. Istočnica BABIĆ

Kategorizacija:

Znanstvena monografija

Adresa uredništva: Rijeka, Viktora Cara Emina 5

Naklada: 300 primjeraka

Kompjutorski slog: Alen MAREČIĆ i Senko VLAH

Tisak: Tipograf Rijeka

## PREDGOVOR

Prema već uobičajenom i uhodanom ritmu od jedne knjige godišnje, dovršena je, eto, i jedanaesta knjiga Priručnika, od kojih prvih šest obuhvaća područje odvodnje, a zadnjih pet područje natapanja. Do završetka cijelog projekta preostaje još samo jedan svezak, koji će, dakako, biti pripremljen i objavljen u programiranom roku. Vjerojatno će se aktivnost nastaviti i nakon toga jer ima još dosta gradiva koje bi trebalo obraditi i objaviti za potrebe zainteresiranih. To će, donekle, ovisiti i o odobrenju budućih znanstveno-istraživačkih projekata Ministarstva znanosti i tehnologije i novčanoj potpori koju će dobiti. Priprema i odobrenje projekata očekuje se u drugoj polovici tekuće godine.

Ova se knjiga, pod naslovom *Planiranje, projektiranje i organizacija natapnih sustava*, pojavljuje u pravi čas. Naime, kako u Hrvatskoj, u iole spomena vrijednu opsegu, razvoj natapanja nije ni započeo, bit će to putokaz ne samo za planiranje i projektiranje, odnosno rješavanje tehničke problematike, već i načina organiziranja i upravljanja.

Sadržaj ove knjige, zapravo, u cijelosti obuhvaća specifičnu građu iz pojedinih hidrotehničkih disciplina koja je bitna pri izradi planova i projekata iz područja natapanja. Posebno su ovdje, po prvi put, opisana i prikazana dva programa za obradu pojedinih elemenata plana s pomoću elektroničkih računala, i to za proračun potrebe bilja za vodom, te za dimenzioniranje tlačnih cijevnih mreža.

Glavni je naglasak u sadržaju posvećen prikazu osnovnih podloga nužnih pri planiranju natapnih sustava, metoda projektiranja i optimalizacije cijevnih mreža pod tlakom te postupaka i tehničkih rješenja pri planiranju i gradnji velikih gravitacijskih natapnih kanala i odgovarajućih građevina na njima.

Gradivo je dopunjeno prikazom potrebnih gospodarskih analiza koje nužno prate svaki plan razvoja natapanja, i kratkim opisom metoda dizanja vode kroz povijest kako bi čitalac uočio bit tih komponenata svakoga natapnog sustava.

Kao i u ranijim svescima, i u ovoj knjizi, svaka značajnija metoda ili korak u postupku planiranja, ilustriran je odgovarajućim računskim primjerima kako bi se korisnicima olakšao rad pri realizaciji projekata.

Nema nikakve sumnje da će i ovaj svezak, kao uostalom i svi prethodni, naići na veliko zanimanje stručne javnosti, koja se bavi planiranjem ove grane, a sve u svrhu razvoja i unapređivanja ove djelatnosti na opću dobrobit naše domovine.

Rijeka, veljača 1996.

Prof.dr. Zorko Kos



# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<i>Prof. dr. Zorko Kos</i>	
<b>1.1. OPĆENITO</b> .....	1
<b>1.2. SADRŽAJ I ZADACI PLANA NATAPANJA</b> .....	3
<b>1.3. OSVRT NA SADRŽAJ OVE KNJIGE</b> .....	5
<b>2. OSNOVNE PODLOGE ZA PLANIRANJE NATAPNIH SUSTAVA</b> .....	7
<i>Prof. dr. Zorko Kos</i>	
<b>2.1. FIZIČKA OKOLINA</b> .....	7
2.1.1. Tlo.....	8
2.1.2. Opskrba vodom.....	9
2.1.3. Međudjelovanje klima - usjevi.....	11
<b>2.2. RASPOLOŽIVA SREDSTVA</b> .....	12
2.2.1. Kapital.....	12
2.2.2. Radna snaga.....	13
2.2.3. Energija.....	13
<b>2.3. GOSPODARSKI I FINACIJSKI PREDUVJETI</b> .....	14
2.3.1. Gospodarska izvodljivost.....	15
2.3.2. Fiksni troškovi.....	16
2.3.3. Varijabilni troškovi.....	17
2.3.4. Rast cijena.....	18
2.3.5. Gospodarska procjena.....	19
2.3.6. Financijska izvodljivost.....	19
<b>2.4. NATAPANJE I ZAŠTITA OKOLINE</b> .....	20
2.4.1. Obrada "nultog" (sadašnjeg) stanja okoliša.....	21
2.4.2. Utjecaji okoliša.....	23
<b>LITERATURA</b> .....	25
<b>3. VRSTE RAZVODNIH NATAPNIH MREŽA</b> .....	27
<i>Dr. sc. Dragutin Gereš</i>	
<b>3.1. UVOD</b> .....	27

<b>3.2. SADRŽAJ I DEFINICIJE KOMPONENATA</b> .....	27
<b>3.3. DEFINICIJE PARAMETARA SUSTAVA</b> .....	31
<b>3.4. KLASIFIKACIJA RAZVODNIH NATAPNIH MREŽA</b> .....	32
3.4.1. Klasifikacija prema vrsti vode .....	32
3.4.2. Klasifikacija prema tipu dovodnog sustava .....	32
3.4.3. Klasifikacija prema raspoloživom tlaku .....	33
3.4.4. Klasifikacija prema podrijetlu tlaka vode.....	33
3.4.5. Klasifikacija prema načinu pogona (dodjele vode).....	34
<b>LITERATURA</b> .....	36
<b>4. OVISNOST PROTOKA O NAČINU POGONA</b> .....	37
<i>Dr. sc. Dragutin Gereš</i>	
<b>4.1. UVOD</b> .....	37
<b>4.2. STRUKTURA SUSTAVA RAZVODNE NATAPNE MREŽE</b> .....	37
<b>4.3. POGON U TURNUSU (ROTACIJD) I ODREĐIVANJE PROTOKA</b> .....	40
4.3.1. Turnus natapanja s fiksiranom veličinom modula.....	40
4.3.2. Projektirani protok .....	41
4.3.3. Ograničenja pogona u turnusu.....	41
4.3.4. Pogon u turnusu u razvodnoj mreži pod tlakom .....	42
<b>4.4. POGON NA ZAHTJEV I ODREĐIVANJE PROTOKA</b> .....	43
4.4.1. Općenito.....	43
4.4.2. Clémentova metoda za proračun protoka .....	44
<b>4.5. ODREĐIVANJE PROTOKA U KONTINUIRANOM NAČINU POGONA</b> .....	48
<b>LITERATURA</b> .....	49
<b>5. PROJEKTIRANJE I OPTIMALIZACIJA MREŽA POD TLAKOM</b> .....	51
<i>Prof. dr. Zorko Kos</i>	
<b>5.1. UVOD</b> .....	51
<b>5.2. OPTIMALIZACIJA DULJINE TRASE CJEVOVODA</b> .....	51
<b>5.3. OPTIMALIZACIJA PROMJERA CJEVOVODA</b> .....	58

5.3.1. Općenito.....	58
5.3.2. Izrada karakterističnih krivulja.....	62
5.3.3. Računski primjer.....	65
5.3.4. Optimalizacija sustava u cjelini .....	72
<b>5.4. UPRAVLJANJE CRPNIM POSTAJAMA.....</b>	<b>76</b>
5.4.1. Općenito.....	76
5.4.2. Ručno upravljanje (regulacija).....	77
5.4.3. Automatsko upravljanje.....	78
5.4.4. Varijabilna brzina crpki.....	84
5.4.5. Zaključci .....	84
<b>LITERATURA.....</b>	<b>86</b>
<b>6. PROJEKTIRANJE I OPTIMALIZACIJA MREŽE OTVORENIH KANALA .....</b>	<b>87</b>
<i>Dr. sc. Dragutin Gereš</i>	
<b>6.1. UVOD .....</b>	<b>87</b>
<b>6.2. PROJEKTIRANJE I PRORAČUN KANALA.....</b>	<b>87</b>
6.2.1. Definicije .....	87
6.2.2. Elementi, potrebe i karakteristike .....	88
6.2.3. Projektiranje kanala u sitnozrnorn materijalu.....	92
6.2.4. Obloženi kanali .....	105
<b>6.3. PROJEKTIRANJE I PRORAČUN GRAĐEVINA NA KANALIMA.....</b>	<b>108</b>
6.3.1. Uvod .....	108
6.3.2. Prijelazni dijelovi konstrukcije objekta .....	109
6.3.3. Froudeov broj.....	110
<b>6.4. PROJEKTIRANJE I OPTIMALIZACIJA KANALSKIH MREŽA.....</b>	<b>110</b>
6.4.1. Definicije .....	110
6.4.2. Karakteristike kanalske mreže.....	111
<b>6.5. POGON KANALSKIH MREŽA (REGULIRANJE).....</b>	<b>114</b>
6.5.1. Uvod .....	114
6.5.2. Reguliranje pogona kanala .....	115
6.5.3. Reguliranje pogona crpnih stanica.....	118
<b>LITERATURA.....</b>	<b>120</b>

**7. ZAŠTITA MREŽA OD AGRESIVNIH TALA I VODA** ..... 121  
*Dr. sc. Dragutin Gereš*

<b>7.1. TLA KOJA SADRŽE GIPS</b> .....	121
7.1.1. Uvod .....	121
7.1.2. Projektni kriteriji.....	121
7.1.3. Postupci u fazi građenja.....	122
<b>7.2. AGRESIVNO DJELOVANJE VODE I TLA NA MREŽU</b> .....	122
<b>7.3. MATERIJALI I OPREMA</b> .....	123
7.3.1. Čelične cijevi.....	123
7.3.2. Cijevi od nodularnog lijeva (ductil) .....	123
7.3.3. Cijevi od azbest-cementa .....	124

**LITERATURA**..... 125

**8. GOSPODARSKE ANALIZE INVESTICIJSKOG PROJEKTA**..... 127  
*Dr. sc. Dragutin Gereš*

<b>8.1. OCJENA PROJEKTA</b> .....	127
8.1.1. Uvod .....	127
8.1.2. Etape u ocjeni investicijskog projekta .....	127
<b>8.2. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA</b> .....	130
<b>8.3. GOSPODARSKA I FINACIJSKA ANALIZA PROJEKTA</b> .....	130
8.3.1. Proračun troškova.....	130
8.3.2. Finacijske analize.....	132
8.3.3. Gospodarske analize.....	132
8.3.4. Cijene u sjeni (shadow prices) .....	133
8.3.5. Proračun unutarnje stope povrata.....	133
8.3.6. Ostale metode ocjene projekata.....	136
8.3.7. Analiza godišnjih troškova .....	136

**LITERATURA**..... 139

**9. POVIJEST RAZVOJA I METODE DIZANJA VODE  
(CRPLJENJA)**..... 141  
*Prof. dr. Ognjen Bonacci*..... 141

<b>9.1. UVOD</b> .....	141
------------------------	-----

<b>9.2. PRINCIPI DIZANJA VODE</b> .....	142
---	-----

9.3. POVIJEST I METODE DIZANJA VODE.....	143
<b>LITERATURA.....</b>	<b>159</b>
<b>10. PROGRAM "CROPWAT" - PRIMJENA U PLANIRANJU I PROJEKTIRANJU NATAPANJA.....</b>	<b>161</b>
<i>Dr. Davor Romić</i>	
<i>Mr. Jasna Šoštarić</i>	
<i>Prof. dr. Frane Tomić</i>	
<i>Prof. dr. Stjepan Mađar</i>	
10.1. UVOD .....	161
10. 2. PRINCIPI RADA I MOGUĆNOSTI PROGRAMA .....	162
10.2.1. Izračunavanje referentne evapotranspiracije (ET <sub>o</sub> ) .....	163
10.2.2. Izračunavanje potreba biljaka za vodom.....	164
10.2.3. Raspored natapanja .....	171
10.2.4. Raspored opskrbe vodom.....	179
10.3. UMJESTO ZAKLJUČKA.....	181
<b>LITERATURA.....</b>	<b>182</b>
<b>11. DIMENZIONIRANJE TLAČNIH VODOOPSKRBNIH MREŽA - PROGRAMI ZA DIMENZIONIRANJE .....</b>	<b>183</b>
<i>Mr. Ivica Plišić</i>	
11.1. UVOD .....	183
11.2. HIDRAULIČKI PRORAČUN .....	184
11.2.1. Hidraulički proračun na klasičan način.....	188
11.2.2. Hidraulički proračun pomoću simulacije rada sustava.....	189
11.3. PRIKAZ RADA PROGRAMA WESNET.....	191
11.3.1. Analiza potrebe za vodom.....	193
11.3.2. Čvorovi sustava .....	195
11.3.3. Strujanje u cijevima.....	196
11.3.4. Crpne stanice .....	196
11.3.5. Ventili.....	199
11.3.6. Kalibracija matematičkog modela.....	200
11.4. RAČUNSKI PRIMJER.....	200
11.4.1. Zalijevanje rasadnika.....	200



<b>LITERATURA</b> .....	205
<b>12. ORGANIZACIJA I ODRŽAVANJE NATAPNIH SUSTAVA</b> .....	207
<i>Prof. dr. Zorko Kos</i>	
<b>12.1. OPĆENITO</b> .....	207
<b>12.2. CILJEVI</b> .....	208
<b>12.3. ORGANIZACIJSKE STRUKTURE</b> .....	209
12.3.1. Segregirana organizacijska struktura .....	211
12.3.2. Integrirana organizacijska struktura .....	211
<b>12.4. PLANIRANJE ORGANIZACIJE PROJEKTA</b> .....	212
<b>12.5. VRSTE ORGANIZACIJA ZA NATAPANJE</b> .....	213
12.5.1. Integrirane upravne organizacije .....	214
12.5.2. Specijalizirane vodoprivredne organizacije .....	216
12.5.3. Višenamjenske vodoprivredne organizacije.....	217
12.5.4. Moguća rješenja organizacija natapanja u Hrvatskoj .....	218
<b>12.6. UPRAVLJANJE NATAPNIM SUSTAVIMA</b> .....	220
12.6.1. Osnove funkcije upravljanja .....	220
12.6.2. Upravitelji .....	222
12.6.3. Značaj i sadržaj sustava upravljanja .....	223
12.6.4. Utjecaj vodnog doprinosa na upravljanje.....	225
<b>12.7. SLUŽBE NATAPNE ORGANIZACIJE</b> .....	226
12.7.1. Služba pogona .....	226
12.7.2. Služba održavanja.....	237
<b>LITERATURA</b> .....	246

# 1. UVOD

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

## 1.1. OPĆENITO

Danas u svijetu ima veliki broj središta, pristupa i metoda za proračun minimalnih (optimalnih) dimenzija pojedinih elemenata, ali i čitavih mreža natapnih sustava. U novije vrijeme pojavio se i veći broj programa za razne proračune na elektroničkim računalima. Neke od tih metoda, koje je uredništvo smatralo najprikladnijima za naše prilike, obradit će se u ovom svesku.

Prilikom izbora temeljnih pristupa nekom planu natapanja treba ponajprije uspostaviti čvrstu vezu između planirane proizvodnje i fizičkih značajki okoline, naročito klime, tla i mogućnosti opskrbe vodom. Tako zacrtan plan mora biti tehnički izvodljiv, ekonomski prihvatljiv, pogonski isplativ, a proizvodnja mora biti stabilna.

Općenito uzevši, ovisno o raspoloživom fondu tla i vode na promatranom području, mogu se pojaviti ova četiri slučaja:

a) Ako se u određenom području raspolaže dovoljnim (neograničenim) količinama vode, onda se zadatak projekta natapanja mora temeljiti na koncepciji postizanja najvećega čistog prihoda (dohotka) po obrađenom hektaru. To se, primjerice, odnosi i na Hrvatsku;

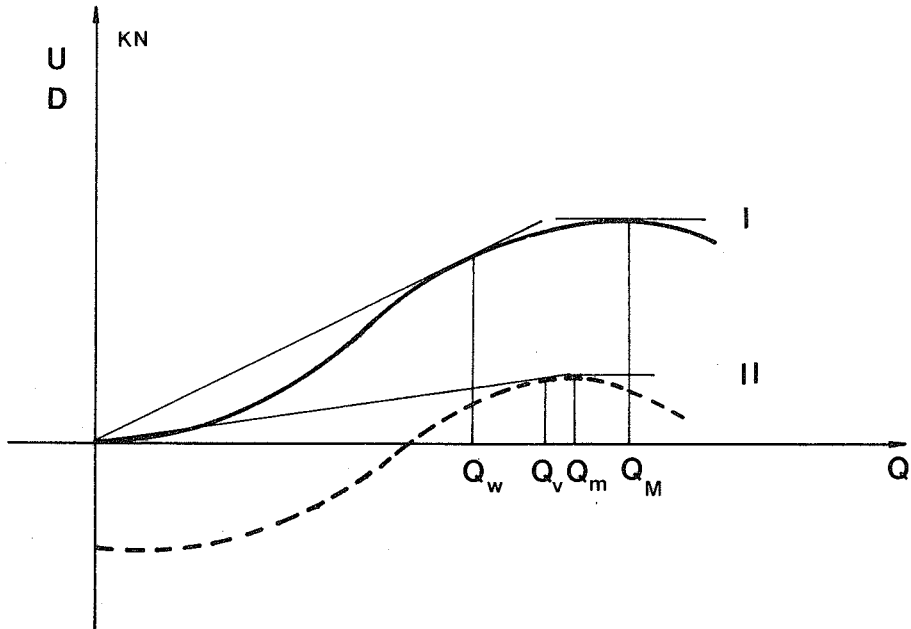
b) Ako se pak raspolaže dovoljnim količinama vode, ali su poljoprivredne površine ograničene, zadatak plana natapanja treba biti postizanje maksimalne količine uroda po jedinici površine. Na takve se slučajeve nailazi u većem broju zemalja Dalekog istoka i Europe;

c) Ako se raspolaže ograničenim količinama vode, a poljoprivrednog tla ima dovoljno, zadatak plana treba biti postizanje najboljega financijskog učinka po kubičnom metru utrošene vode, odnosno najpovoljnije (gospodarski) utrošene vode;

d) I, konačno, ako su tlo i voda u ograničenim količinama, treba težiti postizanju najvećeg uroda (priroda) po kubičnom metru utrošene vode. Takvi se slučajevi pojavljuju u južnom Sredozemlju, sjevernoj Africi, Grčkoj i drugdje.

Dakako, u praksi se rijetko, gotovo nikada, ne susreću tako jednostavni - školski primjeri pa je potrebno sustavnom analizom svih bitnih činilaca doći do adekvatnog rješenja.

Da bi se zorno uočile značajke glede zadatka plana natapanja, na priloženoj skici poslužit ćemo se jednim jednostavnim, posve idealiziranim primjerom. Pretpostavimo da analiziramo učinak natapanja na jednom hektaru tla u uvjetima bez oborina i s jednom poljoprivrednom kulturom. U tom je slučaju učinak natapanja, odnosno postignuti urod, uvijek neposredno proporcionalan utrošenoj količini natapne vode.



Sl. 1-1 Izbor optimalne količine vode za natapanje

Na slici 1-1, krivulja I prikazuje vrijednost ukupnog uroda  $U$ , razmatrane kulture u ovisnosti o količini utrošene vode za natapanje,  $Q$ . Vrijednosti na krivulji rastu od ishodišta sve do neke vrijednosti  $Q_M$ , kada su maksimalne, a daljnjim povećanjem količine vode opadaju jer prevelike količine vode smanjuju prirodu.

Krivulja II prikazuje neto prihod ili dohodak  $D$  na natapanom hektaru. Ona se dobiva računski iz podataka za krivulju I ako se od ukupnih troškova odbiju troškovi proizvodnje. Može se uočiti da se vršna vrijednost na toj krivulji razlikuje od vršne vrijednosti na krivulji I, odnosno da je  $Q_m < Q_M$ .

Iz opisanoga je jasno da se na krivuljama I i II prikazane slike može birati odgovarajuća (optimalna) količina vode za natapanje u ovisnosti o značajkama i specifičnostima područja prethodno opisanih od a) do d).

Slijedom toga mogu se pojaviti ovi slučajevi:

- ako planom želimo postići najveći čisti prihod po jedinici površine (hektaru), onda biramo količinu  $Q_m$  (slučaj a);

- ako je pak svrha plana postizanje najvećeg uroda po hektaru, onda treba izabrati vrijednost  $Q_M$  (slučaj b);

- ako pak plan predviđa dobivanje najvećega financijskog učinka po kubičnom metru utrošene vode, treba birati veličinu  $Q_v$  (dodir tangente iz ishodišta i krivulje II), jer je u točki  $Q_v$  odnos  $D/Q$  maksimalan;

- i konačno, u slučaju d), gdje je svrha plana dobivanje najvećeg uroda po kubičnom metru utrošene vode, mjerodavna količina bit će  $Q_w$ , jer i tu vrijedi pravilo da je optimum odnosa  $U/Q$  u točki na krivulji I, koja se nalazi na dodiru tangente povučene iz ishodišta i krivulje I. Kao što je već ranije spomenuto,  $U$  označuje ukupan prihod.

Na kraju se ističe da je svaki plan razvoja natapanja veoma složen i traži multidisciplinarni pristup pa ga se ne može svesti na ovako pojednostavljene računске operacije. Ovaj primjer osvjetljava problem samo s jednog stajališta, a u praksi će se zadatak razmotriti i riješiti integralno.

## 1.2. SADRŽAJ I ZADACI PLANA NATAPANJA

Prvi je planski dokument, koji slijedi iza vodoprivredne osnove (ako je načinjena za to područje), a odnosi se na natapanje, obično plan natapanja. Iza toga slijede detaljnije obrađeni elaborati: idejna studija, idejni projekt, itd. sve do realizacije sustava.

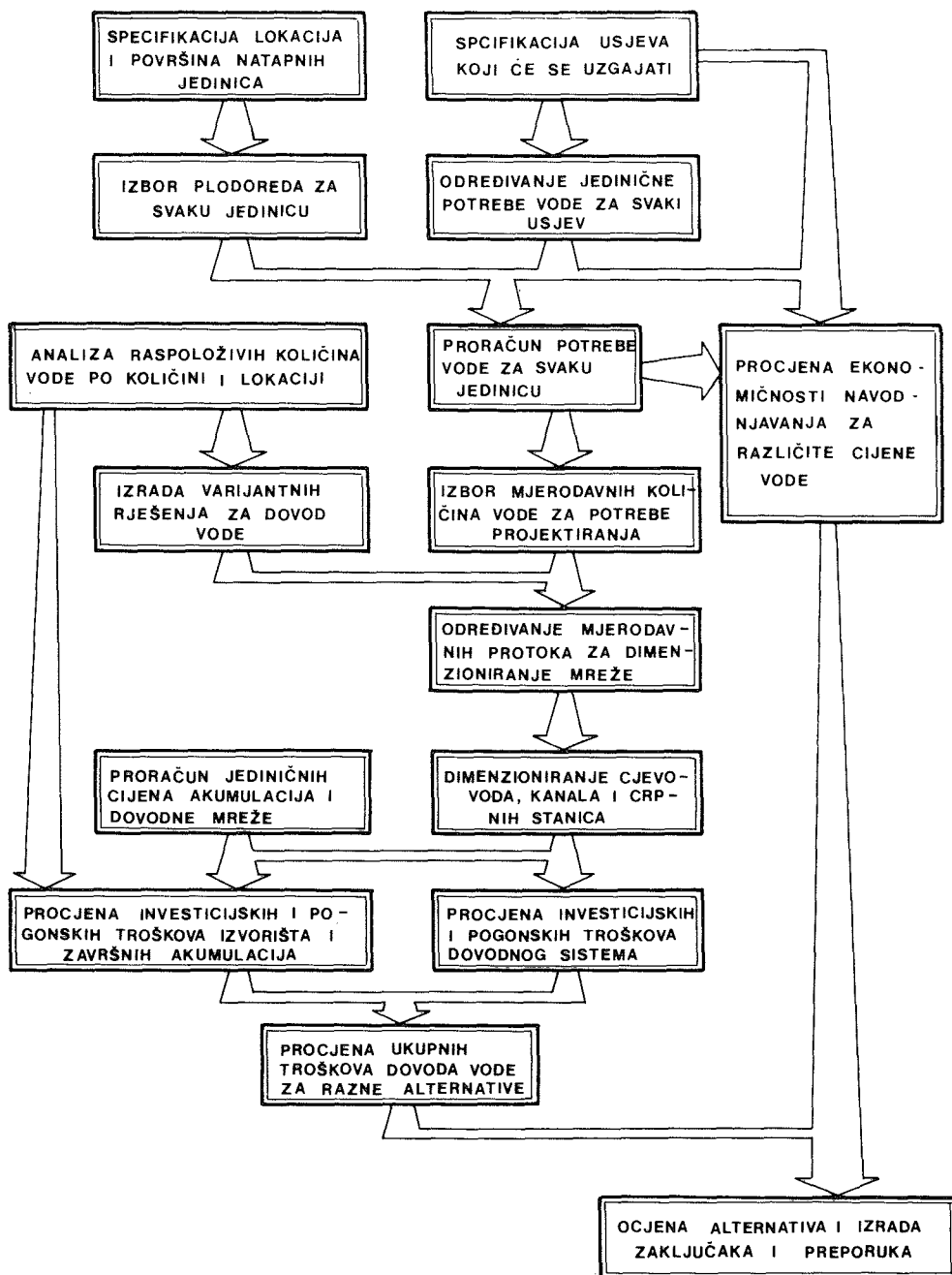
Postupak, primijenjena metodologija i sadržaj takva plana razlikuju se obično od slučaja do slučaja, ali su neka osnovna načela više-manje jednaka ili barem slična u svima. Temeljni je zadatak projektanta-planera ponajprije analizirati i utvrditi koje će i koliko neposredne i posredne koristi natapna voda pridonijeti proizvodnoj sposobnosti razmatranog područja i kako će utjecati na preobrazbu i poboljšanje strukture sjetve, a time i općeg razvoja toga područja i zemlje u cjelini. Pri tome je bitno da se problematika razmotri cjelovito te da se dužna pozornost obrati gospodarskim, ali i ekološkim, sociološkim i sličnim pitanjima.

Nakon definiranja područja obrade, prije svega se detaljno analiziraju gospodarsko-agronomski aspekti razvoja natapanja, i to i sadašnje i buduće stanje u uvjetima natapanja, imajući na umu sve socijalne, društvene i političke elemente koji jesu ili bi mogli biti od bitnog značaja. Sljedeći se korak sastoji u izradi tehničkih, osobito hidrotehničkih, rješenja prema uobičajenom poretku.

Da se skрати opisivanje i uštedi na prostoru, na priloženoj shemi u obliku algoritma prikazan je poredak operacija izrade pojedinih dijelova i faza plana koji je primijenjen prilikom izrade natapnog plana na području Istre.

Svrha, odnosno razlog da se pristupi pripremi i realizaciji nekog plana natapanja, može se sažeti u ove dvije točke:

- Poboljšanje proizvodne sposobnosti tla, a time i povećanje ukupnog prihoda i dohotka po jedinici površine na određenoj hidromeliracijskom području.



Sl. 1-2 Poredak operacija u izradi plana natapanja

Takvu se planu pristupa kada je područje već obrađeno i upotrijebljeno za poljoprivrednu proizvodnju, ali se želi, zbog čestih sušnih razdoblja, osigurati povećani urod, stabilnost, ili se pak uvode novi usjevi za koje prirodna opskrba vodom ne zadovoljava. Korisnici područja najčešće ostvaruju takav plan u nekoj zajedničkoj organizaciji, npr. vodnoj zajednici, vodnoj udruzi i dr. Te se organizacije, po dovršenju sustava, obično brinu za održavanje i pogon zajedničkih građevina, naplaćujući svoje usluge od korisnika.

- Osvajanje novih površina kada se u nekom području u aridnom klimatu poljoprivreda može uspješno razvijati samo uvođenjem natapanja ili pak kada se u sličnim uvjetima želi napustiti niskodohodovna monokulturna proizvodnja uvođenjem polikulturnog plodoreda uz natapanje.

Takav razvoj natapanja najčešće zahtijeva poduzimanje brojnih aktivnosti, a to su izgradnja stambenih i gospodarskih zgrada, prometnica, društvenih centara i dr. On je često povezan s imigracijom, što se u nekim europskim (i drugim) zemljama naziva kolonizacijom. Kako su opseg, značenje i širina radnji što ih takav plan zahtijeva, znatno veći i osjetljiviji od aktivnosti iz prethodnog primjera, intervencija je države tu gotovo neizbježna. Takve planove u svijetu redovito realiziraju državne agencije ili neka društva i organizacije interesenata, uz obilnu potporu i pomoć državnih institucija.

### 1.3. OSVRT NA SADRŽAJ OVE KNJIGE

Nakon što su obrađeni osnovni elementi proračuna sustava za natapanje u prve četiri knjige, u ovom se svesku daju sažeti naputci i metodologija za planiranje i projektiranje natapnih sustava te upravljanje tim sustavima.

U poglavlju o nužnim osnovnim podlogama koje se upotrebljavaju za izradu planova natapnih sustava, prikazani su potrebni podaci o fizičkoj okolini (tlo, voda, klima), zatim podaci o raspoloživim sredstvima za implementaciju plana, u što prije svega spadaju kapital, radna snaga, raspoloživa građevinska operativa i drugo. Dakako, obrađeni su i nužni gospodarski i financijski preduvjeti za realizaciju sustava, a dan je i osvrt na utjecaj razvoja natapanja na okoliš.

Značajni dio prostora posvećen je metodama optimalizacije u planiranju i projektiranju osnovnih građevina svakoga natapnog sustava, a to su mreže pod tlakom (cjevovodi) i kanalske mreže. Dani su najnoviji postupci, metode i načini proračuna najpovoljnijih i najjeftinijih mreža kanala i cjevovoda koji obično čine najveći i najskuplji dio infrastrukture svakog sustava. Time se daje mogućnost da planeri i projektanti, koji će se koristiti tim materijalima imaju na raspolaganju najnovije i najsuvremenije metode te da bez mnogo lutanja i problema obave te projektanske poslove u skladu s najnovijim svjetskim dostignućima.

Dakako, u drugim poglavljima obrađeni su ostali problemi, koji se pojavljuju u planiranju natapnih sustava, a to su: klasifikacija natapnih sustava, ovisnost protoka

o načinu pogona, zaštita mreža od agresivnih voda i tla i odgovarajuće gospodarske analize.

Na kraju knjige prikazani su povijest i razvoj metoda dizanja vode, kao jedan od osnovnih preduvjeta razvoja natapanja i opisan je program za elektronička računala za proračun potrebe za vodom za natapanje i mreža pod tlakom (cjevovoda). Veoma interesantan, nov za naše prilike i nadasve koristan jest i zadnji prilog u knjizi koji obrađuje vrste organizacija, moguće načine upravljanja i održavanja natapnih sustava. U ovome prilogu prikazana su svjetska iskustva i sadašnje stanje, a dan je i osvrt na tu problematiku u Republici Hrvatskoj.

## 2. OSNOVNE PODLOGE ZA PLANIRANJE NATAPNIH SUSTAVA

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

### 2.1. FIZIČKA OKOLINA

Većina elemenata fizičke okoline koji su bitni za planiranje natapanja, a pogotovo izbora natapnog sustava, obrađena je u prethodnim svescima Priručnika pa se ovdje ta građa neće ponavljati. To se posebno odnosi na pedologiju, hidrologiju, potrebe kulturnog bilja za vodom i drugo. U nastavku će se ukratko opisati oni dijelovi koji se još nisu obrađivali, ili oni aspekti te problematike koji nisu u adekvatnoj mjeri prikazani.

U svakome slučaju pri planiranju i izboru natapanja treba načiniti neku vrstu inventure svih raspoloživih izvora nužnih za razvoj poljoprivrede u uvjetima natapanja, i to sa stajališta suvremene, moderne, tržištu orijentirane proizvodnje. Pri tome treba posebno identificirati i analizirati proizvodni potencijal područja te fizička i pogonska ograničenja koja bi mogla utjecati na izbor dugovječne varijante sustava.

Bez obzira na veličinu natapne površine, na proizvodni potencijal poljoprivrednih gospodarstava bitno će utjecati ovi osnovni fizički elementi područja: tlo, voda i klima. Ta prirodna bogatstva, pridružena kulturama koje će se gajiti, moraju se procijeniti s ostalima raspoloživim elementima razvoja: kapitalom, radnom snagom, ekonomskim preduvjetima i drugim, što će sve zajedno utjecati na izbor načina natapanja i stupnja mehanizacije i automatizacije koji će se pri tome primijeniti. Dakako, nakon pomne analize i izbora odgovarajućeg načina natapanja, izradit će se studija natapnog sustava u više alternativa, te simuliranjem pogona izabrati gospodarski (ili po nekome drugom kriteriju) najpovoljnije rješenje, koje će se potom preporučiti investitoru za realizaciju.



### 2.1.1. Tlo

Ima veći broj značajki i čimbenika tla koji mogu utjecati na izbor tipa natapnog sustava. Najznačajniji su tekstura, struktura, dubina, eventualno slanost, dreniranost, topografija, erodibilnost i dr. U nastavku će se neki od tih elemenata ukratko obraditi.

#### a) *Tekstura tla*

Teksturom nazivamo granulometrijski sastav tla, odnosno odnos (postotak) zrna različite veličine. Čestice tla, mjerene po efektivnom promjeru zrna, obično se klasificiraju u četiri grupe, i to šljunak, pijesak, prah i glina. Danas je u svijetu raspoloživo nekoliko klasifikacija tekture, ali se najviše primjenjuje ona koju je razvilo američko Ministarstvo poljoprivrede (U.S. Department of Agriculture), koja sva tla razvrstava u 12 grupa.

Značajke tekture utječu na izbor načina natapanja jer o teksturi ovisi kapacitet tla za vodu i mogućnost uskladištenja određene količine vode u određenom profilu te veličina infiltracije (upijanja). Tekstura može biti ograničavajući čimbenik za primjenu određene (teške) mehanizacije pri natapanju kišenjem. Nadalje, tla grube tekture ograničavaju, a ponekad i potpuno isključuju, primjenu površinskih načina natapanja, posebno potapanja. Zato o tome treba na vrijeme voditi računa.

#### b) *Struktura tla*

Struktura označuje način i stupanj u kojem su pojedine čestice tla međusobno spojene u grude. To je posebno značajno za sitnozrnata tla, dok kod grube tekture nema značaja.

Osnovni činioci promjene strukture jesu vlaženje i sušenje, smrzavanje i odmrzavanje te međudjelovanje tih procesa. Struktura se popravljiva dodavanjem organske materije, a mijenja se raznim agrotehničkim mjerama (oranje, kopanje, frezanje i dr.). Obilno natapanje (i kiša!) može bitno promijeniti strukturu.

Struktura je veoma bitna za uspješno gospodarenje tlom. Ona omogućuje kvalitetan razvoj korijenja, brzinu upijanja vode u tlo, zračenje tla i odgovarajuće kretanje vode u tlu, što je sve zajedno veoma važno za visoke prirode.

Budući da struktura utječe na infiltracijske značajke tla, odnosno brzinu upijanja, očito je da utječe i na izbor načina natapanja pa tako i na planiranje detaljne natapne mreže. To se posebno odnosi na elemente (dužinu toka) pojedinih površinskih načina natapanja i na izbor opreme (rasprskivača) kod natapanja kišenjem i lokaliziranog natapanja.

#### c) *Dubina tla*

Dubina tla te sustav i raspored pojedinih slojeva tla po dubini mogu bitno ograničavati primjenu i pojedine elemente natapnog sustava. Kod dubokih je tala omogućen adekvatan razvoj korijenja uskladištenjem veće količine vode pa su norme natapanja veće, a jednako tako i turnusi. Kod plitkih tala situacija je suprotna pa su potrebna gušća natapanja. Danas se na svijetu natapaju velike površine tla čija

dubina ne prelazi 30 cm, što čini velike poteškoće ne samo za razvoj i pogon natapnog sustava, već i za adekvatno (gospodarsko) korištenje tih površina.

#### *d) Ostalo*

Nužna je potpovršinska odvodnja natapanih površina. Ako su fizičke značajke tla takve da se suvišna voda odvodi prirodnim putem, tj. bez drenaže, onda nije potrebno graditi odvodnu mrežu. Inače treba prije ili paralelno s natapnim sustavom graditi i odvodni sustav. Pravilno izabrana i dimenzionirana odvodnja osigurava nepoželjno izdizanje podzemne vode i sprečava povećanje saliniteta tla. Ujedno, adekvatna odvodnja može utjecati na izbor i dimenzioniranje natapne mreže, i obratno, pravilno dimenzionirana natapna mreža i njeno odgovarajuće korištenje može u znatnoj mjeri smanjiti potrebu za odvodnjom.

Izbor načina natapanja u velikoj mjeri ovisi o konfiguraciji terena i o mikroreljefu. Kod površinskih načina natapanja lokalna razvedenost i neravnost može u znatnijoj mjeri zahtijevati veće troškove za ravnanje terena, što treba držati na umu pri planiranju.

Pjeskovita tla sa slabo razvijenom strukturom mogu biti jako podložna eolskoj eroziji za vrijeme dok je tlo golo (bez usjeva).

Ponegdje se vjetrovna erozija bitno smanjila održavanjem visoke vlažnosti u površinskom sloju tla. U takvim je slučajevima nužno planirati natapni sustav koji će osigurati češća natapanja s malim normama.

Tla slabo razvijene strukture i s niskim sadržajem organske materije, podložna su i vodenoj eroziji. To će, svakako, u znatnoj mjeri utjecati na izbor načina natapanja i dimenzije natapnog sustava.

### *2.1.2. Opskrba vodom*

Opće značajke i mogućnosti opskrbe vodom mogu imati odlučujući utjecaj na izbor natapnog sustava. To se u prvom redu odnosi na lokaciju, količinu, vremensku raspoloživost količine i kvalitetu vode.

Pri analizi mogućnosti opskrbe vodom određenoga natapnog područja treba u prvom redu odgovoriti na sljedeća pitanja:

- Koliki su troškovi dovoda vode iz izvorišta na natapno polje i koja je jedinična cijena kubičnog metra vode?
- Ima li izvorište dovoljno vode za planirani način natapanja?
- Jesu li dotoci u vegetacijskoj sezoni dovoljni za pokriće vršnih potreba natapanja?
- Je li kvaliteta vode pogodna za izabrani način natapanja?

#### *a) Izvorišta*

Za natapanje se upotrebljavaju, s nekim izuzecima, dvije skupine izvorišta, i to: površinske vode ili podzemne vode ili oboje. U površinska izvorišta ubrajamo prirodne vodotoke, natapne kanale, jezera i akumulacije. Voda iz podzemnih izvorišta

može se dobavljati gravitacijom ili mehaničkim dizanjem, već prema konfiguraciji i lokaciji i izvorišta i natapnog polja. U novije doba, u većini natapnih sustava, voda se mora mehanički dizati na određenu kotu pogodnu za pogon. Voda iz postojeće natapne mreže dobavlja se ili gravitacijom iz natapnih kanala ili pod tlakom ako se sustav sastoji od cijevne mreže pod tlakom. Ako se voda dobavlja pod tlakom, veličina tlaka u mreži može diktirati izbor načina, odnosno metode natapanja. Npr. ako je tlak pogodan za natapanje kišenjem, vjerojatno će se taj sustav i planirati.

Podzemna voda crpi se iz podzemnih vodonosnih slojeva pomoću bunara. Neki se natapni sustavi koriste djelomično ili u cijelosti podzemnom vodom, ali se ovom vrstom izvorišta najčešće koriste individualni korisnici. U nekim krajevima svijeta, ta je vrsta izvorišta jedina na raspolaganju ne samo za natapanje već i za ostale potrebe. To se posebno odnosi na pustinjska područja koja ne raspoložu nikakvim izvorištima površinskih voda. U tom je slučaju bitna komponenta izvodljivosti natapnog sustava, odnosno njegove gospodarske utemeljenosti, cijena crpljenja takve vode. Pri tome treba pomno analizirati visinu crpljenja, obilnost bunara, i to na dugoročnoj osnovi kako bi se mogli sagledati uvjeti pogona za planirani vijek trajanja sustava. Jedan od bitnih elemenata analize jest i kvaliteta vode, i trenutna i perspektivna, o čemu će biti više riječi kasnije.

Optimalna izdašnost bunara (izdašnost koja se pokriva prihranjivanjem) diktira površinu koju se time može natapati, u slučaju neposredne potrošnje, ili pak potrebu skladištenja vode ako se ta površina želi povećati. U tom slučaju voda se crpi duže negoli se natapa tako da se izravanjem količina može natapati s većim specifičnim protokom (modulom) negoli je izdašnost bunara, čime se i natapna površina može povećati. To se može protegnuti i na čitavu godinu, pa imamo npr. slučaj da vodu crpimo i skladištimo u odgovarajućoj vodospremi - akumulaciji 12 mjeseci, a natapamo samo jednu vegetacijsku sezonu (recimo 6 mjeseci) čime se u odgovarajućoj mjeri poveća natapna površina. Dakako, tu se do maksimuma iskorišćuje izvorište, ali se pojavljuju dopunski troškovi za gradnju zapremine za izravanjanje dotoka i potrošnje, što sve skupa treba pomno analizirati i na kraju donijeti odgovarajuću odluku.

#### *b) Raspoloživa količina vode*

Raspoloživa količina vode i godišnji raspored dotoka u nekome određenome slivnom (melioracijskom) području mogu utjecati na planiranje i izbor načina natapanja. Na planiranje potencijalnih varijanti natapnog sustava bitno utječu poznavanje vremenske raspoloživosti količine vode tijekom vegetacijske sezone i ukupna količina za čitavu sezonu. Pojedina fizička ograničenja u hidrološkom ciklusu, npr. izdašnost bunara, minimalni protoci u vodotocima, ograničen volumen u vodospremama (akumulacijama) ili pak zakonsko limitiranje crpljenja, mogu bitno utjecati na izbor i planiranje natapnog sustava.

Raspoloživi protok vodotoka ili izdašnost bunara mogu biti neprimjereni potrebama za neposredno natapanje planiranoga natapnog perimetra za vrijeme vršne potrošnje ili za određeni način natapanja (npr. prelijevanje ili brazde). U takvim slučajevima bit će nužno u sklopu natapnog sustava osigurati odgovarajući zališni

volumen (akumulaciju) za izravnanje dotoka i potrošnje u razdobljima vršnih potreba.

Vremenska ograničenja u raspolaganju većim količinama vode mogu također bitno utjecati na izbor načina natapanja. Npr. ako se u nekome natapnom sustavu povremeno (s prekidima) raspolože relativno velikim količinama vode, onda će biti uputno primijeniti neki od površinskih načina natapanja umjesto, recimo, kišenja. Na taj se način izbjegavaju troškovi za gradnju zališnog prostora za izravnanje dotjecanja - potrošnje.

Ograničenja u raspolaganju potrebnih količina vode tijekom cijele vegetacijske sezone mogu također utjecati i na izbor planiranih usjeva i na odgovarajuće gospodarske analize (pozitivno ekonomsko poslovanje). Ta se ograničenja nastavno prenose i koriste pri izboru načina natapanja i dimenzioniranja pojedinih elemenata natapnog sustava.

I, konačno, na plodored (raspored usjeva) i izbor natapnog sustava mogu bitno utjecati i pojedina zakonska ograničenja. Naime, vodoprivrednim uvjetima, odnosno kasnije vodoprivrednom suglasnošću, može se ograničiti (suziti) pravo iskorišćivanja nekoga prirodnog izvorišta, što će izazvati reperkusije na fazu planiranja, projektiranja i građenja natapne mreže.

### *c) Kvaliteta vode*

Kvaliteta raspoložive natapne vode može utjecati na izbor načina natapanja i vrste natapne mreže. Kemijski sastav vode može biti limitirajući čimbenik pri izboru kulture koja će se uzgajati, a može osjetno utjecati i na drenažna svojstva tla.

Kvaliteta vode utječe na eventualnu potrebu ispiranja tla, što nameće povećane potrebe za vodom, odgovarajući izbor usjeva otpornih na salinitet te planiranje takvoga natapnog sustava koji će udovoljiti tim zahtjevima. Neki sastojci u vodi čine vodu korozivnom za neke metale, što treba imati na umu prilikom projektiranja mreže.

Određene vrste nanosa u vodi mogu diktirati planiranje nekih specifičnih građevina u sklopu natapne mreže. Ako je natapna voda opterećena nanosom, planiranje natapanja kapanjem (lokalizirano) s takvom vodom zahtijevat će projektiranje posebnih uređaja i poduzimanje odgovarajućih mjera kako se u programu ne bi pojavile nepremostive poteškoće. Vode opterećene nanosom povećat će troškove održavanja i pogona sustava i smanjiti vijek trajanja nekih elemenata sustava, npr. crpki, rasprskivača, cjevovoda i sl.

### *2.1.3. Međudjelovanje klima - usjevi*

Izbor kultura u svakome hidromelioracijskom području (imanju!) mora se provesti u skladu s temeljnim značajkama tla, mogućnostima opskrbe vodom te klimatskim uvjetima. Pri tome se podrazumijeva da planirani usjevi moraju biti tržišno orijentirani i s pozitivnim gospodarskim učinkom. Pri tome je najlakše analizirati način korištenja tla u prošlosti, tj. koje su se kulture u tom području do tada uzgajale

i kakva su iskustva u primjeni dosadašnjih plodoreda. Za uvođenje novih kultura koje se do sada nisu primjenjivale, treba izraditi pomne analize. Pri tome treba voditi računa da planirane nove kulture budu u skladu s planom razvoja šireg područja i gospodarski prihvatljive, a planirani natapni sustav mora, svakako, biti primjeren izabranom plodoredu i fizičkim ograničenjima terena.

Klimatske značajke područja uvjetuju smjernice za izbor grupe usjeva, odnosno kultura koje se u tom klimatu mogu najprikladnije uzgajati, a ostale fizičke značajke područja vrste i sorte tih kultura.

Natapni sustav koji je ocijenjen prikladnim za natapnje izabranih kultura, može imati određena ograničenja bilo u odnosu na uobičajene agrotehničke operacije u tom području, bilo na uvjete (značajke) rasta tih kultura. Tako npr. uzgoj riže zahtijeva ravne površine s minimalnim padom i relativno nepropusnim tlom s gotovo neprekidnim dotokom vode (potapanje). S druge pak strane uzgoj kukuruza zahtijeva primjenu specifične vrste opreme za natapanje kišenjem, odnosno određena ograničenja, ako se primijeni taj način natapanja. Ako se pak planom predviđaju usjevi plitkog zakorijenjivanja (obično neki povrtlarski usjevi), koji traže male norme i češća natapanja, onda to također može bitno utjecati na izbor tipa natapnog sustava.

## 2.2. RASPOLOŽIVA SREDSTVA

U prethodnoj točki razmatrani su određeni preduvjeti i ograničenja fizičke okoline na izbor tipa natapnog sustava. Dakako, ima još dosta elemenata i čimbenika o kojima ovisi taj izbor, a jedan od bitnijih jest, svakako, raspoloživost kapitala za njegovu realizaciju. K tome treba još dodati i raspoloživost odgovarajuće radne snage za održavanje i pogon, što se, nažalost, često potcjenjuje.

### 2.2.1. Kapital

Sredstva potrebna za izgradnju nekoga natapnog sustava značajno variraju od slučaja do slučaja i u najvećoj mjeri ovise o izabranom načinu natapanja. Općenito uzevši, investicija raste sa složenošću sustava i mogućnošću i učestalošću odgovarajućeg doziranja vode natapnim parcelama kao i proporcionalno smanjenju potrebe radne snage u pogonu.

Dakle, prilikom planiranja, odnosno izbora načina natapanja i odgovarajućih elemenata natapnog sustava treba imati na umu raspoloživi kapital za gradnju i mogućnost osiguranja odgovarajuće radne snage za održavanje i pogon. To je posebno jako važno kada je raspoloživi kapital ograničen, a kvalificirana radna snaga na tom području nije raspoloživa.

### 2.2.2. Radna snaga

Nema nikakve dvojbe da mogućnost osiguranja dovoljne količine radne snage za održavanje i pogon, a posebno njena stručna osposobljenost, igra bitnu ulogu u izboru načina natapanja i primijenjene opreme. Na područjima gdje nema dovoljno raspoložive radne snage, a koja je još i nedovoljno stručno osposobljena, ili je pak ta radna snaga relativno skupa, nužno je planirati način, metodu i izbor opreme koja zahtijeva najmanje sudjelovanje radne snage. Ima izvjesna funkcionalna ovisnost između potrebe za radnom snagom za pogon i odgovarajućih troškova za održavanje sustava. U pravilu, što je potreba za radnom snagom za pogon manja, to su troškovi održavanja sustava veći, što navodi na zaključak da te elemente treba pomno analizirati.

U novije smo vrijeme suočeni s problemom pomanjkanja raspoložive količine vode za natapanje (u nekim regijama), što navodi na zaključak da treba osposobljavati i razvijati kadrove za učinkovitiju upotrebu raspoloživih količina vode.

U zadnjih 20-ak godina, veliki su naponi uloženi i značajna istraživanja provedena od strane većeg broja znanstvenih instituta i istraživača da se razviju naprave i oprema za smanjenje sudjelovanja radne snage u površinskim načinima natapanja. To je provedeno u prvom redu zato što se danas u svijetu još uvijek oko 90 % svih natapnih površina natapa nekim od površinskih načina, što dakako, ima presudni utjecaj na pogonske troškove sustava.

### 2.2.3. Energija

U najvećem broju natapnih sustava troši se energija za crpljenje i tlačenje vode na određene lokacije te za pogon mehaničkih elemenata mnogih natapnih sustava. Količina energije utrošena u tu svrhu varira u širokom rasponu, ovisno o geodetskoj visini između izvorišta i potrošnje, hidrauličkim gubicima u cjevovodima te potrebnom tlaku za pogon rasprskivača, kapalica i drugih ispusta. Dakako, pri tome je veoma važno da crpka i motor imaju visoki koeficijent učinkovitosti te da se raspodjela vode provodi po zadanome, pravilno utvrđenom planu.

Kao sredstvo pogona, danas se najviše primjenjuju elektromotori, ali u pojedinim regijama još uvijek se često primjenjuju i motori s unutarnjim sagorijevanjem. Kao izvori energije najviše se upotrebljavaju hidroenergetska postrojenja, ali se energija često dobiva i iz termocentrala, odnosno proizvodi se lokalno pomoću generatora na fosilna goriva. Danas se čine veliki naponi da se u toj grani najveći dio potrebne energije dobije solarnim ili vjetrovnim generatorima. U tom je pravcu u mnogim regijama svijeta učinjen značajan napredak.

Sigurno je da je količina raspoložive energije na zemaljskoj kugli ograničena i da njena potrošnja stalno raste. Dakako, paralelno s tim raste i cijena te saznanje da je nužno poduzeti sve mjere za njeno racionalno i učinkovito iskorišćavanje i smanjenje potrošnje gdje god je moguće.

Veliki broj stručnjaka i institucija proučavao je i proučava problem utroška energije za pogon natapnih mreža. Tako je Chen et al. (1976) istraživao utrošak energije na četiri tipa ručno pokretnih rasprskivača, tri konfiguracije bočnih krila i po jedan tip ostalih istraživanih metoda. Istraživanja su provedena na natapnim imanjima od 8,1, 32,4 i 64,8 hektara s dnevnim doziranjem od 2,5, 5,1 i 7,6 mm/dan, ali uz ukupnu godišnju potrošnju od 508 mm. Rezultati istraživanja ukazali su na činjenicu da potrošnja energije raste ovim redom: površinski načini, lokalizirano natapanje, bočno krilo, ručno pokretni kišni uređaji, centar pivot, stabilni uređaji.

Budući da utrošak energije za sve oblike aktivnosti stalno raste, a raspoloživost je ograničena, u budućnosti treba očekivati stalan relativan rast cijena energije u odnosu prema ostalim proizvodima. S tim u vezi uputno je pri planiranju natapnih sustava, troškove pogona analizirati ovisno o rastućim cijenama energije, odnosno izraditi analizu osjetljivosti ovisno o tom čimbeniku.

Vršno opterećenje elektroenergetskog sustava može, također, biti vrlo važno za smanjenje troškova pogona (energije). Treba, svakako, analizirati vršne potrebe za vodom za određeni natapni sustav, te razmotriti najpovoljniji (najjeftiniji) pogon crpnih agregata u odnosu prema troškovima izazvanima maksimalnim opterećenjem elektrosustava.

### 2.3. GOSPODARSKI I FINANCIJSKI PREDUVJETI

U svijetu se razvoj poljoprivrede u uvjetima natapanja provodi, ovisno o mjesnim uvjetima, od jako malih poljoprivrednih površina (reda veličine manje od jednog hektara) pa sve do velikih natapnih sustava koji se mogu prostirati na više tisuća ili desetke tisuća hektara. Opseg gospodarskih i financijskih analiza te potreba za njima rastu s porastom natapne površine, strukture kultura i vrste plodoreda koji se planira, te količine financijskih sredstava koja su na raspolaganju. U nastavku će se dati kratak prikaz potreba, postupaka i metoda za gospodarske i financijske analize koje se pri tome moraju provesti. Dakako, kod malih natapnih sustava na ograničenoj površini, taj se postupak može bitno skratiti i pojednostaviti, tj. sve je ovisno o količini kapitala koji treba uložiti.

U postupku planiranja natapnog sustava treba izraditi studiju gospodarske izvodljivosti natapnog sustava, ali istovremeno i financijskih mogućnosti. Gospodarske se analize odnose na ekonomsku održivost planiranog razvoja, a provode se u postupku izbora najpovoljnije tehničke alternative u skupu predloženih, dok se financijska izvodljivost odnosi na financijske uvjete koji će biti raspoloživi za vrijeme građenja, a kasnije i pogona natapnog sustava. Dakle, financijske se analize osobito odnose na mogućnost projekta da podnosi uvjete financiranja koji se ponajprije odnose na dužinu roka otplate zajma, kamatne stope i ostale uvjete kreditiranja. Skraćeno rečeno, gospodarske analize obrađuju opravdanost gradnje sustava, dok financijske ocjenjuju sposobnost područja koje se razvija u uvjetima

natapanja, da vrati uloženi kapital te da može redovno podmirivati troškove pogona za vrijeme eksploatacije sustava.

Navedene analize mogu biti relativno jednostavne i kratke, osobito kada se odnose samo na jedno poljoprivredno gospodarstvo koje se koristi samo jednim načinom (metodom) natapanja, a mogu biti i veoma složene ako se radi o velikoj površini, velikom broju imanja, različite strukture usjeva i konfiguracije, pri čemu je nužno primijeniti veći broj načina natapanja.

### *2.3.1. Gospodarska izvodljivost*

Procjena gospodarske izvodljivosti natapnog sustava nalaže analizu svih vrsta troškova i dobiti koji se od tog razvoja očekuju. To se odnosi na sve obrađene alternative tehničkog razvoja i sve analizirane plodorede, a čine osnovu za ocjenu mogućnosti razvoja.

Studija gospodarske izvodljivosti razvoja osigurava poljoprivredi nužne informacije o podobnosti predloženog programa i o opravdanosti izbora određenog načina natapanja i plodoreda.

Navedene su analize nužne ne samo za vlasnike, odnosno korisnike poljoprivrednog tla, već naročito za zajmodavce. Oni se, naime, moraju uvjeriti da su ulaganja gospodarski zdrava i da će buduća poljoprivredna proizvodnja i plasman biti u stanju vratiti uloženi kapital pod predviđenim uvjetima i utvrđenim rokovima te normalno snositi sve troškove za redovan pogon sustava.

Za provedbu ekonomske analize, odnosno ocjenu gospodarski zdrave i dugovječne investicije, nužno je izračunati prihode i rashode za cijeli projekt za jedan cjelovit vegetacijski obrt i obračunsko razdoblje, što se najčešće poklapa s kalendarskom godinom. U prihode ubrajamo tržišnu vrijednost svih poljoprivrednih i drugih proizvoda koji su rezultat razvoja područja u uvjetima natapanja. Rashode čine godišnji investicijski i pogonski troškovi te svi troškovi vezani za poljoprivrednu proizvodnju (radna snaga, repromaterijal, razne dadžbine i dr.). Godišnji investicijski troškovi čine smanjenje vrijednosti pojedinih komponenata natapnog sustava nastalih tijekom rada u jednoj kalendarskoj godini, a najčešće se obračunavaju putem amortizacijskih stopa. Amortizacijske stope bitno variraju od komponente do komponente i najčešće su propisane zakonom ili nekim drugim vladinim aktom. Tome treba dodati cijenu uloženog, a još neisplaćenog kapitala, koja se dobiva ugovorenim kamatnim stopama. Godišnje pogonske troškove čine u prvom redu troškovi radne snage zaposlenih na projektu, troškovi za utrošenu energiju, održavanje pojedinih dijelova sustava (popravci, zamjene) i drugo.

U nekim je krajevima uobičajeno unajmljivanje pojedinih dijelova opreme ili sklopova sustava pa se svi troškovi vezani za takav aranžman, moraju pribrojiti ukupnim godišnjim troškovima.

Na kraju se ukupni godišnji troškovi rasporede po nekome uobičajenom ključu (po hektaru korištene površine, po kubičnom metru utrošene vode i sl.) na pojedina



poljoprivredna gospodarstva u sustavu i time dobije godišnji iznos koji ta gospodarstva plaćaju organizaciji koja upravlja natapnim sustavima. Najčešće je uobičajeno da se na taj način dobije stvarna cijena kubičnog metra utrošene vode koja ujedno služi za planiranje i razrez vodnog doprinosa za narednu godinu. Ako je potrebno, tako dobivene cijene mogu se prilagoditi novonastalom stanju (inflacija, povišenje cijene energije i sl.).

Općenito uzevši, ukupni godišnji troškovi koji terete natapni sustav ili neku poljoprivrednu tvrtku, mogu se sažeti ovako:

- cijena vode, odnosno troškovi vezani za dobavu vode na "ulazu" u sustav, npr. razne dozvole, odobrenja ili kupnja vode od nekoga regionalnoga vodoprivrednog sustava;

- godišnji investicijski (armotizacijski) troškovi specificirani po komponentama sustava, kamate te eventualno troškovi za iznajmljenu opremu (fiksni troškovi);

- troškovi energije za pogon sustava;

- troškovi pogona, popravaka, održavanja i radne snage zaposlene u natapnoj jedinici (poduzeću);

- osiguranje i razni nameti;

- svi troškovi proizvodnje poljoprivrednih kultura.

### 2.3.2. Fiksni troškovi

Kao što je već ranije spomenuto, ti se troškovi odnose na smanjenje (trošenje) vrijednosti investicijske građevine - sustava u pogonu i obično se obračunavaju godišnje. Variraju od slučaja do slučaja, i to u širokom rasponu tako da neki dijelovi opreme imaju životni vijek od 3, 5 ili 10 godina, dok betonske, armiranobetonske, nasute i slične građevine 40, 50 pa i 100 godina. Amortizacijske se stope obično propišu zakonom ili uredbom dotične države, ali ako nisu propisane, ti se podaci mogu uzeti iz odgovarajuće stručne literature. Radni vijek nekoga određenog tipa građevine ili opreme može varirati u širokom rasponu, što ovisi o različitim uvjetima pogona, načina i kvalitete održavanja, popravaka i pogona te dužini rada tijekom godine. Armotizacijske se stope obično izražavaju u rasponu (npr. od 10 do 15 godina). Donje vrijednosti (kraći radni vijek) bira se obično za male jedinice uz uobičajeno održavanje i standardni pogon. Gornje se vrijednosti uzimaju kod pomno projektiranih i jako kvalitetno sagrađenih dijelova te uz visok stupanj održavanja. Procjena trajanja temelji se, u pravilu, na godišnjem fondu radnog vremena od oko 2000 sati.

Međutim, za vrijeme trajanja sustava kao cjeline, za ekonomske se analize uzimaju različita razdoblja, što uglavnom ovisi o veličini i kompleksnosti projekta. Za velike se natapne sustave kao osnova obično uzima 40, 50, pa sve do 100 godina, dok je za detaljne mreže, odnosno za građevine i opremu za razvod vode na pojedina imanja, uobičajeno uzimati 20, 25 ili 30 godina.

### 2.3.3. Varijabilni troškovi

Ranije je navedeno da se u varijabilne troškove ubrajaju troškovi za utrošenu energiju, radnu snagu (održavanje, upravljanje i pogon), osiguranje i razne takse, i ako se obračunava dohodak poljoprivrednog gospodarstva, onda treba obraditi i sve troškove oko poljoprivredne proizvodnje. U nastavku će se ukratko opisati glavni elementi i načini proračuna tih troškova.

Troškovi za utrošenu energiju procjenjuju se na temelju utrošene količine goriva (el. energije, diesel goriva, plina i sl.) koja će se utrošiti za pogon postrojenja i jedinične cijene koja vrijedi na tržištu. Godišnji utrošak energije ovisi o natapnoj normi ( $\text{m}^3/\text{god}/\text{ha}$ ) učinkovitosti natapanja, koeficijentu korisnog djelovanja crpnog postrojenja i ukupne manometarske visine crpljenja. To se može izraziti odnosom:

$$CE = \frac{K \cdot A \cdot D \cdot H}{E_i \cdot E_p},$$

gdje je:

- CE - crpna energija izražena u određenoj jedinici mjere,
- K - faktor konverzije ovisan o jedinici mjere,
- A - natapna površina, ha,
- D - natapna norma; količina dodane vode, mm,
- H - manometarska visina dizanja vode, m,
- $E_i$  - učinkovitost natapanja, odnosno kvocijent između vode koju je upotrijebilo bilje i ukupno dodane vode,
- $E_p$  - učinkovitost crpnog postrojenja; odnos izlazne prema ulaznoj energiji

Obično se energija računa u kilokalorijama (kcal), u kojem je slučaju vrijednost  $K=23,42$ . Kilokalorije se mogu pretvoriti u kWh prema odnosu  $1 \text{ kWh}=860 \text{ kcal}$ , odnosno  $1 \text{ kcal}=4,18 \text{ kJ}$  (joule).

Posljednjih nekoliko desetaka godina suočeni smo sa stalnim porastom cijena svih roba u cijelome svijetu, a posebno energenata. Predviđa se da će se rast cijena nastaviti i ubuduće, što treba imati na umu pri proračunu za dugoročno buduće razdoblje.

Pogonski se troškovi u najvećoj mjeri sastoje od plaća zaposlenog osoblja, prijevoznih troškova za osoblje i materijal te ostalih sitnih troškova vezanih za te radove.

Broj i struktura zaposlenog osoblja može se dobiti na temelju sistematizacije radnih mjesta i drugih općih akata o poslovanju poduzeća (jedinice) te i usporedbom sa sličnim jedinicama koje su već u pogonu. Neke opće smjernice za planiranje organizacije natapne jedinice navedene su u poglavlju 12 ovoga sveska. Nema nikakve sumnje da broj zaposlenog osoblja ovisi o tipu (načinu) natapanja, postotku automatizacije sustava, vrsti uzgajanih usjeva, učestalosti natapanja, broju natapanja godišnje i trajanju pojedinog natapanja.

Godišnji troškovi održavanja ovise o efektivnoj dužini trajanja pogona, specifičnostima pojedinih komponenata sustava i načinu na koji se pogon obavlja. Za procjenu troškova ove vrste najčešće se uzima neki utvrđeni postotak vrijednosti ukupne investicije u natapni sustav. Ako zatreba, u literaturi se mogu naći orijentacijske vrijednosti za takav proračun.

Troškove za osiguranje, članarine i razne takse treba preuzeti iz raspoloživih cjenovnika za takva davanja iz odnosnih poduzeća, institucija i ustanova. Svjetsko je iskustvo da se ti troškovi, ukupno uzeto, nalaze u rasponu od 1,5 do 2,5 posto, računajući na početni investicijski iznos natapnog sustava.

Ako treba razrađivati proračune prihoda i rashoda pojedinih poljoprivrednih gospodarstava, onda treba raspolagati s cijenama i troškovima pojedinih poljoprivrednih operacija tijekom cijele vegetacijske sezone, prirodom pojedinih usjeva te tržišnim cijenama pojedinih proizvoda. Takve analize najčešće obavljaju pojedine specijalizirane poljoprivredno-gospodarske organizacije, a u mnogim su zemljama ti podaci raspoloživi "na tržištu". Ako ih nema, onda treba elaborat o tome naručiti kod mjerodavne institucije. Analize treba, svakako, izraditi i za uzgoj u suhom ratarenju i za uzgoj uz primjenu natapanja kako bi se mogao ocjeniti učinak natapanja.

#### 2.3.4. Rast cijena

Kao što je već ranije naglašeno, u cijelom se svijetu suočavamo s problemom neprekidnog rasta cijena, više-manje svih proizvoda i usluga, a posebno energenata i radne snage. Kada bi cijene repromaterijala i ostalih troškova vezanih za pogon i održavanje natapnog sustava rastle paralelno i u jednakoj mjeri kao i proizvodi koji se dobivaju uvođenjem natapanja (razni poljoprivredni, stočarski i ostali proizvodi), ne bi bilo nikakvih problema jer bi se sve paralelno pomicalo. Međutim, obično nije tako jer se odavno, više-manje u svim zemljama svijeta, cijene prehrambenih proizvoda, iz socijalnih razloga, drže relativno niske i svima pristupačne, a neke komponente troškova (kao što je spomenuto energija i radna snaga) rastu znatno brže. Da bi se mogao ocijeniti budući odnos troškova i proizvodnje (prihoda i rashoda) u nekome natapnom sustavu (imanju), nužno je izraditi buduće odnose tih komponenata (npr. na kraju planskog razdoblja). To se može učiniti primjenom analize osjetljivosti u odnosu na ključne ulazne parametre.

Procjena buduće vrijednosti, na temelju poznate stope rasta (iz analize proteklog razdoblja), planskog razdoblja korištenja sustava (faze) i kamatne stope, može se dobiti iz ovog izraza:

$$BV = \frac{(I+r)^n}{(1+i)^n},$$

gdje je:

BV - buduća (sadašnja) vrijednost;

- r - godišnja stopa rasta;
- i - godišnja kamatna stopa;
- n - vijek trajanja sustava (komponente) u godinama

### 2.3.5. *Gospodarska procjena*

Početna faza izrade plana optimalizacije natapnog sustava sastoji se u planiranju sustava u više alternativa tako da su sve komponente takva sustava "optimalne" sa stajališta investicijskih troškova. Sada može započeti faza optimalizacije gospodarske učinkovitosti sustava, odnosno izbor one alternative koja daje gospodarski najbolje rezultate. To se postiže na taj način da se usporede procijenjeni godišnji troškovi pogona s planiranim povećanjem dobiti ili zarade koju će natapano poljoprivredno imanje postići povećanjem uroda natapanjem i drugim prihodima nakon uvođenja natapanja. Godišnja dobit podijeljena s ukupnim godišnjim troškovima naziva se odnos dobit-troškovi (benefit-cost), što se više-manje svugdje u svijetu koristi kao mjerilo uspješnosti poslovanja. Ta se metoda ujedno primjenjuje i za izbor optimalne varijante natapnog sustava te strukture usjeva i drugih planskih elemenata na poljodjelskim gospodarstvima.

### 2.3.6. *Financijska izvodljivost*

Nakon što se dovrši i pokaže uspješnom gospodarska analiza (odnos dobit-troškovi), pristupa se izradi financijske procjene kako bi se dokazala financijska izvodljivost. Zadaća je financijske studije da dokaže da će financijsko poslovanje iz godine u godinu, izraženo prihodima i rashodima, biti izvodljivo (pozitivno), dakako nakon početka pogona pa sve do kraja vijeka trajanja sustava. Pri tome treba uzeti u obzir otplate anuiteta, godišnje varijabilne troškove pogona te ostale troškove na godišnjoj razini. Odnos godišnjih troškova prema planiranom dohotku ukazuje na vrstu očekivanog poslovanja, odnosno da li će se tijekom pogona pojaviti financijski problemi (gubici).

Kod velikih natapnih sustava, vrijeme proteklo od početka građenja pa do početka korištenja sustava, može biti poduže (5, 10 pa i više godina). U tom slučaju, planiraju se i izgrađuju neke komponente sustava (cjevovodi, akumulacije) u prvoj fazi s takvim kapacitetom (veličinom) koja će biti u cijelosti iskorištena tek nakon nekoliko godina, ponekad nakon par desetaka godina, računajući od početka rada. U tom slučaju nameće se potreba adekvatne raspodjele troškova i dobiti na duže vremensko razdoblje jer se težište troškova i težište dobiti ni približno ne poklapaju. Uobičajena metoda financiranja u takvim slučajevima temelji se na dugoročnim zajmovima s velikim rokom počeka (grace period). U takvim je slučajevima intervencija države nužna.

Nakon što je natapni sustav u cijelosti realiziran ili neka njegova pogonsko-proizvodna cjelina, obično protječe nekoliko godina da se dostigne planirani kapacitet sustava. Sve što je sustav veći to je vremensko razdoblje, po pravilu, veće. Razloga za tu pojavu ima više. Neki su ovisni o vrsti tla i razvedenosti terena (potreba za planiranjem), zatim, ponekad, o bitnim promjenama u rasporedu usjeva i plodoreda koji je posljedica uvođenja natapanja, učenja i privikavanja primjene (pogona) natapanja itd. Kod uobičajenih (standardnih) projekata uvođenja natapanja, taj period obično traje između tri i pet godina, tj. toliko je vremena potrebno da se uhoda primjena natapanja i postignu planirani učinci.

Dakle, u zaključku, nužna je analiza financijske izvodljivosti kako bi se procijenila financijska podobnost razvoja.

## 2.4. NATAPANJE I ZAŠTITA OKOLINE

Danas je studija utjecaja natapanja na problematiku zaštite okoliša obvezni dio projektne dokumentacije kod svakog, iole značajnijeg programa razvoja poljoprivrede u uvjetima natapanja, posebno kod novo osvojenih površina. Ta studija mora obraditi utjecajne čimbenike na promjene okoliša u novim uvjetima i mjere koje treba poduzeti da se negativni učinci tih promjena svedu na najmanju mjeru. Obrada svih elemenata koji mogu utjecati na te promjene, zahtijeva uključivanje stručnjaka različitih znanstvenih oblasti i područja pa posao poprima interdisciplinarni karakter.

Potreba i mjera (veličina) obrade utjecaja na okoliš nekoga određenoga natapnog projekta mora biti utvrđena u planu (programu) svakoga pojedinog slučaja. Ako se projekt realizira po fazama, onda je nužno obraditi problematiku zaštite okoliša u idejnoj studiji (idejnom projektu) za cijeli sustav. Elementi i opseg obrade ove materije te potreba za njom moraju biti, svakako, u skladu s odgovarajućim propisima odnosno države, odnosno pokrajine.

Prije negoli se analiziraju promjene koje će uslijediti na okolišu u području obuhvaćenom projektom, nužno je načiniti neku vrstu inventure stanja okoliša svih značajnijih grana, i to paralelno s izradom plana (projekta) natapanja, odnosno razvoja određenog područja.

Smjernice i tehničke kriterije za izradu studije utjecaja na okoliš novoplaniranog razvoja natapanja treba crpiti iz postojećeg zakonodavstva i ostalih propisa koji su na snazi u vrijeme realizacije plana i uputa nadležnih organa vlasti. To će omogućiti da se adekvatno utvrde elementi okoliša koje treba obraditi kako bi to poslužilo za utvrđivanje osnova i uvjeta za planiranje i projektiranje pojedinih komponenata natapnog sustava.

### 2.4.1. Obrada "nultog" (sadašnjeg) stanja okoliša

Ta je faza obrade zapravo inventura stanja okoliša prije početka realizacije razvojnog projekta. Ova će analiza poslužiti kao osnova za analizu promjena koje će nastupiti realizacijom razvojnog projekta u uvjetima natapanja. Uobičajeno je da se to prethodno stanje razvrsta u četiri glavne skupine, i to:

#### I. Fizičke i kemijske značajke

##### 1. Teren:

- tlo,
- terenska razvedenost,
- jedinstveni fizički oblici

##### 2. Voda:

- površinske vode,
- podzemne vode,
- kvaliteta voda,
- kolebanje temperature,
- prihranjivanje podzemnih voda

##### 3. Atmosfera:

- makro i mikroklima,
- oborinski režim,
- temperature,
- osobitosti kvalitete

##### 4. Prirodne pojave:

- poplave,
- erozija (svih vrsta),
- pokreti zračnih masa,
- stabilnost terena (klizišta, odroni),
- problemi nanosa,
- problemi saliniteta

#### II. Biološki i životinjski svijet

##### 1. Flora:

- šumska vegetacija i zajednice,
- travni pokrivač (livade i pašnjaci),
- poljoprivredne kulture,
- mikroflora,
- vrste u opasnosti od izumiranja

##### 2. Fauna:

- ptičja populacija,
- kopnene životinje,

- riblji fond i školjkaši,
- bentos organizmi,
- insekti,
- mikrofauna,
- ugrožene vrste

### *III. Čimbenici korištenja i razvoja*

#### *1. Korištenje tla:*

- pašnjaci i šume,
- poljoprivreda,
- ribnjaci i močvare

#### *2. Rekreacija:*

- ribarstvo i lov,
- kampiranje i izletništvo,
- prostori za piknike

#### *3. Kulturne i estetske vrijednosti:*

- kvalitete otvorenih prostora,
- vrijednosti krajolika i vizura,
- rijetke i vrijedne vrste i ekosustavi,
- jedinstvene prirodne ljepote,
- povijesna i arheološka nalazišta

#### *4. Civilizacijsko stanje:*

- kulturna razina,
- zdravlje i socijala,
- zaposlenost,
- gustoća nastanjenosti

#### *5. Umjetne tvorevine:*

- strukture (građevine),
- mreža prometnica,
- komunalna infrastruktura

### *IV. Ekološke promjene i odnosi*

#### *1. zasljanjivanje voda,*

#### *2. zasljanjivanje tala,*

#### *3. hranidbeni lanci,*

#### *4. eutrofikacija*

Na temelju tako načinjene analize ravnotežnog stanja i odnosa u prirodi, mogu se predvidjeti promjene koje mogu nastupiti u razmatranom području nakon uvođenja natapanja, odnosno zbog razvoja poljoprivrede u novim okolnostima. Veličina i

složenost promjena koje se mogu očekivati, neposredno je proporcionalna stupnju i veličini razvoja koji se planira.

### 2.4.2. Utjecaji okoliša

Kao što je već ranije spomenuto, natapanje će izazvati promjene u pojedinim elementima okoliša. U nastavku se daje popis nekih značajnijih kategorija okoliša na kojima su moguće promjene:

#### *I. Izmjene u režimu*

1. promjene u flori,
2. promjene u fauni,
3. promjene protoka,
4. promjene režima podzemnih voda,
5. promjene u strukturi usjeva

#### *II. Terenske promjene i građenje*

1. planiranje tla,
2. gradnja natapnih sustava (kanala, cjevovoda, akumulacija),
3. bušenje bunara,
4. ograđivanja (međe imanja),
5. skladištenje voda i derivacije

#### *III. Utjecaji prometa*

1. automobili,
2. teretna vozila

#### *IV. Utjecaji kemijskih sredstava*

1. gnojiva
2. herbicidi
3. pesticidi

#### *V. Promjene rekreacijskih mogućnosti*

1. sportske mogućnosti (ribolov, lov)
2. ostalo

#### *VI. Druge promjene*

1. jedinstvene i autohtone lokacije

U nastavku će se ukratko поближе obraditi neke naprijed spomenute promjene i utjecaji koji su najčešći u razvojnim projektima uz primjenu natapanja.

#### *a) Derivacija voda*

Veliki broj natapnih sustava u svijetu opskrbljuje se vodom iz vodotoka, jezera ili drugih površinskih izvorišta, odakle se voda crpnim uređajima prebacuje na natapna polja. U tim se izvorištima najčešće nalazi populacija riba koje služe za rekreacijske svrhe, ali i za gospodarske potrebe. Zbog toga se često na tim vodotocima i drugim



izvorištima uvode posebna ograničenja i pravila korištenja od strane odgovarajućih institucija i državnih organa. To se obično odnosi na kapacitet zahvata, dopuštenu minimalnu razinu (protok) vode i otvore crpnih uređaja (košara).

*b) Minimalni protoci*

Nema nikakve sumnje da će zahvati voda iz vodotoka, pogotovo malog kapaciteta, promijeniti režim protoka u tim tokovima. To će u svakom slučaju ovisiti o veličini protoka i o količini derivirane vode tijekom vegetacijske sezone. Ovisno o tim parametrima, treba osigurati određeni minimalni protok koji se zahtijeva od odgovarajućih studija zaštite okoliša za to područje, odnosno vodotok.

Nadalje, u takvim slučajevima treba pomno razmotriti i adekvatno riješiti eventualni problem ispusta (povratnih) zagađenih voda iz melioracijskog područja, i to kako po količini, tako i po kvaliteti, odnosno prema sadržaju nanosa, soli i drugih štetnih sadržaja. Ponekad će biti nužno izgraditi odgovarajuće uređaje za pročišćavanje tih otpadnih voda ili pak naprave za taloženje nanosa. To također može utjecati na izbor načina (metode) natapanja i projektiranje pojedinih elemenata natapnog sustava.

*c) Zaslanjivanje*

Jedan je od bitnih čimbenika zaštite okoliša, pogotovo kvalitete vode, svakako, zaslanjivanje voda. Da bi se koncentracija soli u prirodnim vodotocima održala u dopustivim granicama, nužno je slanost poljoprivrednih površina održavati u određenim granicama. Naime, opterećivanje tala zaslanjenim vodama i potom smanjivanje njihova saliniteta ispiranjem, neizbježno dovodi do povećanog saliniteta voda u koje se ulijevaju povratne vode natapanja (odvodnja). Zbog toga je nužno taj problem razmotriti prilikom planiranja natapnog sustava i predvidjeti odgovarajuće mjere zaštite okoliša. Jasno je da i ta problematika može bitno utjecati na izbor načina natapanja te planiranje pojedinih specifičnih građevina i uređaja natapnog sustava.

## LITERATURA

1. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla. Navodnjavanje. Udžbenik, str. 216, Školska knjiga Zagreb, 1987.
2. Margeta, J.: Osnove gospodarenja vodama. Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, 1992.
3. Ollier, Ch. - Poirée, M.: Irrigation, Eyrolles, Paris, 1981.
4. Sagardoy, J.A.: Organization, operation and maintenance of irrigation schemes, FAO Irrigation and Drainage Paper 40, Rome, 1986.
5. Jensen, M.E.: Design and Operation of farm irrigation systems, ASAE, 1980.
6. Van der Leeden, F.: The Water Encyclopedia, Second Edition, 1990., Lewis Publishers, 121 South Main Street, Michigan 48118



## 3.VRSTE RAZVODNIH NATAPNIH MREŽA

*Dr. Dragutin Gereš  
Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb*

### 3.1. UVOD

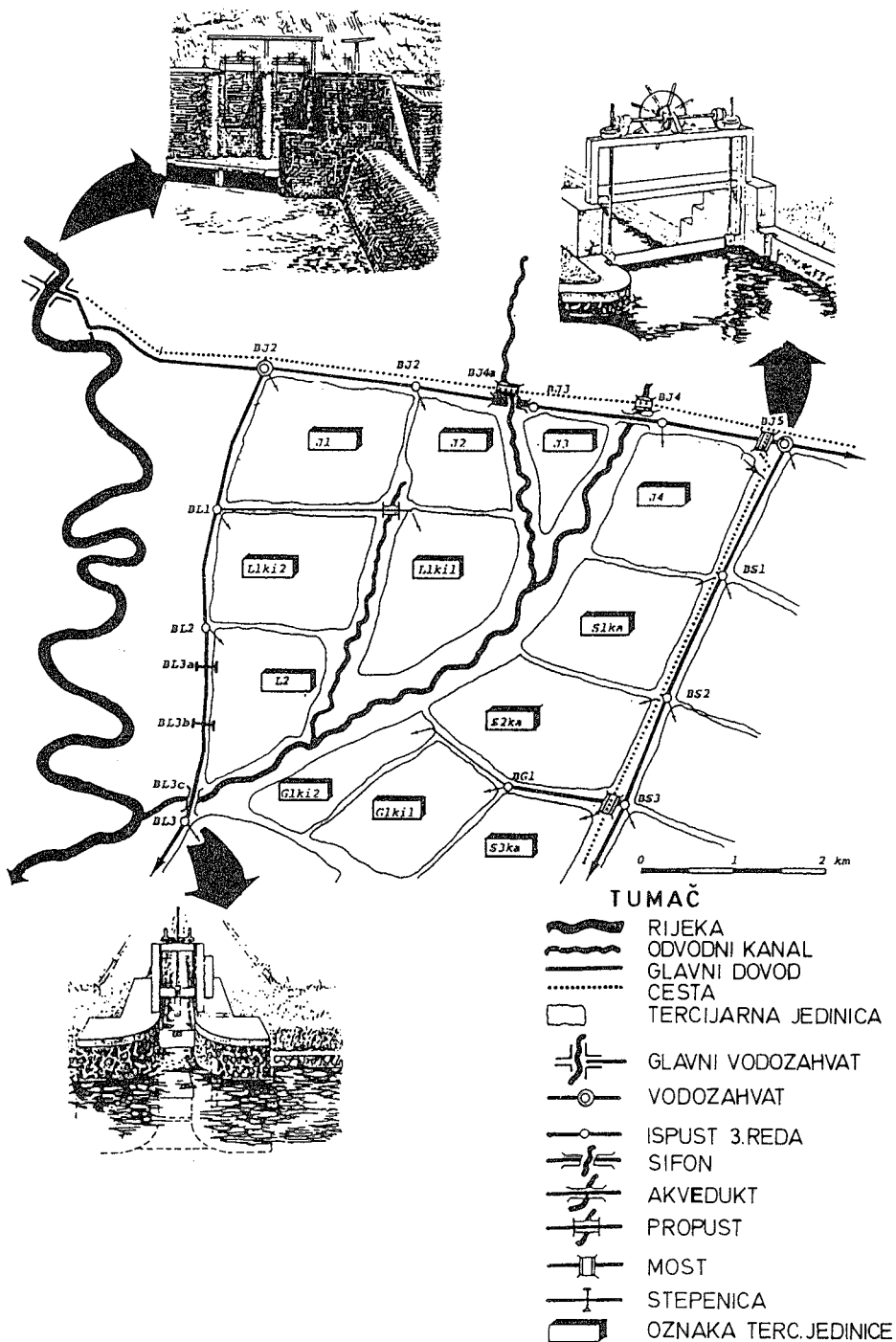
Pri planiranju i projektiranju natapnih sustava potrebno je primijeniti koncept održivog natapanja. Ideja održivog natapanja zahtijeva našu veću brigu o ograničenim a prirodnim resursima i o zaštiti okoliša. Razvoj održivog natapanja započinje dobrim planiranjem i projektiranjem. Održivost zatim ovisi o pogonu i održavanju sustava.

Dobro planirana, projektirana i izgrađena razvodna natapna mreža omogućuje dovodenje vode za natapanje u odgovarajućim količinama u određenom vremenu, odgovarajućeg tlaka i na način da ne izaziva probleme u pogonu i upravljanju. Razvodni sustav za natapanje uključuje sve potrebne objekte i aspekte pogona koji moraju zadovoljiti gornje zahtjeve. Razvodni natapni sustavi mogu varirati u veličini i složenosti, od mreža i objekata za dovodenje površinske ili podzemne vode do površina za natapanje i odvodnog sustava za vode sa susjednog područja.

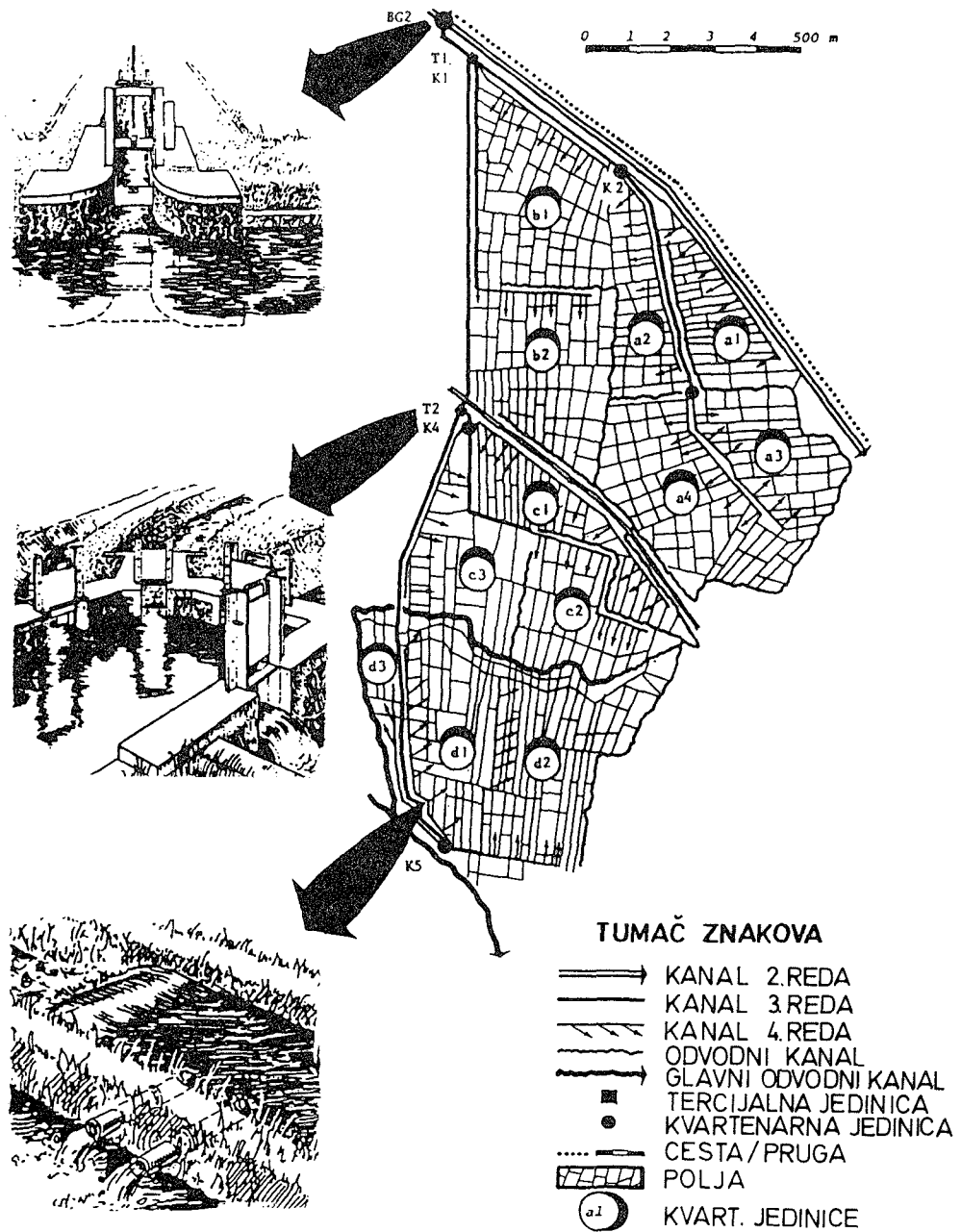
### 3.2. SADRŽAJ I DEFINICIJE KOMPONENATA

Natapne mreže mogu sadržavati neke ili sve dijelove ovih sastavnih elemenata mreža:

- zahvati vode
- glavni dovodni kanal
- objekti za regulaciju i zaštitu
- dovodni kanali drugog i trećeg ili nižeg reda
- mostovi, taložnice, mjerni i kontrolni objekti s opremom
- crpne stanice
- vodospreme za izjednačivanje količina vode, akumulacije ili crpni rezervoari
- ostala oprema ili objekti koji omogućuju da sustav izvodi svoju zadaću.



Sl. 3-1 Sustav za natapanje i glavni dovodni kanal



Sl. 3-2 Razvodni dio sustava za natapanje

### *Definicije elemenata natapnih mreža*

#### *Zahvati vode*

Ovi se objekti grade na izvorištu vode za natapanje. Izvorišta vode mogu biti rijeke, kanali, akumulacije ili podzemna voda. Objekti sadrže potrebne dijelove za zahvat vode.

#### *Glavni dovodni kanal*

Dovodni kanal spaja zahvatni objekt s izravnavajućom vodospremom (ako postoji) ili s glavnim dovodnim kanalom natapnog sustava. Taj dovod prolazi područjem koje se ne natapa. Glavni dovodni kanal može spajati distribucijski (ili razvodni) sustav izravno s vodozahvatom ili dovodni kanal s razvodnim sustavom. Glavni dovodni kanal može biti gravitacijski ili vod pod tlakom ako se voda crpi crpkama. U većini slučajeva ne preporučuje se neposredno opskrba natapnih jedinica s tog dovoda.

#### *Razvodni ili distribucijski sustav*

To je dio natapnog sustava koji spaja dovodni ili glavni natapni kanal (ili zahvatni objekt) s ispusnim objektima na parcelama. Sastoji se od primarnoga, sekundarnog i tercijarnog dijela i ukupne pripadne opreme i objekata. U modernim natapnim sustavima često nema jasne granice među tima trima dijelovima. Podjela ovisi o veličini mreže, načinu raspodjele vode, topografiji itd.

#### *Zaštitni objekti i oprema*

Cilj je izvedbe tih objekata zaštita kanala i objekata od šteta zbog velikih voda. Zaštita natapnih kanala izvodi se bočnim preljevom u nasipu kanala, sifonskim preljevom ili automatskom ustavom. Kod cjevovoda su to zračni ventili, povratni zatvarači, ventili za redukciju tlaka i sl.

#### *Natapni hidrant*

Natapni je hidrant složeni zatvarač koji sadrži dio za redukciju tlaka, dio za ograničenje protoka, zaštitni ventil i dio za mjerenje količine vode. Hidrant se postavlja na početku tercijarnog voda ili kanala ili na početku parcele. Hidrant može sadržavati do četiri (4) nezavisna ispusta.

#### *Vodozahvat za parcelu - ispust vode*

Objekt ispusta vode za jednu natapnu jedinicu (ili farmu) izvodi se na distribucijskom sustavu i doprema vodu jednoj jedinici. Ispust je opremljen zatvaračem ili opremom za izdvajanje određene količine vode i često vodomjerom.

#### *Vodosprema za izjednačivanje količine vode*

Ovaj tip vodospreme primjenjuje se za prikupljanje viška vode za vrijeme razdoblja nižih potreba. Tako prikupljena voda utroši se za vrijeme razdoblja visokih potreba za vodom. Vodosprema može omogućiti smanjivanje proračunskih kapaciteta glavnih dovoda.

Posebna vrsta vodosprema za izjednačivanje količina jest vodosprema za noćnu količinu vode. Vodosprema akumulira dotok vode glavnog dovoda tijekom noći. Po danu se upotrebljava akumulirana voda zajedno s dotokom glavnog dovoda. Tom se

metodom smanjuje kapacitet dovoda, minimiziraju se troškovi te se omogućuje noćno natapanje. Uobičajeni je kapacitet noćne vodospreme jednak potrošnji za 8 sati kontinuirane opskrbe vodom.

#### *Vodosprema za reguliranje tlaka*

Ovaj objekt može biti vodotoranj ili vodosprema na tlu, a izvodi se da bi se osigurali odgovarajući tlakovi u svim dijelovima razvodne mreže i osigurao rad crpki. Kapacitet je tih vodosprema funkcija vrste predviđene regulacije.

Prekidne su komore vodospreme malih kapaciteta koje se izvode za potrebe sniženja tlakova uzduž dovoda s velikom visinskom razlikom. Prekidna komora osigurava niži tlak na donjoj dionici cjevovoda. Mogu se izvoditi na zahvatu vode na brani kada je potreban konstantan nizvodni tlak u dovodu. Za automatski oblik pogona prekidna komora može biti opremljena plivajućim zatvaračem koji se dimenzionira u funkciji kapaciteta cjevovoda, pogonskih karakteristika plivajućeg zatvarača i proračuna vodnog udara.

### 3.3. DEFINICIJE PARAMETARA SUSTAVA

Podjela je sustava za natapanje različita od zemlje do zemlje. Nema određenih i usuglašanih pravila za podjelu. U nastavku se prikazuje prijedlog podjele FAO (1988.).

Sustav za natapanje može se podijeliti na regije, regije na zone, zone na podzone, podzone na sektore, a sektori na blokove. Blokove površina za natapanje čine individualne parcele ili farme. Uobičajeno je da se sektori nazivaju tercijarnim jedinicama natapanja, a blokovi jedinicama natapanja četvrtog reda (kvarterne jedinice).

Bruto površina sustava za natapanje: tu površinu ograničava krajnja crta oko sustava. Unutar te površine (perimetra) mogu biti naselja, rijeke, jezera i sl.

Površina regije natapanja čini onaj dio sustava koji se opskrbljuje iz jednog dovoda.

Vanjska ili "mrtva" površina sustava: površina tla koje se ne natapa; nalazi se izvan bruto površine sustava. Površina je locirana između glavnog vodozahvata i sustava za natapanje.

Bruto natapana površina sustava: dobije se kada se od bruto površine sustava za natapanje oduzmu površine koje nisu pogodne za natapanje iz različitih razloga.

Bruto površina koja se natapa gravitacijski: dio bruto natapane površine na kojoj je moguće gravitacijsko natapanje.

Bruto površina koja se natapa mehaničkim dizanjem vode: dio površine sustava koji se natapa crpkama ili je blok postignut na drugi način.

Neto površina natapanja: dobije se kada se od bruto natapane površine oduzmu one površine koje su nepodgovne za natapanje, površine pod naseljima, prometnicama, površine odvodnog sustava, gospodarski objekti na imanjima itd.



### 3.4. KLASIFIKACIJA RAZVODNIH NATAPNIH MREŽA

Razvodne natapne mreže mogu biti različitih vrsta, ovisno o vrsti vode koju dovode do parcela, vrsti dovodnog kanala i prihvaćenog režima pogona itd.

#### 3.4.1. Klasifikacija prema vrsti vode

Razvodna mreža može dovoditi vodu koja potječe iz površinskih vodotoka ili akumulacija, zatim podzemnu vodu, recikliranu, tj. pročišćenu otpadnu vodu ili kombinaciju dviju ili više vrsta voda.

#### 3.4.2. Klasifikacija prema tipu dovodnog sustava

##### a) Sustav otvorenih kanala

U ovom su načinu natapanja glavni dovodi položeni po izohipsama pa imaju vrlo mali uzdužni pad. Sekundarni dovodi slijede pad terena. Tercijarni kanali ponovo slijede izohipse, a uzdužni im je pad vrlo malen.

Kanali prvog i drugog reda opremljeni su objektima za reguliranje razine i protoka vode kako bi se osigurala puna kontrola opskrbe vodom.

Sustav sadrži i ostale objekte koji omogućuju aktivnosti na površinama kao što su mostovi, sifoni itd.

##### b) Sustav cjevovoda pod tlakom

Taj se sustav dijeli na temelju situacijskog rasporeda i spojeva cjevovoda na:

- razgranati sustav: upotrebljava se na terenima sa znatnom visinskom razlikom i tamo gdje se vodi računa o troškovima građenja. Sustav je pogodan za dostavu vode u okviru tercijarne jedinice po rotaciji te kada je dotok vode za jednu farmu ili parcelu fiksiran. Ponekad se razgranati sustav cjevovoda primjenjuje pri kontinuiranoj raspodjeli vode. Ako se taj sustav primjenjuje za dovod vode po zahtjevu, tada se ispušt za tercijarnu jedinicu mora stalno kontrolirati tako da se tlak drži na veličini zahtijevanog minimuma.

- prstenasta mreža: sustav je identičan onome za vodoopskrbu naselja i gradova. Taj je način polaganja cjevovoda najpovoljniji za dodjelu vode po zahtjevu te tamo gdje topografija terena omogućuje prstenastu mrežu s podjednakim tlakovima. Ta mreža daje veliku sigurnost pogona jer je u svakoj točki omogućen dotok vode s dviju strana.

- mješovita vrsta mreže: sastoji se od obaju tipova mreža, razvodnih i prstenastih.

Moguća je i kombinacija otvorenih kanala i cjevovoda, što ovisi o topografiji. Međutim, uvijek su otvoreni kanali položeni uzvodno od cjevovoda.

### 3.4.3. Klasifikacija prema raspoloživom tlaku

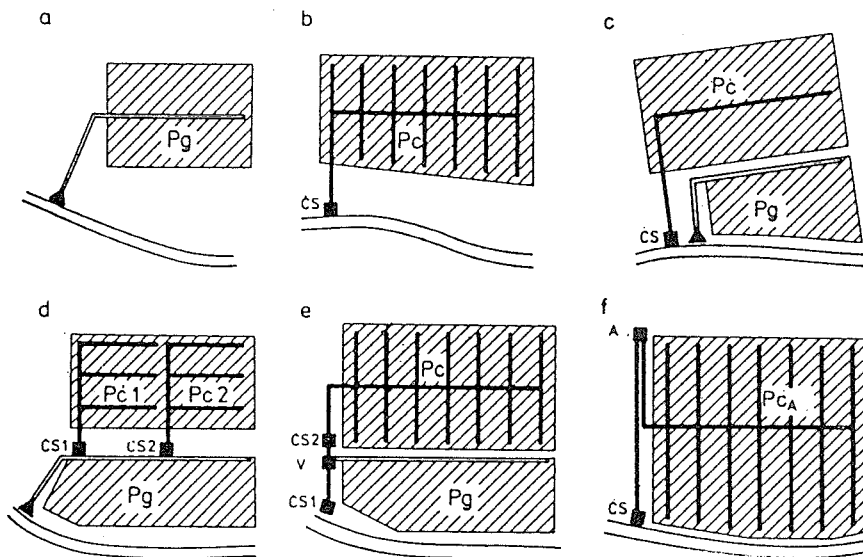
Razvodni natapni sustav može dodjeljivati vodu na ispustu na parceli (farmi) pod dovoljnim tlakom za pogon opreme za natapanje pod tlakom ili pod niskim tlakom za natapanje brazdama ili prelijevanjem. Mreža se temeljem toga klasificira na:

- mreža pod tlakom: dodjeljuje natapnu vodu na farmu pod odgovarajućim tlakom sa zatvorenim cjevovodom. Taj je sustav opremljen potrebnim priborom za ograničenje količine vode, vodomjerom za regulaciju tlaka, koji omogućuje održavanje tlaka u granicama ustanovljenih veličina minimum - maksimum

- sustav bez tlaka vode: dodjeljuje natapnu vodu na parcelu za površinske režime natapanja, znači sa niskim tlakom vode. Ako se želi koristiti opremom za natapanje koja traži tlak za pogon, potrebno je ugraditi precrpne uređaje ("booster crpke").

### 3.4.4. Klasifikacija prema podrijetlu tlaka vode

Tlak vode u razvodnom sustavu može biti posljedica različitih visina između vodozahvata i natapne površine ili može biti rezultat mehaničkog dizanja vode - crpljenja. Ovisno o podrijetlu tlaka, sustav se klasificira kao gravitacijski, s mehaničkim dizanjem vode ili mješoviti sustav.



Sl. 3-3 Vrste razvodnih mreža prema podrijetlu tlaka vode

- a) gravitacijski kanal
- b) zahvat crpnom stanicom
- c) i d) kombinirano rješenje
- e) mreža pod tlakom s rezervoarskim prostorom
- f) mreža pod tlakom s vodospremom

### 3.4.5. Klasifikacija prema načinu pogona (dodjele vode)

Dovod vode za natapanje podliježe umjetnoj kontroli razine i količine od izvorišta vode do parcele (farme). Kontrola se postiže međuakcijom fizikalnih dijelova sustava (hardware) i aktivnostima upravljanja pogonom (software). Razvodni natapni sustav mora omogućiti dodjelu potrebnih količina vode na svakom ispustu na parceli, koje će zadovoljiti potrebe za natapnom vodom.

Općenito, postoje tri temeljna načina dodjele natapne vode (načina pogona natapnih sustava):

#### 3.4.5.1. Kontinuirana dodjela vode

U ovom je načinu pogona dodjela natapne vode parcelama ili farmama kontinuirana. Taj način dodjele vode traži najmanje moguće projektne kapacitete, ali zahtijeva vodospremu na farmi. Obrok je natapne vode svake parcele proporcionalan njezinoj površini i specifičnoj potrebi kulture biljke.

#### 3.4.5.2. Dodjela natapne vode u rotaciji

Potrebna količina natapne vode neke parcele, bloka ili zone sustava za natapanje dodjeljuje se u rotaciji. Ima više varijacija ovog načina distribucije vode:

a) rotacija u fiksiranom redu: voda se dodjeljuje individualnim farmama za vrijeme utvrđenog razdoblja u skladu s veličinom parcele i pravom na određenu količinu vode tako da se red dodjele vode svakoj parceli događa fiksiranog dana u određeno vrijeme i određenog je trajanja.

Ovaj način pogona sustava primjenjuje se kada korisnici imaju pravo na određenu količinu vode - modul, koji može varirati od 20 l/s do 60 l/s. Prednosti su ovog načina u tome da svaki korisnik zna točno vrijeme korištenja vode i koliko je trajanje natapanja. Nedostatak načina pogona po rotaciji pokazuje se u slučaju promjene strukture sjetve, kada se pojavljuju različite potrebe za vodom ili različite frekvencije natapanja. U tom se slučaju mora smanjivati modul (što je nepovoljno) ili adaptirati turnus i broj natapanja.

Projektni je kapacitet glavnog dovoda sličan kao u slučaju kontinuirane dodjele vode. Kapacitet tercijarnog sustava odgovara veličini modula.

b) programirana rotacija: voda se dodjeljuje s pretpostavkom da se natapna površina dijeli u blokove, a svaki blok dobiva fiksni dotok vode - modul, čija veličina ovisi o specifičnom protoku i natapnoj površini. Dotok je svakom bloku kontinuiran s određenom veličinom obroka. Svakoj parceli unutar bloka dodjeljuje se modul u rotaciji prema unaprijed određenom rasporedu. Pogon takvog sustava zahtijeva dobro programiranje. Programiranje se smanjuje ako se dodjela po rotacij temelji na tercijarnoj jedinici.

Natapni sustav mora imati neovisne blokove za ovaj način dodjele vode. Kapaciteti su tercijarnih cjevovoda veći nego pri fiksiranoj ili normalnoj rotaciji.

### *3.4.5.3. Dodjela natapne vode na zahtjev*

Pri ovom načinu dodjele vode korisniku se omogućuje potrošnja vode po zahtjevu ili potrebi, bez potrebe da unaprijed odredi vrijeme i trajanje dodjele. Razvodna se mreža dimenzionira na temelju istovremenog rada većeg broja uređaja za natapanje pa su dimenzije sustava povećane. Dodjela je vode na zahtjev najpovoljnija za korisnike jer se voda dodjeljuje tercijarnoj jedinici kada je potrebna.

## LITERATURA

1. Ankum, P.: Canal Storage and Flow Control Methods. 15th Congress ICID, Vol. 1-B, R51. The Hague, 1993.
2. Clément, M.R.: Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionnant à la demande. Les études du STCH, Paris, 1966.
3. FAO: Organisation, Operation and Maintenance of Irrigation Schemes. FAO I. and D. Pap. 40. Rome, 1986.
4. FAO: Design and Optimization of Irrigation Distribution Networks. FAO I. and D. Pap. 44. Rome, 1988.
5. Gereš, D.: Glavne građevine sustava za natapanje. Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. kolo - natapanje, knjiga 4. Rijeka, 1995.
6. Ollier, Ch. et Poirée, M.: Irrigation. 6.ed. Eyrolles, Paris, 1983.

## 4. OVISNOST PROTOKA O NAČINU POGONA

*Dr. Dragutin Gereš  
Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb*

### 4.1. UVOD

Na početnom se stupnju formulacije projekta natapnog sustava istovremeno razvija fizikalni dio sustava i izabire se način pogona sustava. Opća je organizacija razvodne natapne mreže u funkciji načina pogona, koji može biti u turnusu (rotacija), na zahtjev ili kontinuirano. Upoznavanje, na ovom stupnju rada, s ograničenjima pojedinih načina pogona doprinosi boljim rezultatima sustava u pogonu.

### 4.2. STRUKTURA SUSTAVA RAZVODNE NATAPNE MREŽE

Situacijski raspored razdjelnih kanala ovisi u prvom redu o topografskim ograničenjima. Osim toga, na strukturu natapnog sustava utječe i izbor načina raspodjele vode, tj. način pogona sustava. Jedinica teritorija koja obuhvaća sve parcele koje se natapaju u turnusu (rotaciji) jednim modulom, naziva se natapni blok. Natapni blok dobiva vodu iz kanala, obično 4. reda (ili kvarternalni). Taj kanal na čelu ima zahvatni objekt (ispusni objekt u kanalu višeg reda), opremljen tako da u kanal upušta količinu vode jednaku modulu, unaprijed određenom.

Natapna površina u svakom bloku mora zadovoljiti uvjet:

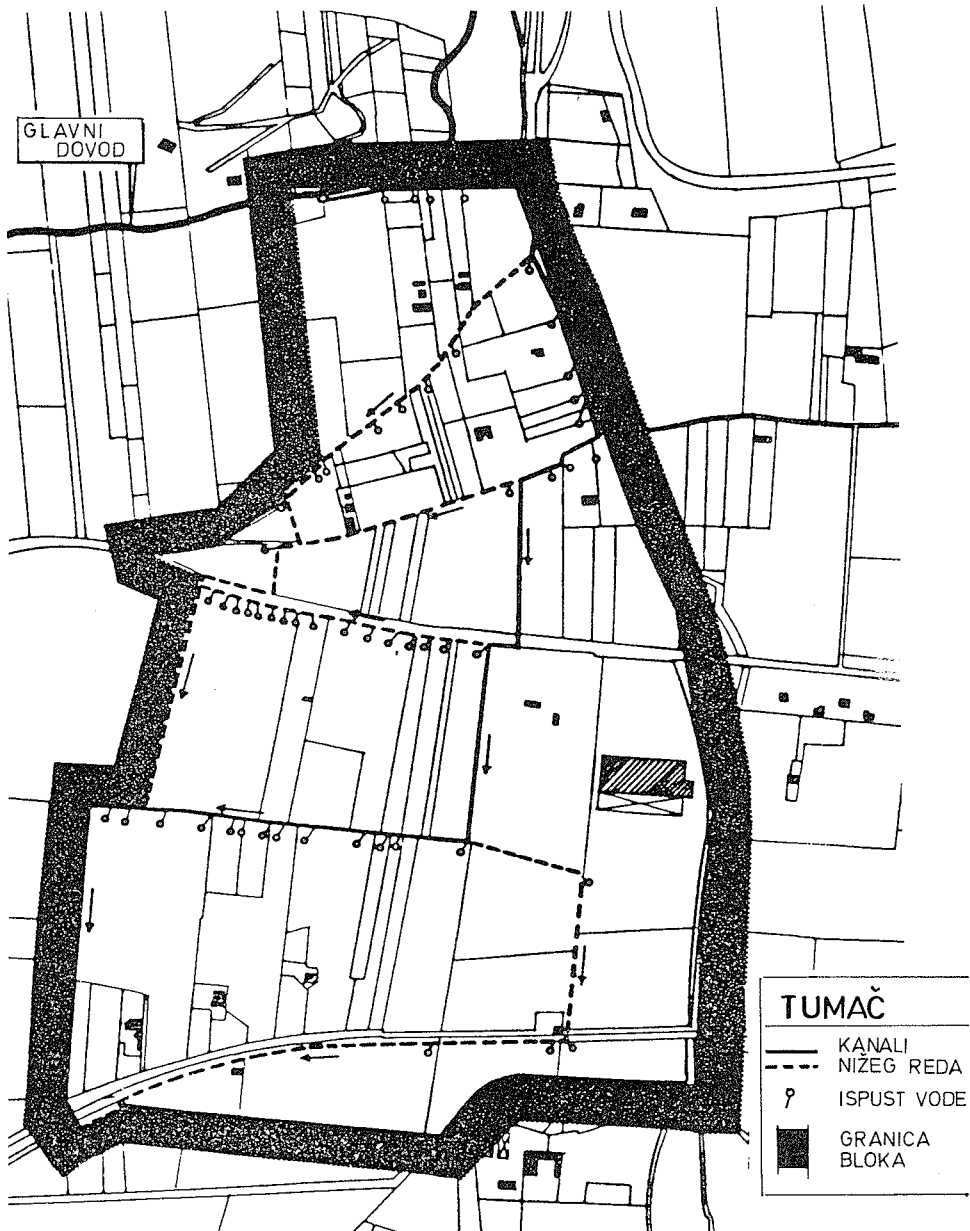
$$P_b \leq \frac{m}{q}, \quad (4.1)$$

gdje je:

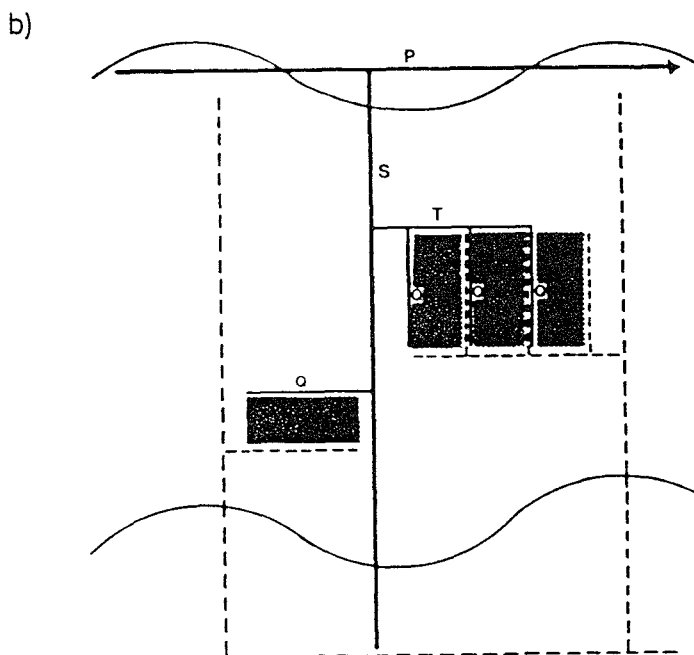
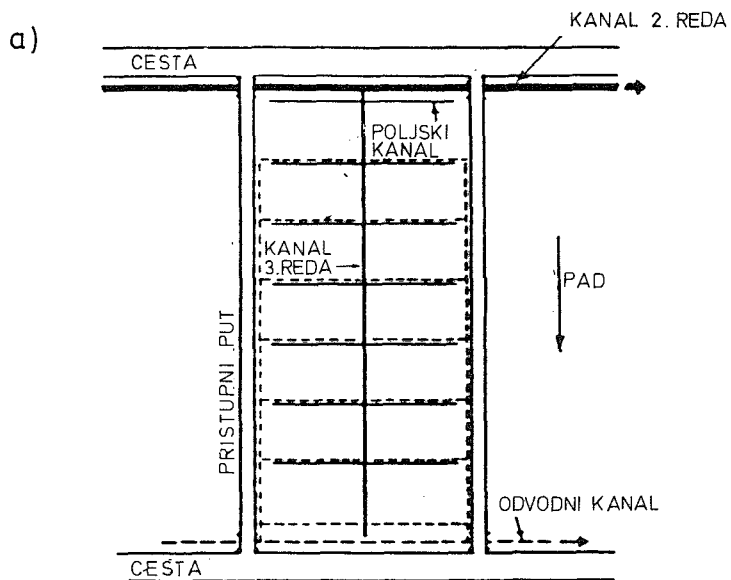
$P_b$  - natapna površina u bloku (ha)  
 $m$  - natapni modul (l/s)

$q$  - hidromodul za mjesec s najvećim deficitom vode uz pretpostavku konstantne veličine kroz 24 sata (l/s/ha)

Kada je ovaj uvjet ispunjen, omogućena je raspodjela vode u natapnom bloku u turnusu s određenim modulom.



Sl. 4-1 Natapni blok - situacija s neuređenim parcelama



Sl. 4-2 Natapni blok

a) situacija s uređenim parcelama

b) opća situacija razvodne mreže

P - glavni dovod; S - kanal drugog reda;

T - kanal trećeg reda; Q - kanal četvrtog reda;

--- odvodni kanal



Podjela natapne površine u blokove u velikoj mjeri ovisi o vlasničkoj strukturi. U većini su slučajeva postojeće parcele nepravilne po obliku, površini i nagibu. U tom je slučaju natapni blok nepravilan.

Racionalnija organizacija natapnog bloka postiže se kada se mogu urediti (komasirati) parcele.

### 4.3. POGON U TURNUSU (ROTACIJI) I ODREĐIVANJE PROTOKA

Razvodna natapna mreža s otvorenim kanalima planira se općenito za pogon u turnusu (rotaciji). Natapni modul, "m", jest količina vode - dotok koju natapna meža provodi do ispusta na parceli. Veličina je modula općenito manja od maksimalne količine vode kojom može upravljati korisnik, a veća od minimalnih potrebnih količina za natapanje parcele. Veličina je modula između 20 i 60 l/s.

#### 4.3.1. Turnus natapanja s fiksiranom veličinom modula

Pogon u turnusu s fiksiranim modulom omogućuje opskrbu svake parcele s količinom vode jednakom modulu za vrijeme određenog razdoblja, prema unaprijed utvrđenom rasporedu. Vrijedi ovaj odnos:

$$m \cdot t = P \cdot q \cdot T, \quad (4.2)$$

gdje je:

- m - natapni modul (l/s)
- t - trajanje svakog natapanja (sati)
- P - natapna površina (ha)
- q - hidromodul natapanja, maksimalni, kroz 24 sata (l/s/ha)
- T - turnus natapanja, vremensko razdoblje između početaka dvaju sukcesivnih natapanja (sati)

Kad su određeni modul (m) i turnus (T) količina natapne vode koja je na raspolaganju farmeru u vrijeme (t), proporcionalna je površini pa trajanje natapanja iznosi:

$$t = \frac{P \cdot q \cdot T}{m} \quad (4.3)$$

S tim se elementima radi plan - raspored natapanja za svaki farmerski ispušt. Plan se radi svake godine, za svaki natapni blok. Plan osigurava svakom farmeru količinu

vode jednaku modulu natapanja za kompletan turnus za vrijeme maksimalne potrebe za natapnom vodom.

Za vrijeme razdoblja maksimalne potrebe za vodom svaki kanal 4. reda propuštaće maksimalan protok za vrijeme trajanja turnusa (T). Plan natapanja blokova koji čine sektor, radi se tako da se osigura kontinuirani protok u kanalima višeg reda.

### 4.3.2. Projektirani protok

U stupnju formulacije projekta natapanja potrebno je istražiti rizik koncentracije kulturnog bilja s najvećom potrebom za vodom u jednom bloku. Ta vrsta analize provodi se u vrijeme izrade strukture sjetve i plodoreda.

Za dovode natapne vode 4. reda, protok se određuje prema potrebnoj vodi kulture s najvećom potrebom ( $q'$  u l/s/ha). To znači da će natapana površina jednog bloka, uz dotok jednostrukog modula ( $m$  u l/s), biti manja od odnosa  $m/q'$ .

U slučaju dovoda višeg reda, koji opslužuju veće natapne površine pretpostavlja se da su kulture s najvećom potrebom za vodom jednoliko raspoređene po cijelom sustavu. Glavni natapni kanali dimenzioniraju se na maksimalnu potrebnu količinu vode prosječne sjetvene strukture za vrijeme vegetacijskog razdoblja.

Projektirani protok dovoda vode određuje se na osnovi potrebne vode za natapne površine nizvodno od presjeka. Pri tom se proračunu zaokružuje na više vrijednosti modula.

### 4.3.3. Ograničenja pogona u turnusu

Ovaj je način dodjele vode vrlo jednostavan u pogonu. Ipak se pojavljuju nedostaci:

- potreba prilagođivanja količine vode svakom bloku za vrijeme trajanja turnusa, što traži zaposlenje radne snage
- nedostatak fleksibilnosti uvjeta natapanja, što se očituje pri natapanju biljaka s različitom dubinom korijenovog sustava.

Ti se nedostaci mogu ublažiti ovako:

#### 4.3.3.1. Turnus s promjenjivim modulom

Ovaj način pogona smanjuje rad s vodom na polju. Budući da veličina modula može biti promjenjiva, sektor se dijeli u blokove, pa je:

$$m_1 \leq P_i \cdot \frac{q}{e} \leq m_2 \quad (4.4)$$

gdje je:

$m_1$  i  $m_2$  - donja i gornja granica veličine modula (l/s)

- $P_i$  - natapna površina bloka (ha)  
 $q$  - maksimalni hidromodul parcele (l/s/ha)  
 $e$  - učinkovitost dovoda vode

Gornji se uvjet može ostvariti odgovarajućom podjelom sektora u blokove i tada svaki blok dobiva modul veličine

$$m = P_i \cdot \frac{q}{e}$$

Korisnik radi u turnusu s količinama vode modula prema unaprijed određenom planu. Razvodna mreža radi kontinuirano za vrijeme maksimalnih potreba za vodom. U praksi operator računa godišnje potreban modul za svaki blok na temelju veličine natapne površine.

#### 4.3.3.2. Turnus s promjenjivim trajanjem

Pri ovom načinu pogona turnus  $T_1$  određuje se za biljke s plitkim korjenovim sustavom, a turnus  $T_2=2T_1$  za biljke s dubokim korijenom.

Na primjer, ako u natapnom sektoru prevladavaju dvije kulture:

- povrće; potreba za vodom ili obrok natapanja jest  $350 \text{ m}^3/\text{ha}$  za 4-dnevni turnus, hidromodul  $q=1 \text{ l/s}$

- lucerna i slične kulture; potreba za vodom je  $780 \text{ m}^3/\text{ha}$  za 9-dnevni turnus, hidromodul  $q=1 \text{ l/s}$

tada će se usvojiti turnusi:

$T_1=90$  sati (3,75 dana) i  $325 \text{ m}^3/\text{ha}$  za povrće

$T_2=180$  sati (7,50 dana) i  $650 \text{ m}^3/\text{ha}$  za lucernu.

U praksi se pogon odvija tako da u svakom natapnom bloku prvi turnus ili rotacija (od 0 do 3,75 dana) natapa sve površine pod povrćem i polovicu površina pod lucernom. Za vrijeme sljedećeg turnusa (3,75 do 7,50 dana) sve površine pod povrćem ponovo primaju vodu i druga polovica površina pod lucernom.

#### 4.3.4. Pogon u turnusu u razvodnoj mreži pod tlakom

U tlačnoj razvodnoj mreži protok se određuje ovako:

a) Rotacija se organizira na hidrantu i projektni protok određuje se za svaki hidrant i potom se zbrajaju protoci svih hidranata nizvodno od presjeka.

b) Rotacija se organizira na razini dovodnih cjevovoda i točno se definiraju pojedinačne natapne jedinice za koje se planira rotacija. Ukupna površina svake jedinice mora biti takva da je odgovarajući modul dovoljan za najveću parcelu unutar jedinice. Protok u cjevovodu dobiva se zbrojem modula od nizvodne točke prema uzvodnom dijelu cjevovoda.

Protok na početku tlačne mreže, koja radi u rotaciji, teoretski je jednak potrebama za vodom ukupne natapne površine.

c) Vrijeme trajanja natapanja ( $t$ ) svake parcele dobije se po izrazu:

$$t = \frac{q \cdot P \cdot T}{m} \quad (4.5)$$

gdje je:

- $t$  - vrijeme trajanja natapanja (sati)
- $q$  - nominalni hidromodul parcele (l/s/ha)
- $P$  - površina parcele (ha)
- $T$  - turnus natapanja (sati)
- $m$  - modul (l/s)

## 4.4. POGON NA ZAHTJEV I ODREĐIVANJE PROTOKA

### 4.4.1. Općenito

Općenito ovaj se način pogona primjenjuje u tlačnome razvodnom sustavu. Ako se primjenjuje u otvorenoj razvodnoj mreži, nužna je upotreba uzvodnoga kontrolnog sustava. Tada je potrebno prilagoditi ovaj način pogona na pogon u rotaciji ili turnusu u nekim dijelovima sustava.

Korisnik vode ovog načina pogona natapanja slobodan je koristiti se svojim ispustom u svako vrijeme. Količina je vode na ispustu određena prema veličini parcele i potrebama biljke za vodom. Ona je uvijek veća od hidromodula natapanja, izračunatoga na osnovi 24 sata za maksimalni protok tako da korisnik ima određeni stupanj slobode u upravljanju natapanjem.

Odnos između količine vode na ispustu i hidromodula jest mjera "stupnja slobode". Različitost poljodjelskih situacija pokazuje velike razlike u stupnjevima slobode u praksi:

-visoki stupanj slobode: male obiteljske parcele, niske potrebe za vodom, niska razina investicija u opremu za natapanje

-nizak stupanj slobode: velike parcele, dovoljno radne snage, visoka razina investicija u opremu za natapanje.

Obično se količina vode standardizira na ispustu. Na primjer, jedinice protoka mogu biti 7,5 - 15 - 30 - 50 - 75 - 100 m<sup>3</sup>/sat.

Te se količine određuju i mjere regulatorom protoka.

#### 4.4.2. Clémentova metoda za proračun protoka

##### 4.4.2.1. Uvod

Nakon utvrđivanja karakteristika mreže: lokacija ispusta, protok ispusta i približni situacijski raspored počinje se definirati protok svake dionice (između dvaju čvorova) mreže. Pri raspodjeli vode na zahtjev, kapacitet svakog ispusta znatno premašuje potrebe. Trajanje je istjecanja vode znatno ispod 24 sata svakog dana. Mala je vjerojatnost da će svi ispusti biti otvoreni u isto vrijeme i nije preporučljivo dimenzionirati mrežu na protok koji je jednak zbroju kapaciteta ispusta. Zato se koristi prilaz određivanja protoka u mreži uzimajući u obzir vjerojatnost istovremenog rada ispusta. Metodu je razvio Clément (1966.)

##### 4.4.2.2. Opis metode

Promotrimo dionicu mreže i pretpostavimo da nizvodni dio ima  $R$  ispusta, svaki kapaciteta  $m$ . Najveći protok u dionici dogodit će se u vrijeme najveće potrebe za vodom pa vrijede ovi uvjeti:

- trajanje maksimuma:  $T$  (mjesec ili 10-dnevni maksimum)
- trajanje rada mreže:  $T'$  (u vrijeme maksimuma)
- koeficijent korištenja mreže:

$$r = \frac{T'}{T} \quad (r < 1) \quad (4.6)$$

- protok u dionici mreže, određen na temelju kontinuiranog načina rada:  $D$
- Srednje je vrijeme rada ispusta, trajanja istjecanja:

$$t' = \frac{D \cdot T}{m \cdot R} \quad (4.7)$$

Frekvencija ( $F$ ) ili vjerojatnost ( $p$ ) rada pojedinog ispusta:

$$\frac{1}{F} = p = \frac{t'}{T'} = \frac{t'}{r \cdot T} = \frac{D}{r \cdot m \cdot R} \quad (4.8)$$

Vjerojatnost, u uzorku od  $R$  ispusta, da je bilo koji ispust otvoren ( $p$ ) ili zatvoren ( $q$ ) jest:  $1-p$ .

Broj je otvorenih ispusta varijacija s binomnom raspodjelom, sa srednjom vrijednosti  $R \cdot p$  i varijancom  $R \cdot p \cdot q$ .

Vjerojatnost ( $P_q$ ) da od ukupnog broja ispusta  $R$  simultano radi  $N$  ispusta, jest:

$$P_q = \sum_{i=1}^{i=N} C_R^i p^i q^{R-i} \quad (4.9)$$

gdje je:

$C_R^i$  - broj kombinacija od R objekata ako i objekata radi u isto vrijeme

Kada je broj ispusta R dovoljno velik, može se dokazati da binomna distribucija približno postaje normalna ili Gaussova distribucija.

Dalji teoretski proračun izlazi iz okvira ovog poglavlja pa se u nastavku obrađuje praktična metoda proračuna.

Uvodi se parametar "kvalitete pogona" (F), koji se definira kao vjerojatnost da količina potrebne vode ne premaši vrijednost kapaciteta mreže Q. Normalna je vjerojatnost funkcioniranja mreže 95 %, a u strožim zahtjevima i 99 %. Faktoru F odgovara parametar U, uveden za praktične račune:

F (%)	U
70	0,525
80	0,842
90	1,282
95	1,645
99	2,324
99,9	3,090

Protok dionice koji osigurava kvalitetu pogona F, računa se po izrazu:

$$Q = \frac{D}{r} \left( 1 + U \sqrt{\frac{m \cdot r}{D} - \frac{I}{R}} \right) \quad (4.10)$$

#### 4.4.2.3. Normalne vrijednosti parametara

##### a) koeficijent korištenja mreže (r)

Ovaj koeficijent nema stvarnoga fizikalnog značenja. Ima karakter faktora sigurnosti. Vrijednost koeficijenta utvrđuje se na temelju rada sustava: 16 ili 18 sati pa je vrijednost  $r=0,667$  i  $r=0,75$ .

##### b) koeficijent pogona (F)

Uobičajene su vrijednostitog parametra 0,99 ili 0,95.

##### Određivanje protoka za kontinuirano tečenje

Za primjenu je gornje metode proračuna potrebno poznavati vrijednost kontinuiranog protoka (D) u mreži nizvodno od proračunske dionice. Vrijednost D može se odrediti:

- ako je identična sjetvena struktura na natapnoj površini. Natapni hidromodul q (l/s/ha) određuje se na temelju zastupljenosti pojedinih kultura.
- ako je intenzitet sjetve identičan na površini, tada odnos (K) neto i bruto natapne površine vrijedi za sve dijelove mreže.

Kontinuirani je protok  $D$  u promatranoj dionici funkcija bruto površine nizvodno od dionice:

$$D = q \cdot K \cdot P_b \quad (4.11)$$

#### 4.4.2.4. Komparativni proračun protoka za pogon u turnusu i na zahtjev

##### a) Podaci

- natapni sustav ima ukupnu površinu (bruto) od 1000 ha
- hidromodul natapanja:  $q=0,75$  l/s/ha
- modul:  $m=8$  l/s
- broj ispusta: 1 ispušt po 1 ha
- račun protoka provodi se za:
  - 1) način pogona u turnusu (rotaciji), radno vrijeme 24 sata na dan
  - 2) način pogona na zahtjev, s ovim podacima:

$$(F)=95\%, U=1,645, r=0,67$$

Računa se da cjevovodi opskrbljuju površine  $P_i$ :

- $C_1$  opskrbljuje površinu  $P_1=1000$  ha
- $C_2$  opskrbljuje površinu  $P_2=100$  ha
- $C_3$  opskrbljuje površinu  $P_3=20$  ha
- $C_4$  opskrbljuje površinu  $P_4=5$  ha
- $C_5$  opskrbljuje površinu  $P_5=2$  ha

Pretpostavlja se da su ispunjeni uvjeti za primjenu metode Clémenta.

##### b) raspodjela vode u turnusu (rotaciji)

- površina koja se natapa modulom:

$$p_m = \frac{m}{q} = \frac{8}{0,75} = 10,65 \text{ ha}$$

Dovod	Površina (ha) ili broj ispusta R	Proračunski protok $D=P \cdot q$		Usvojeni protok $D_u$	
		Broj modula	l/s	Broj ispusta u istovremenom pogonu	protok (l/s)
$C_1$	1000	93,7	750	94	752
$C_2$	100	9,4	75	10	80
$C_3$	20	1,87	15	2	16
$C_4$	5	0,47	3,75	1	8
$C_5$	2	0,19	1,50	1	8

c) raspodjela vode na zahtjev

Ako u izraz (4.10) uvrstimo:

$$n_1 = \frac{D}{m \cdot r} \quad (n_1 < R),$$

gdje je  $n_1$  srednji broj ispusta koji rade istovremeno, dobijemo:

$$Q = \frac{D}{r} \left( I + U \sqrt{\frac{I}{n_1} - \frac{I}{R}} \right) \quad (4.12)$$

$$n_1 = \frac{D}{r \cdot n} = \frac{q}{r \cdot n} P = \frac{0,75}{0,67 \cdot 8} P = 0,14 P$$

Kako je broj ispusta  $R=P$ , izraz (4.12) postao je:

$$Q = \frac{D}{0,67} \left( I + 1,645 \sqrt{\frac{I-0,14}{0,14}} \sqrt{\frac{I}{P}} \right)$$

ili

$$Q = D \left( \frac{I + 4,08 \cdot P^{-\frac{1}{2}}}{0,67} \right) \quad (4.13)$$

Dionica	Površina (ha)	Protok D (rotacija) (l/s)	Proračunski protok (4.13)		Usvojeni protok		100(Q-D)/D (%)
			$n_1$	Q (l/s)	Br. ispusta u pogonu	Q (l/s)	
C <sub>1</sub>	1000	750	140	1270	159	1272	69
C <sub>2</sub>	100	75	14	158	20	160	100
C <sub>3</sub>	20	15	2,80	43	6	48	200
C <sub>4</sub>	5	3,75	0,70	15,85	2	16	100
C <sub>5</sub>	2	1,50	0,28	8,70	2	16	100

d) Zaključak

Vidi se da je pri distribuciji po zahtjevu povećanje protoka značajno, za neke dionice i vrlo veliko. Povećanje za dionicu C<sub>3</sub>, koja opskrbljuje površinu od 20 ha, iznosi 200 %, što upućuje na prilagodbu načina raspodjele vode na tom dijelu sustava.



#### 4.5. ODREĐIVANJE PROTOKA U KONTINUIRANOM NAČINU POGONA

U razvodnom sustavu s kontinuiranim načinom pogona na svakom ispustu na parceli raspoloživa je količina vode jednaka ili nešto veća od potreba biljaka u vrijeme najveće potrošnje. Svaki korisnik natapanja organizira vlastitu internu rotaciju raspodjele vode prema potrebi. Ako sektor sadrži male parcele, taj način nije pogodan jer raspoloživi kapacitet na ispustima može biti nedovoljan. Tada korisnik mora investirati u izgradnju vodospreme.

Taj način raspodjele vode može se jednako primijeniti na otvorene kanale ili mrežu pod tlakom. Protok dionice dobije se zbrajanjem od nizvodnoga prema uzvodnom dijelu mreže. Kanali ili cjevovodi opskrbljeni su vodom kontinuirano i njihove su dimenzije minimalne.

## LITERATURA

1. Ankum, P.: Canal Storage and Flow Control Methods. 15th Congress ICID, Vol. 1-B, R51. The Hague, 1993.
2. Clément, M.R.: Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionnant à la demande. Les études du STCH, Paris, 1966.
3. FAO: Organisation, Operation and Maintenance of Irrigation Schemes. FAO I. and D. Pap. 40. Rome, 1986.
4. FAO: Design and Optimization of Irrigation Distribution Networks. FAO I. and D. Pap. 44. Rome, 1988.
5. Gereš, D.: Glavne građevine sustava za natapanje. Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. kolo - natapanje, knjiga 4. Rijeka, 1995.
6. Ollier, Ch. et Poirée, M.: Irrigation. 6.ed. Eyrolles, Paris, 1983.



## 5. PROJEKTIRANJE I OPTIMALIZACIJA MREŽA POD TLAKOM

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

### 5.1. UVOD

U ovom i sljedećem poglavlju obrađuje se problem izbora dimenzija i tehničkih značajki različitih elemenata mreže koji svi zajedno čine natapni sustav za dovod natapne vode od izvorišta do natapnih polja, odnosno ispusta na parcele.

U planiranju pojedinih građevina i natapnih sustava u cjelini, javlja se problem određivanja kapaciteta pojedinih dijelova građevina, položaja cjevovoda i položaj (trasa) i konfiguracija sustava u cjelini. Primjenjujući suvremena dostignuća znanosti i tehnologije u obradi podataka, može se pronaći optimalno ili optimalna rješenja za pojedine elemente, a i za sustav u cjelini.

Pomoću metoda sustavne analize i operativnog istraživanja proračunavaju se optimalne duljine i konfiguracije trase, promjer, odnosno presjek pojedinih cjevovoda, optimalne visine crpljenja i volumen vodosprema i akumulacija. U nastavku ćemo u vrlo sažetom obliku prikazati neke od tih postupaka.

### 5.2. OPTIMALIZACIJA DULJINE TRASE CJEVOVODA

Preduvjet je za taj postupak razgranata mreža za razliku od često primjenjivanih prstenastih. Uostalom, nije teško dokazati da su takve mreže, pravilno dimenzionirane, u pravilu, jeftinije od prstenastih. Prstenaste mreže imaju izvjesne prednosti jedino ako se zahtijeva veća sigurnost.

Nakon što su utvrđene površine koje treba natapati, izabran način natapanja i izračunate količine vode za dimenzioniranje mreže, na situaciji se označe mjesta hidranata. Time su ujedno određene stalne točke koje natapna mreža mora povezati.

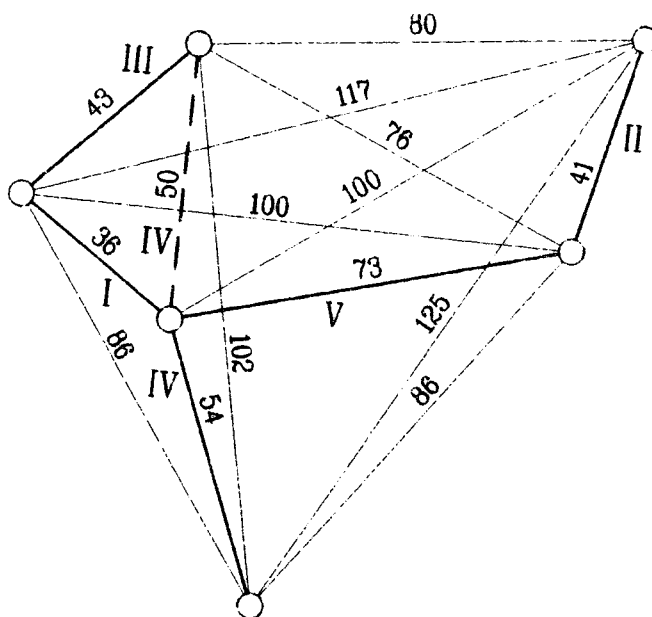
U nekim su slučajevima natapne parcele omeđene mrežom cesta, putova ili međa vlasništva pa su i trase cjevovoda zapravo već unaprijed određene bez obzira na to da li se radi o optimalnom ili o nekom drugom rješenju. Dakako, pri tome ne treba

provoditi nikakvu optimalizaciju, već trase položiti tamo gdje je prema konfiguraciji terena najprikladnije.

Ako je područje na kojem treba planirati i izgraditi natapni sustav, bez ikakve infrastrukture ("prazna ledina"), odnosno ako na tim površinama nema nikakvih hidrotehničkih i drugih građevina, određujemo trase cjevovoda koje zahtijevaju minimalne troškove. Taj postupak provodimo u nekoliko faza (koraka) optimalizacije, i to:

a) Prva faza ili prvi korak sastoji se u približnom određivanju najmanje duljine trase, a može se provesti na dva načina, i to pomoću algoritma Kruskala i algoritma Sollina.

Postupak po Kruskalu temelji se na klasičnoj teoriji grafova, a praktična primjena prikazana je na priloženoj slici 5-1.

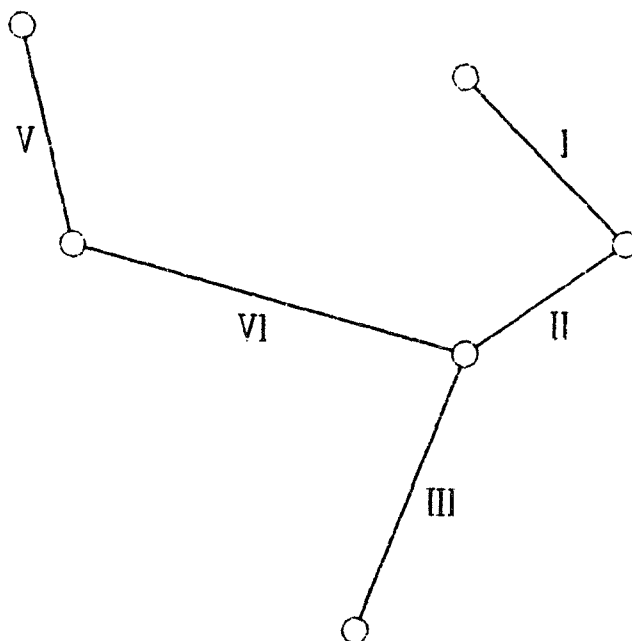


Sl. 5-1 Izbor minimalne duljine trase prema Kruskalu

Dakako, da bismo izbor mogli provesti, najprije moraju na karti, u prikladnom mjerilu, biti fiksirani hidranti, odnosno ispusti vode, koje treba spojiti cjevovodima najmanje približne duljine. Postupak se provodi od čvora (hidranta) do čvora tako da se povuku spojnice do svih ostalih čvorova i bira se najkraća, ali pod uvjetom da s ostalima, već izabranim vezama, ne zatvara krug (takav je primjer veza IV).

Ta metoda postaje dosta složena, odnosno opterećena velikim brojem računskih operacija ako primjer ima mnogo čvorova, jer broj operacija  $n$  iznosi  $n = (N^2 - N) / 2$  pa nije prikladna za praksu.

Postupak po Sollinu je mnogo jednostavniji i brži, a sastoji se u tome da se započne od bilo kojeg čvora (hidranta) mreže i povuče se najkraća veza (trasa) do prvoga susjednog čvora.

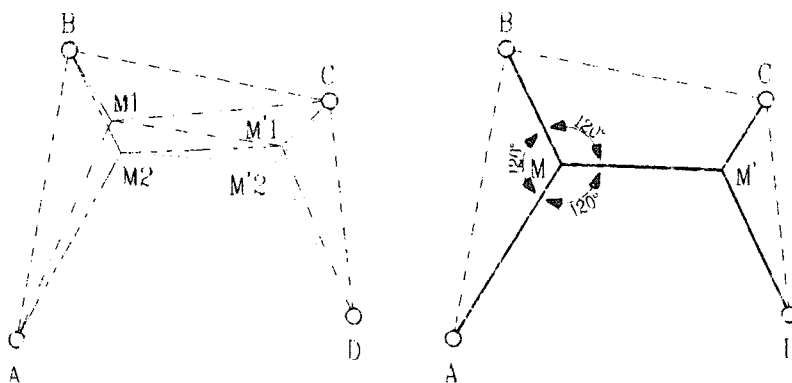
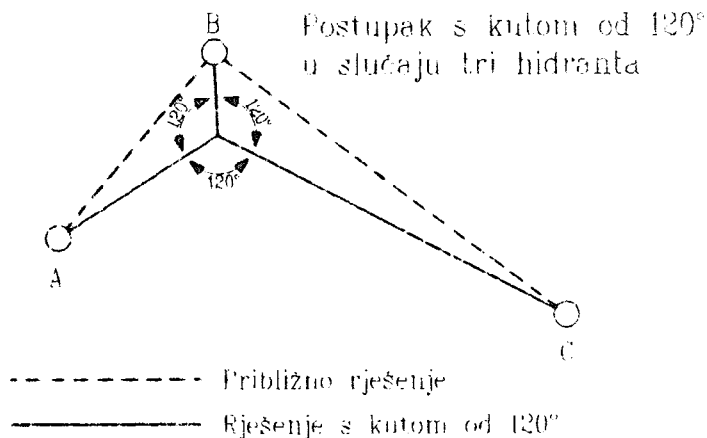


Sl. 5-2 Izbor minimalne duljine trase prema Sollinu

Zatim se prijeđe na taj čvor koji se na isti način spaja sa susjednim, itd. do kraja. Na slici 5-2 prikazan je taj postupak za isti primjer kao i u prethodnom slučaju.

b) Druga je faza tzv. metoda kutova od  $120^\circ$ . Time se zapravo postiže daljnje poboljšanje (skraćenje) trase koja je prethodno dobivena po navedenim postupcima. Sastoji se u tome da tri ili više točaka nemaju međusobnu najkraću vezu ako su neposredno spojene, već ako je ta veza izvedena pod kutem  $120^\circ$ . Dakako, to se odnosi samo na one primjere gdje je kut spojnica sa susjednim točkama manji od  $120^\circ$ .

Matematički se lako može dokazati da najkraća veza između triju točaka nisu pravci koji ih direktno spajaju, već segmenti drugih triju pravaca koji se dobiju ako iz točaka A, B, C povučemo pravce koji se spajaju u točki M pod kutom od  $120^\circ$ . Stvarajući novo središte M, tražimo položaj tog središta koji će zadovoljiti uvjet da je ukupna duljina  $MA+MB+MC$  minimalna.



Postupak s kutom od  $120^\circ$  za slučaj četiri hidranta

Sl. 5-3 Optimalizacija metode kutova od  $120^\circ$  za tri i četiri točke

Označimo s  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  jedinične vektore za MA, MB i MC, a s  $d\vec{M}$  elementarni pomak točke M. Ako je položaj točke M optimalan, onda mora biti:

$$d(MA + MB + MC) = (\vec{i} + \vec{j} + \vec{k}) \cdot d\vec{M} = 0$$

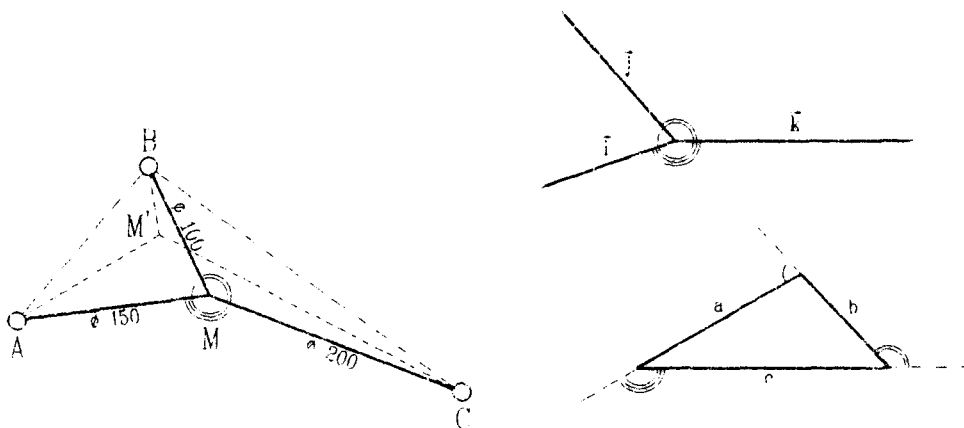
Tom će se odnosu udovoljiti za bilo koji pomak  $d\vec{M}$  za

$$\vec{i} + \vec{j} + \vec{k} = 0$$

a to odgovara jedino slučaju kada vektori  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  čine među sobom kut od  $120^\circ$ .

Točku M možemo zapravo lako pronaći ako prethodno na prozirnem papiru nacrtamo tu točku s tri pravca koji se u njoj sijeku pod kutom od  $120^\circ$ . Laganim pomicanjem papira po crtežu s čvorovima brzo ćemo naći traženo rješenje. Ako je skup od četiri čvora, postupak je sličan, ali se točka M pronalazi uvijek s po tri točke - ili s dva prozirnog papira istovremeno s pravcima na  $120^\circ$ .

c) Treća faza, ili tzv. faza ekonomske duljine trase, daljnje je poboljšanje trase. Naime, iako je izbor trase po metodi kutova od  $120^\circ$  geometrijski najpovoljnije rješenje, već na prvi pogled se može uočiti, da to ne mora biti i gospodarski optimalno.



Dionica	Promjer	Jedinična cijena
MB	100	200
MA	150	300
MC	200	400

- ..... Približno rješenje
- Rješenje s kutom od  $120^\circ$
- Rješenje uz minimalne troškove

Sl. 5-4 Primjer usporedbe duljine trase za sve tri faze optimalizacije



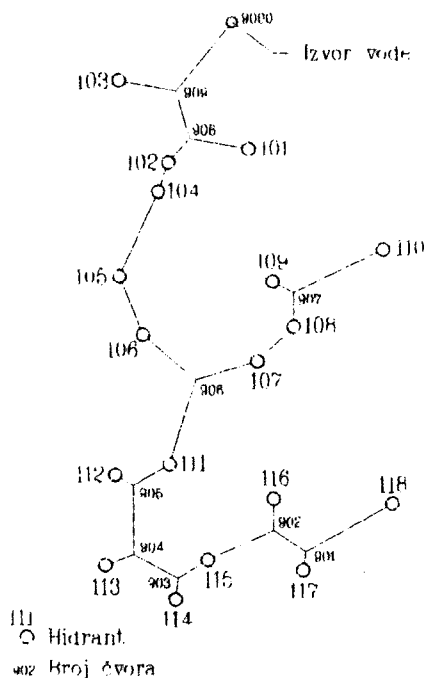
Naime, što su veće razlike u promjerima cjevovoda, to će se u postupku optimalizacije manji profili nešto produljiti, a veći skratiti kako bi troškovi bili minimalni. Dakako, pri tome će se ranije određeni (usvojeni) kutovi u čvorištu nešto izmijeniti.

Uzimajući ponovno u razmatranje slučaj s tri točke A, B i C, u ponovljenoj analizi dobit ćemo novo središte M'. Dakako, za taj proračun moramo prethodno izračunati dimenzije cijevi, a na temelju toga i jedinične troškove ugradnje. Optimalan položaj novog sjecišta pravaca M' možemo izraziti vektorskom jednažbom

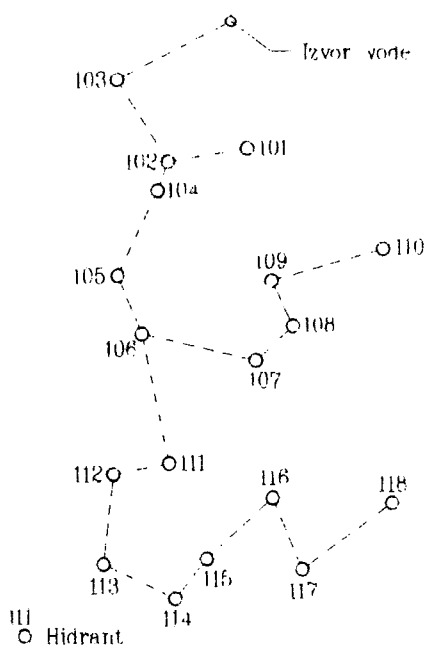
$$\vec{a}i + \vec{b}j + \vec{c}k = 0$$

gdje su a, b i c jedinične cijene cjevovoda za dionice MA, MB i MC. Zadatak se može riješiti i grafički uz pomoć trokuta sila kao što je prikazano na priloženoj slici, gdje su vrijednosti stranica označene kao a, b i c, a položaj utvrđen pomoću prozirnog papira kao u ranijim primjerima.

Uočljivo je da je položaj trase po toj trećoj - ekonomskoj - fazi, veoma sličan metodi kutova od 120°, donekle izmijenjenoj zbog utjecaja cijena cjevovoda.



Rješenje pod kutom od 120°



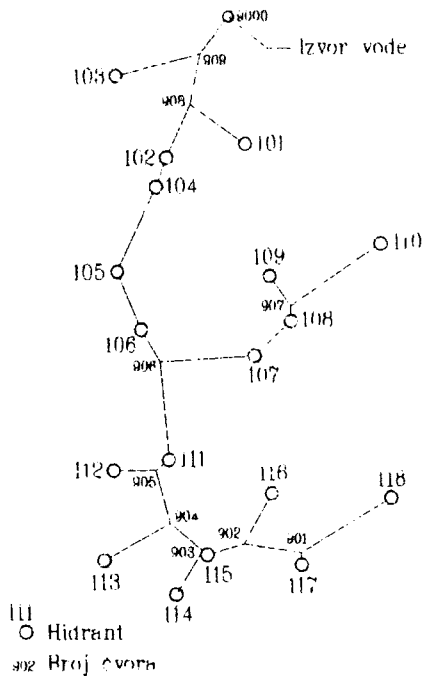
Približno rješenje

Sl. 5-5 Primjer usporedbe trase po Sollinu i kutevima od 120°

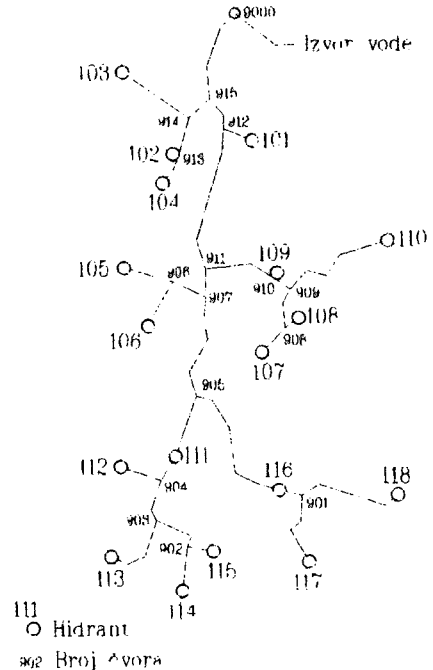
Određivanje optimalnog presjeka cjevovoda i pripadnih troškova za svaku dionicu, što je ovdje nužno poznavati, razmotrit će se u sljedećoj točki.

Prema iskustvima primjene te metode u južnoj Francuskoj (sustav Bas-Rhône Languedoc), postupci optimalizacije duljine trase mogu donijeti uštede do 10 % troškova ugradnje cjevovoda. Slijedom toga, preporučuje se provesti te analize optimalizacije samo za cjevovode promjera 400 mm i veće, koji u skolpu cijelog predračuna, inače, čine najveću stavku.

Radi zornijeg prikaza utjecaja i značaja pojedine opisane metode na položaj i veličinu trase cjevovoda nekoga natapnog sustava, na slikama 5-5 i 5-6 daju se rješenja svih opisanih metoda za jedan konkretan slučaj, i to za veličinu natapnog sustava od svega 240 ha realiziranoga u južnoj Francuskoj. Kao što se vidi, na slikama su dana rješenja za približnu metodu (Sollin), metodu kutova od  $120^\circ$ , određivanje duljine na temelju ekonomskih kriterija te trasu koja je poštivala lokalne značajke (međe parcela, putove i sl.).



Rješenje uz minimalne troškove



Rješenje prilagođeno terenu

Sl. 5-6 Primjer usporedbe trase prema ekonomskim kriterijima i lokalnim uvjetima

Ovo su rezultati analize (sve su relativne vrijednosti - u %):

- <i>duljina trase</i>	
prema postupku Sollina	105,9
prema kutovima od 120°	100,0
prema ekonomskim kriterijima	104,6
prema lokalnim značajkama	126,9
- <i>troškovi gradnje mreže</i>	
prema postupku Sollina	-
prema postupku od 120°	108,2
prema ekonomskim kriterijima	100,0
prema lokalnim značajkama	107,6

### 5.3. OPTIMALIZACIJA PROMJERA CJEVOVODA

#### 5.3.1. Općenito

Nakon što smo, prema prethodno prikazanim postupcima utvrdili optimalan položaj trase i to fiksirali na mapi, pristupimo pripremama za proračun gospodarski optimalne veličine presjeka cjevovoda.

Da bismo mogli pristupiti ovom dijelu analize, tj. da bismo mogli odrediti promjere cjevovoda kod kojih će ukupni pogonski troškovi biti minimalni, moramo prethodno provesti neke proračune i prikupiti određene podloge. Naravno, gledano samo sa stajališta tehničke mogućnosti dobave vode kroz određeni promjer cjevovoda, svaki takav promjer ima, teoretski gledano, bezbroj rješenja.

Slijede podaci potrebni za taj postupak:

a) *Konačna trasa mreže i dužine svake dionice.*

b) *Mjerodavni (maksimalni) protok za svaku dionicu.*

Pri tome treba imati na umu vrstu natapanja koja će se u pogonu prakticirati. Naime, pri natapanju na zahtjev ne poštuje se klasičan "princip čvorova", tako da je, po pravilu, zbroj protoka dionica nizvodno od čvora, veći od protoka uzvodne dionice. Režim protoka koji služi kao osnova proračuna, ima fiktivan karakter.

c) *Veličina najnižega dopustivog tlaka (kota pijezometarske linije) na svakom hidrantu, odnosno ispustu.*

d) *Raspoloživa veličina tlaka na ulaznom čvoru mreže.*

e) *Realni troškovi izgradnje za svaki promjer cjevovoda.*

To znači da nabavnoj cijeni cijevi treba dodati cijenu fazonskih komada i opreme, troškove montaže, zemljanih radova, građevina na mreži i slično. Treba istaknuti da troškovi oko ugradnje cijevi s pripadnim priborom variraju ovisno o promjeru, ali mogu dostići i do 40 % ukupnih troškova.

Kod velikih natapnih sustava, gdje se pojavljuje velik broj mogućih jediničnih cijena za cjevovode dobro je ovu materiju statistički obraditi i rezultate izraziti analitički i/ili grafički u obliku ovisnosti troškova ugradnje o nekim bitnim parametrima cjevovoda. Tako statistička analiza, s pomoću teorije najmanjih kvadrata, omogućuje postavljanje sljedećeg izraza za proračun ukupnih troškova po dužinskom metru cjevovoda:

$$P = A + A' D^{\beta},$$

gdje je:

- P - ukupan trošak tekućeg metra cjevovoda  
 D - promjer cjevovoda u mm  
 A, A',  $\beta$  - koeficijenti koji se određuju analizom

*f) Minimalne i maksimalne dopustive brzine u cjevovodima.*

Definiranje minimalnih brzina toka vode u cjevovodima ne spada u tehnički obvezatan preduvjet za postupak optimalizacije, ali ta mjera omogućuje da se skрати postupak računanja i da se brže dođe do rezultata. Njome se, u stvari, ograničava gornja vrijednost veličine promjera koja bi se mogla primijeniti.

Utvrdjivanje granica brzina, s druge će strane, omogućiti analizu mogućeg smanjenja cijevi (smanjenje troškova) u skladu s raspoloživim tlakom, imajući na umu da su ukupni troškovi pogona minimalni.

S tim u vezi, u literaturi nailazimo na veći broj izraza i tablica te propisa i standarda nekih zemalja i nekih većih hidrotehničkih sustava, odnosno kompanija. Primjera radi, u nastavku navodimo vrijednosti kojima se u svojim projektima koristi društvo Canal de Provence.

Promjer (mm)	Minimalna brzina (m/s)	Maksimalna brzina (m/s)
100	0,20	1,80
125	0,25	1,85
150	0,25	1,95
200	0,35	2,05
250	0,40	2,15
300	0,40	2,25
350	0,50	2,30
400	0,50	2,50
450	0,50	2,85
500	0,50	2,85
600	0,50	3,10
700	0,50	3,10
800	0,50	3,10
900	0,50	3,10
1000	0,50	3,10

## g) Proračun hidrauličkih gubitaka

Za proračun hidrauličkih gubitaka u cjevovodima danas stoji na raspolaganju veći broj formula i metoda, ali se najčešće upotrebljava Colebrookov izraz, koji je, međutim, za učestale proračune dosta neprikladan, pa su Lechapt i Colmon predložili njegovu verziju u novom obliku, i to:

$$i = \frac{L \cdot Q^M}{D^N} \quad (mm/m)$$

gdje je:

Q - protok m<sup>3</sup>/s

D - promjer u m

L, M, N - parametri ovisni o apsolutnoj hrapavosti K

Gubici izračunati po ovom izrazu ne odstupaju više od 3 % od vrijednosti dobivenih po originalnoj Colebrookovoj formuli, pa ga je Ministarstvo poljoprivrede Francuske preporučilo za primjenu.

Za uobičajene vrijednosti apsolutne hrapavosti K, parametri gornje formule su sljedeći:

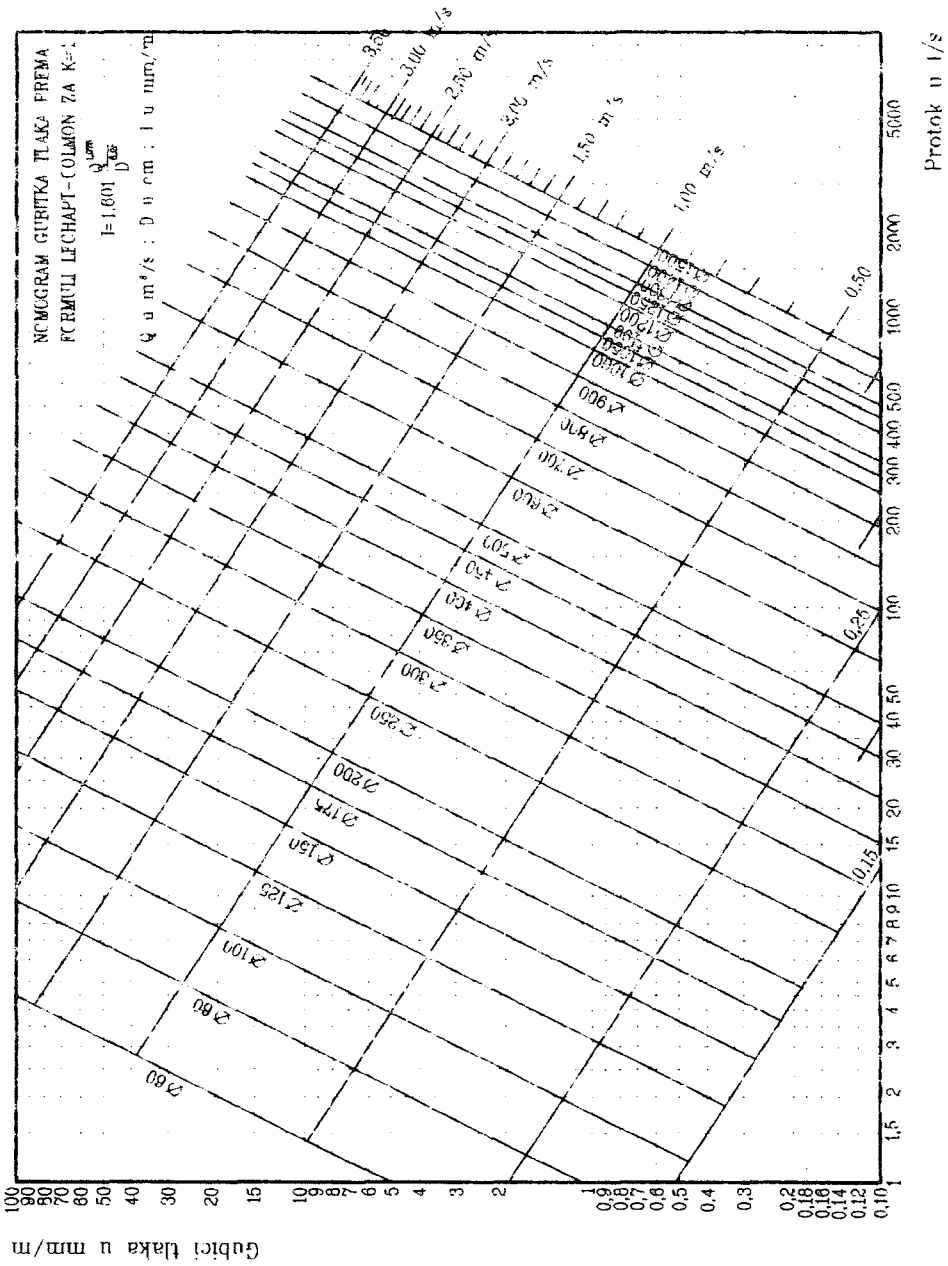
K (mm)	L	M	N
0,5	1,40	1,96	5,19
1,0	1,601	1,975	5,25

Uobičajeno je da se ovako izračunatim linijskim gubicima doda i 10 % od dobivenih vrijednosti za lokalne gubitke.

Uočljivo je da su za hrapavost primijenjene relativno visoke vrijednosti jer se htijelo voditi računa o budućem stanju cjevovoda, odnosno o starenju.

Na slici 5-7 dan je nomogram za brzo određivanje gubitaka po toj metodi.

Za praktično provođenje postupka optimalizacije promjera cjevovoda predloženo je više metoda, ali se danas najviše primjenjuje postupak M. Labyea, koji je točan, elegantan i veoma prikladan za proračun s pomoću elektroničkih računala. Po toj će se metodi u natavku dati kratak prikaz proračuna, ne ulazeći pri tome u njeno matematičko dokazivanje.



Sl. 5-7 Nomogram za određivanje gubitaka tlaka po formuli Lechapt i Colmon za  $K=1$  mm

### 5.3.2. Izrada karakterističnih krivulja

Radi pojednostavljenja prikaza te metode za optimalizaciju promjera cjevovoda, najprije će se dokazati da za bilo koju veličinu gubitka tlaka, najniža cijena dionice dobiva se kada se ne primijene više od dvije vrste (dva promjera) cijevi koje su prikladne za tu dionicu.

Pretpostavimo da je neka dionica ( $n$ ) sastavljena od cijevi triju različitih promjera, a njihove su dužine  $x_1$ ,  $x_2$  i  $x_3$ .

Dakle imamo:

$$\text{- dužinu dionice} \quad L(n) = x_1 + x_2 + x_3,$$

$$\text{- gubitke tlaka dionice} \quad H(n) = i_1 x_1 + i_2 x_2 + i_3 x_3,$$

$$\text{- cijenu dionice} \quad P(n) = p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3.$$

Za zadanu dužinu dionice i gubitak tlaka, ima neizmjereno mnogo rješenja koja mogu zadovoljiti prve dvije jednažbe, a cijena dionice mijenjat će se ovisno o rješenju. Eliminiranjem  $x_2$  i  $x_3$  u prednjim jednažbama, može se dobiti ovaj odnos:

$$P(n) = A \cdot x_1 + B,$$

gdje su  $A$  i  $B$  konstante neovisne od  $x_1$ ,  $x_2$  i  $x_3$ , ali ovisne o jediničnom gubitku tlaka.

Budući da je  $P(n)$  linearna funkcija  $x_1$ , moguće je varirati vrijednost od  $x_1$  na taj način da se smanji vrijednost  $P(n)$  sve dok je  $A$  veće od nule, ili, drugim riječima, sve dok jedna od dužina  $x_1$ ,  $x_2$  ili  $x_3$  nije jednaka nuli. Kada jedna od tih veličina postane nula, rješenje je nađeno time što se cjevovod sastoji od samo dvaju promjera, a njegova je cijena manja od rješenja s tri promjera.

Cijena složenog cjevovoda od dvaju promjera ne može se smanjiti kada su  $L(n)$  i  $H(n)$  zadani jer odnosi:

$$L(n) = x_1 + x_2$$

$$H(n) = i_1 x_1 + i_2 x_2$$

određuju vrijednosti  $x_1$  i  $x_2$ .

Ima samo jedno rješenje, čija je cijena utvrđena odnosom

$$P(n) = p_1 x_1 + p_2 x_2$$

To je rješenje prikazano na priloženoj slici 5-8, na kojoj cjevovod 1 ima promjer  $D_1$  na čitavoj dionici ( $n$ ). Cijena tog cjevovoda jest:

$$P_1 = p_1 L(n),$$

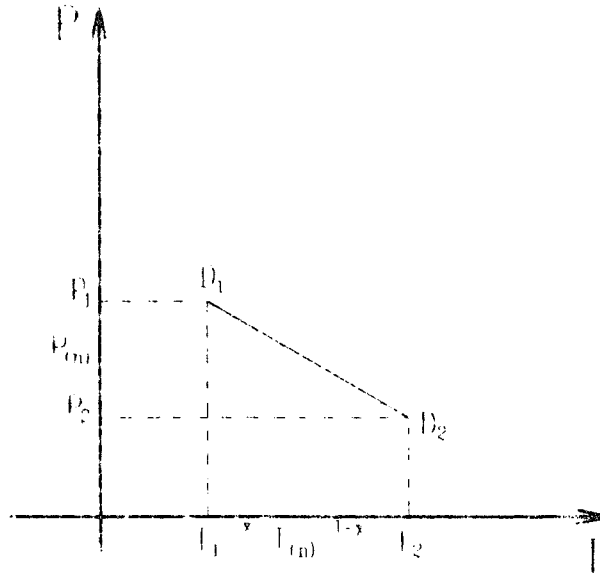
a gubitak tlaka

$$H_1 = i_1 L(n)$$

Na jednak način, cjevovod 2 ima promjer  $D_2$ , a gubitak tlaka  $H_2$ , a prikazan je na slici točkom  $D_2$ .

Prema tome dopustivi gubitak tlaka  $H(n)$  nalazi se između  $H_1$  i  $H_2$  pa se dionica sastoji od:

- dužine  $x$  promjera  $D_1$ , i
- dužine  $l-x$  promjera  $D_2$



Sl. 5-8 Minimalna cijena složene dionice

Dakle, minimalna cijena dionice jest

$$P(n) = x \cdot P_1 + (1-x) \cdot P_2$$

Gubitak tlaka dionice jest

$$H(n) = x \cdot H_1 + (1-x) \cdot H_2$$

gdje je  $x$  u % dužina cjevovoda 1, a  $(1-x)$  u % dužina cjevovoda 2.

Slijedom navedenoga može se izabrati rješenje razmatrane dionice s promjerom  $D_1$  na dužinu  $x$  dionice i  $D_2$  na dužinu  $(1-x)$ , pa je

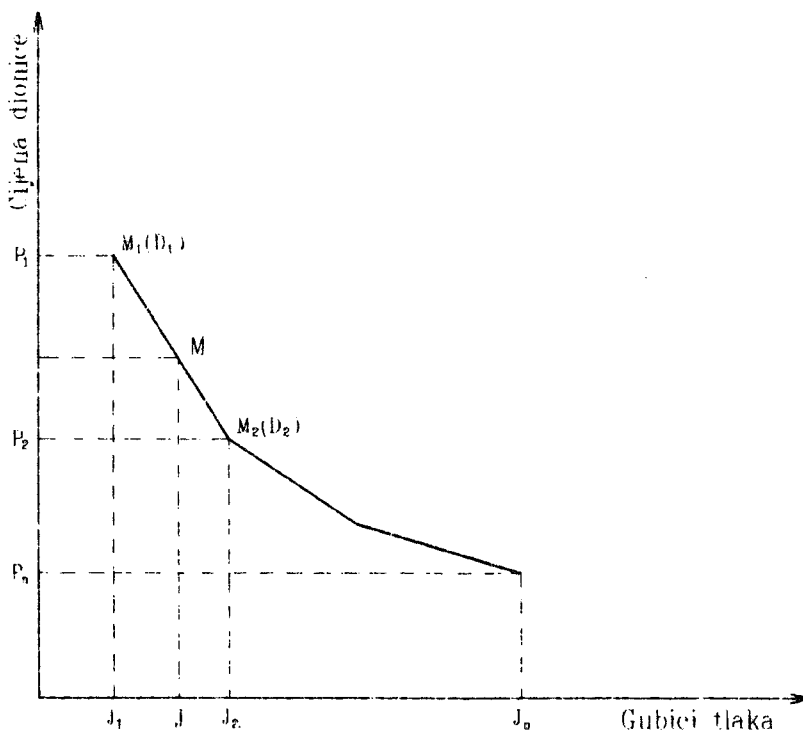
$$x = \frac{H_2 - H}{H_2 - H_1} L(n)$$

$$1-x = \frac{H - H_1}{H_2 - H_1} L(n)$$



Ističe se, da prema praktičnom iskustvu, 90 % dionica sastavljeno je od samo jednog promjera cijevi, a ostalo su složene dionice od dva promjera, uglavnom ugrađena na krajevima.

Dakle, kao što je već spomenuto, postupak optimalizacije počinje izradom tzv. karakterističnih krivulja za svaku dionicu, tj. za cjevovod između dvaju čvorova (hidranta). Ta je karakteristična krivulja, zapravo, ovisnost između hidrauličkih gubitaka određenog promjera cjevovoda (kota pijezometarske linije) i njegove cijene koštanja, kao što se vidi na priloženoj slici.



Sl. 5-9 Karakteristična krivulja neke dionice

Za poznati protok  $q$  neke dionice izračuna se najprije promjer cijevi koji odgovara maksimalno dopustivoj brzini toka, a u skladu s ranije prikazanom tablicom za tu namjenu. Cijena koštanja takva cjevovoda izračuna se na temelju već ranije izrađenog cjenika. Sada se fiksira na koordinatnom sustavu i dobiva se točka  $M_1(D_1)$ . Nakon toga bira se prvi sljedeći normirani promjer i postupak se ponavlja te se dobiva točka  $M_2(D_2)$  itd. sve do promjera koji daje minimalnu brzinu.

Kada smo tako izračunali i nacrtali karakteristične krivulje (negdje to zovu "donje anvelopne krivulje najnižih troškova") za sve dionice, tj.  $P_i(H_i)$ , onda se problem optimalizacije svodi na pronalaženje raspodjele hidrauličkih gubitaka  $I_i$  u mreži tako da su ukupni troškovi izgradnje mreže minimalni, tj. mora se zadovoljiti uvjet da je:

$$\sum_i P_i(H_i) = \min.$$

uz ograničenje da je:

$$\sum H_i \leq Z_0 - Z_k,$$

što znači da tlak na svakom hidrantu ne smije biti niži od minimalnoga, koji je ranije utvrđen.

Ovdje treba istaknuti da su značajke karakterističnih krivulja sljedeće:

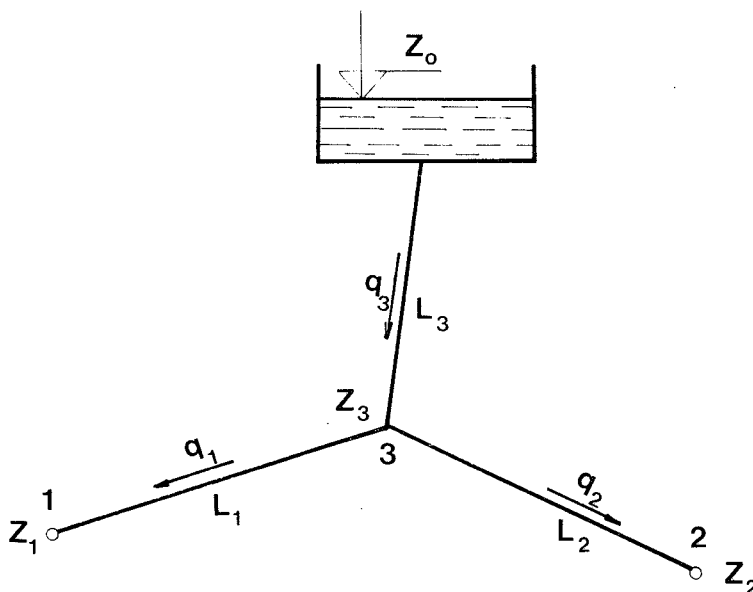
- to su poligonalne krivulje kod kojih se svaka prijelomna točka odnosi na određeno stanje dionice sa samo jednim promjerom cjevovoda, i gdje svaka točka neke trake predstavlja stanje mogućeg izbora spoja dvaju sukcesivnih promjera cjevovoda.

- to je konkavna krivulja koja se sastoji od skupa segmenata s nagibom koji se postupno smanjuje.

### 5.3.3. Računski primjer

Kao što je već navedeno, osnovna nepoznanica koju treba definirati, jest raspodjela I, iz čega će se utvrditi promjeri.

Da bismo što zornije obrazložili i dokazali praktičnu primjenu te metode, u nastavku ćemo izraditi jedan jednostavan primjer od triju dionica i dvaju hidranata, koji se opskrbljuju iz vodospreme koja se nalazi na koti  $Z_0$  (sl. 5-10).



Sl. 5-10 Shema za računski primjer

Zadani su ovi podaci:

$$L_1 = L_2 = 800 \text{ m} \quad Z_1 = Z_2 = 40 \text{ m} \quad ; \quad Z_0 = 55 \text{ m}$$

$$L_3 = 1100 \text{ m} \quad q_1 = 25 \text{ l/s} \quad ; \quad q_2 = 35 \text{ l/s} \quad ; \quad q_3 = 60 \text{ l/s}$$

Gubitak tlaka računat ćemo po ranije predloženoj formuli, koja će za te konkretne uvjete glasiti:

$$i = \frac{1,601 \cdot Q^{1,975}}{D^{5,25}}$$

Dopustive brzine jesu: minimalna 0,5 m/s, maksimalna 2,0 m/s.

Troškovi izgradnje cjevovoda po m' u kunama:

D u mm	P u kunama/m'
150	555
200	740
250	925
300	1110
350	1295
400	1480

#### Dionica 1

Proračun počinjemo za dionicu 1, i to od najvećeg promjera (najmanje brzine) na niže.

Za  $q=25$  l/s, uz  $v=0,5$  m/s, imamo  $D=250$  mm, i  $i=1,6$  mm/m, odnosno za  $L_1=800$  m imamo:

$$H_1 = 800 \cdot 0,0016 = 1,28 \text{ m},$$

pa će cijena dionice biti:

$$P_1 = 925 \cdot 800 = 740.000 \text{ kuna}$$

Sada nastavljamo proračun za sljedeći, manji standardni promjer, tj. za  $D=200$  mm. Na isti način kao i prije za:  $q=25$  l/s,  $D=200$  mm dobivamo  $v=0,8$  m/s,  $i=5$  mm/m, odnosno za  $L_1=800$  m imamo:

$$H_1 = 800 \cdot 0,005 = 4,0 \text{ m},$$

pa će cijena dionice biti:

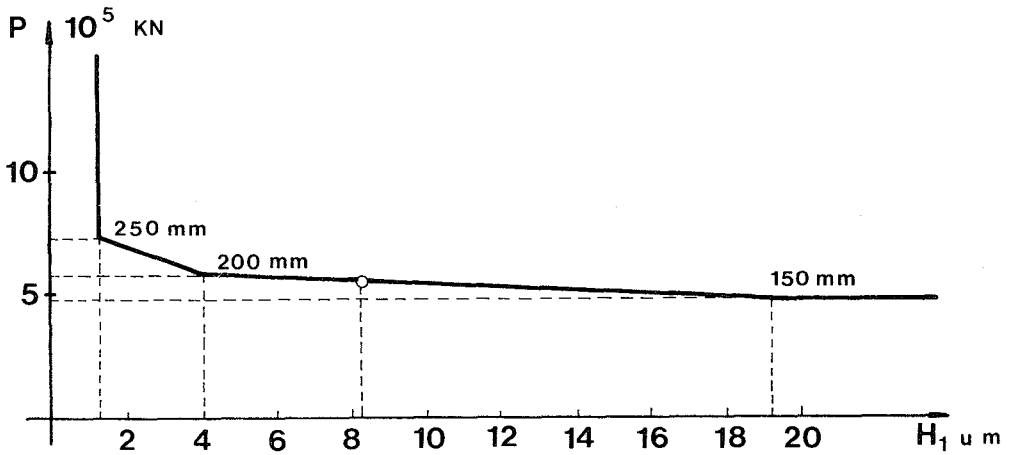
$$P_1 = 740 \cdot 800 = 592.000 \text{ kuna},$$

što nanesimo na dijagram  $P_1 (H_1)$ .

I, konačno, provedemo isti proračun za  $D=150$  mm, pa ćemo za  $q=25$  l/s i  $D=150$  mm dobiti  $v=1,4$  m/s i  $i=24$  mm/m. Za  $L_1=800$  m imamo:

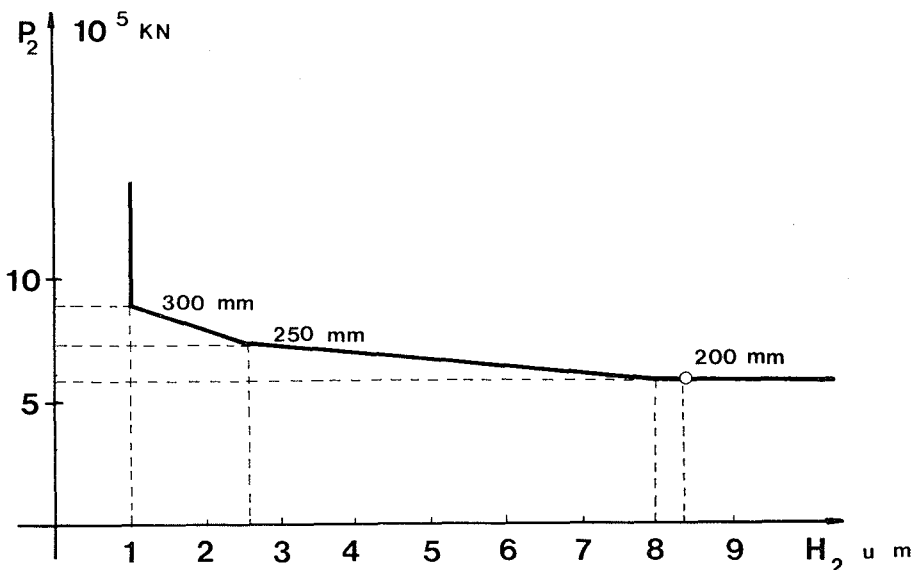
$$H_1 = 800 \cdot 24 = 19,2 \text{ m},$$

$$P_1 = 555 \cdot 800 = 444.000 \text{ kuna}$$

Sl. 5-11 Karakteristike dionice 1,  $P_1(H_1)$ 

Karakteristične krivulje za svaku dionicu produžuju se:

- s lijeve strane jednom vertikalnom crtom, čime označavamo da povećanje promjera ne dolazi u obzir kako bi se smanjili gubici, jer su već uzeti u obzir minimalni mogući (po propisima)
- s desne strane vodoravnom crtom, kako bismo naznačili da smanjenje promjera ne donosi uštede jer će višak tlaka ionako biti utrošen nizvodno na organima raspodjele i ispusta (nije potreban).

Sl. 5-12 Karakteristike dionice 2,  $P_2(H_2)$

Na jednak način izradit ćemo dijagrame za dionice 2 i 3.

*Dionica 2*

Zadano:  $q_2=35$  l/s;  $L_2=800$  m.

Za  $D=300$  mm  $v=0,5$  m/s,  $i=1,3$  mm/m, pa imamo:

$$H_2 = 800 \cdot 0,0013 = 1,04 \text{ m}$$

$$P_2 = 800 \cdot 1110 = 888.000 \text{ kuna}$$

Za  $D=250$  mm  $v=0,75$  m/s,  $i=3,1$  mm/m, pa imamo:

$$H_2 = 800 \cdot 0,0031 = 2,48 \text{ m}$$

$$P_2 = 800 \cdot 925 = 740.000 \text{ kuna}$$

Za  $D=200$  mm  $v=1,3$  m/s,  $i=11,0$  mm/m, pa imamo:

$$H_2 = 800 \cdot 0,011 = 8,8 \text{ m}$$

$$P_2 = 800 \cdot 740 = 592.000 \text{ kuna}$$

*Dionica 3*

Zadano:  $q_3=60$  l/s;  $L_3=1100$  m.

Za  $D=400$  mm imamo:

$$P_3 = 1100 \cdot 1480 = 1.628.000 \text{ kuna}$$

Za  $D=350$  mm imamo:

$$P_3 = 1100 \cdot 1295 = 1.424.500 \text{ kuna}$$

Za  $D=300$  mm imamo:

$$P_3 = 1100 \cdot 1110 = 1.221.000 \text{ kuna}$$

Za  $D=250$  mm imamo:

$$P_3 = 1100 \cdot 925 = 1.017.000 \text{ kuna}$$

Sada zbrajamo karakteristične vrijednosti prvih dviju dionica, a zatim svih triju zajedno. Za dionice 1 i 2 napisat ćemo izraze za kotu pijezometarske linije u čvoru 3, tj.:

$$Z_3 = Z_1 + H_1$$

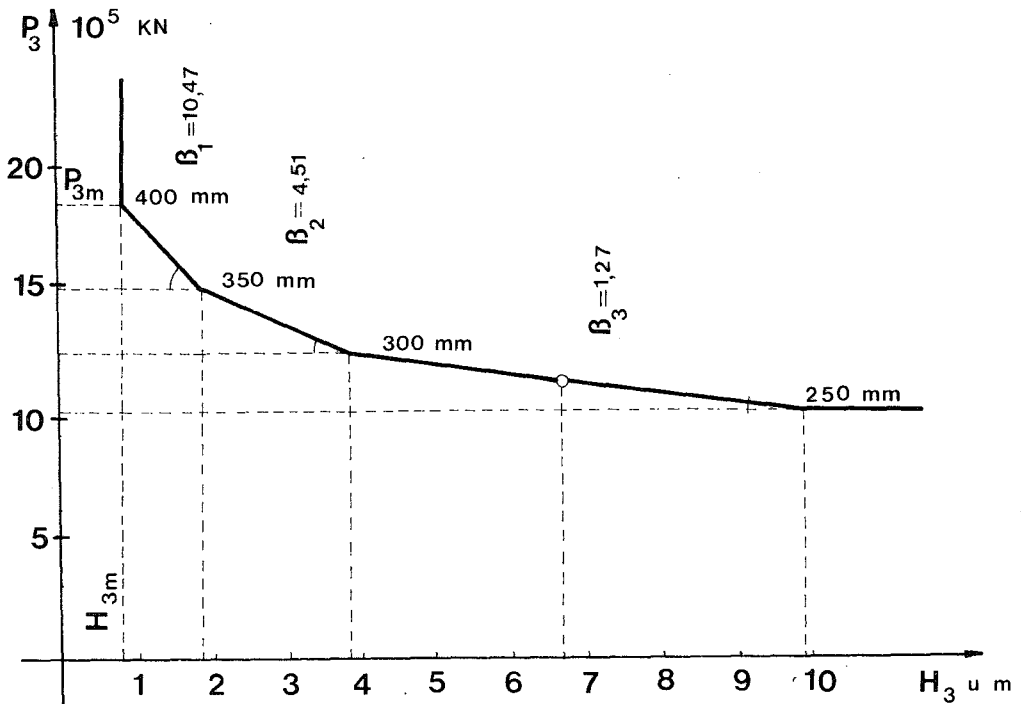
$$Z_3 = Z_2 + H_2$$

s tim da je:

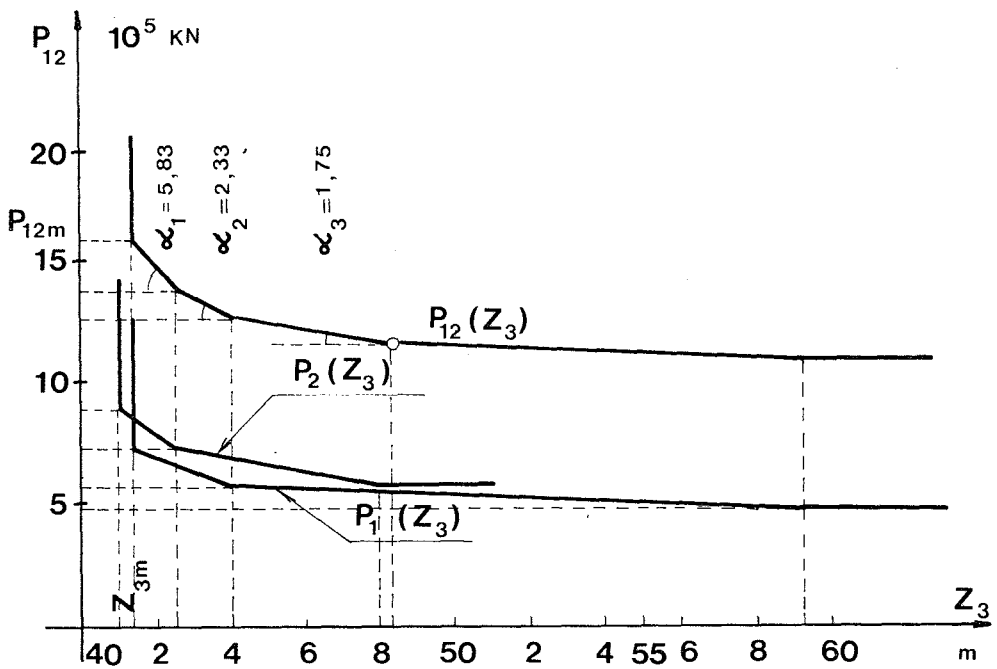
$$Z_1 = Z_2 = 40 \text{ m}$$

i te vrijednosti nacrtati u dijagramu karakteristika dionica 1 i 2, a potom ćemo ucrtati krivulju ovisnosti troškova  $P_{12}$  o koti pijezometarske linije u čvoru 3, koja se dobiva zbrajanjem dviju prethodnih.

Promjenom varijable mogu se nacrtati krivulje koje daju minimalnu cijenu svake dionice u ovisnosti njenog tlaka u čvoru  $Z_3$ . Zatim, zbrajajući  $P_1+P_2$  za fiksnu vrijednost kote  $Z_3$ , određuje se krivulja koja daje minimalnu cijenu  $P_{12}$  dijela mreže 1+2 u funkciji tlaka u čvoru  $Z_3$ . Problem graničnih uvjeta lijevo i desno rješava se jednostavno kao što je već ranije navedeno. U svakom slučaju, dobivena krivulja ima uvijek oblik konkavnog poligona.



Sl. 5-13 Karakteristike dionice 3,  $P_3(H_3)$



Sl. 5-14 Karakteristike dionice 1+2,  $P_{12}(Z_3)$

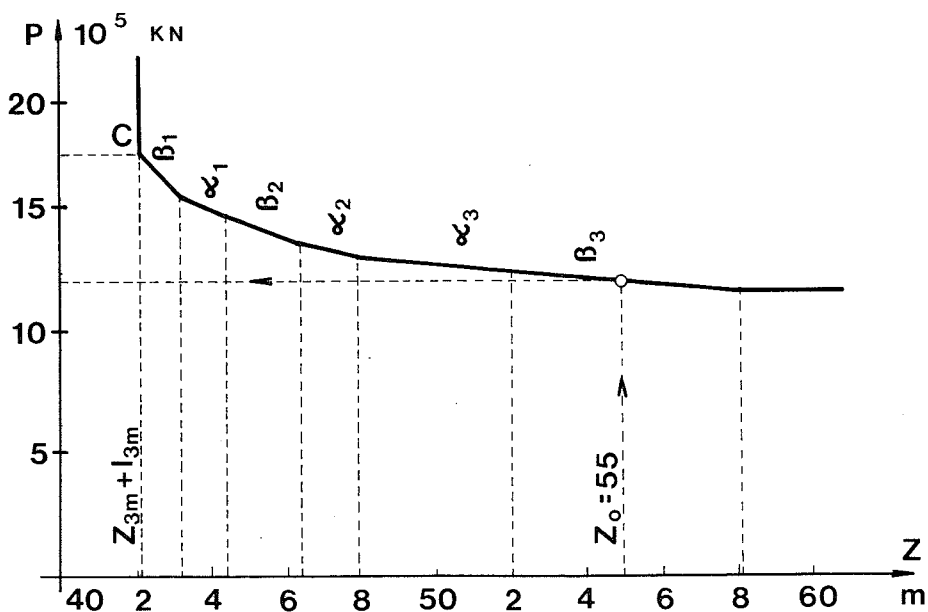
I, na kraju, pristupamo izradi grafikona minimalnih troškova za čitavu mrežu, odnosno sve tri dionice u ovisnosti o koti pijezometarske linije u vodospremi, tj u točki  $Z_0$  na početku mreže. U tu svrhu raspoložemo dijagramima  $P_{12}(Z_3)$  i  $P_3(Z_3)$  pa ih opet zbrajamo na jednak način kao u prethodnom slučaju. Zapravo, to je metoda postupnog približavanja rješenju, odnosno korak po korak do zadanog cilja. Operacije su dosta opširne, pa za manuelnu primjenu danas više nije prikladna. Dakako, postoje programi za elektronsku obradu građe, na što se čitalac i upućuje, ali za početak htjelo se to obrazložiti i obraditi u izvornom obliku.

Dakle, prva točka, C, na dijagramu ima koordinate:

- apscisu  $Z_{3m}$  i  $H_{3m}=41,28+0,82=42,10$

- ordinatu  $P_{12m}$  i  $P_{3m}=5,20+6,05=11,25$

što čini rješenje s minimalnim gubicima i maksimalnim troškovima.



Sl. 5-15 Karakteristike cijele mreže tj. 1+2+3

Postavlja se pitanje koji je minimalan, a istovremeno dovoljan, tlak da mreža može normalno funkcionirati. Radi se o zbroju minimalnog tlaka na početku dijela mreže 1+2 (koji se može čitati na krivulji  $P_{12}(Z_3)$ ) i najmanjega gubitka tlaka na dijelu dionice 3 (koji se može očitati na krivulji  $P_3(H_3)$ ).

Postupak nastavljamo ispitivanjem na kojoj će nam dionici ili na kojim dionicama povećanje gubitaka (tj. smanjenjem presjeka) dati najveće uštede, odnosno najviše sniziti investicijske troškove. Analize pokazuju da će to biti za onu dionicu za koju je odnos:

$$\frac{\Delta P}{\Delta Z} \text{ ili } \frac{\Delta P}{\Delta H} \text{ najveći,}$$

odnosno za segmente s najvećim nagibom prema apscisi. Da bismo taj problem riješili, moramo izračunati nagibe pojedinih segmenata dijagrama  $P_{12}(Z_3)$  i  $P_3(H_3)$ , poredati ih po veličini, od najveće do najmanje vrijednosti, i konačno nacrtati karakterističan grafikon minimalnih troškova  $P(Z)$ , što je prikazano na sl. 5-15.

Nagibi pojedinih segmenata izračunati su i njihove su vrijednosti navedene u grafikonima  $P_{12}(Z_3)$  i  $P_3(H_3)$ . Poredane prema padajućim vrijednostima čine niz:  $\beta_1, \alpha_1, \beta_2, \alpha_2, \alpha_3, \beta_3$ .

Prema tome, za zadani tlak na početku mreže (vodosprema  $Z_0=55$  m) neposredno se čita optimalizirana minimalna cijena čitave mreže.

I na kraju treba još odrediti optimalne promjere cjevovoda za svaku dionicu. Postupak je ovakav:

a) Na dijagramu  $P_3(H_3)$  odredit ćemo raspoloživi tlak na dionicama nizvodno od čvora 3, i to prijenosom odgovarajućih vrijednosti segmenta na kojem se nalazi točka optimuma na grafikonu  $P(Z)$ . Tako ćemo odrediti i optimalni promjer dionice 3. U konkretnom je slučaju to približno na sredini između promjera 300 mm i 250 mm, odnosno točnije, 506 metara profila 300mm i 594 metra profila 250 mm.

b) Na dijagramu  $P_{12}(Z_3)$  prebacit ćemo vrijednost utrošenog tlaka na dionici 3; dobit ćemo raspoloživi tlak na dionicama na nizvodnom dijelu (dionice 1 i 2). U tom slučaju izlazi da je kota pijezometarske linije u čvoru 3 na 48,35 m (razlika između utrošenog tlaka na dionici 3 i raspoloživog tlaka, tj.  $55,00-6,65=48,35$ ).

c) I konačno, kotu pijezometarske linije (odnosno raspoloživi tlak) iz dijagrama  $P_{12}(Z_3)$  prebacit ćemo na grafikone dionica 1 i 2 i tako odrediti promjere njihovih cjevovoda. Iz grafikona se vidi da je za dionicu 1 optimalni promjer 200 mm i 150 mm, ili točnije, 222 m promjera 200 mm i 578 m promjera 150 mm. Na grafikonu dionice 2 tražena točka pada nešto udesno od promjera 200 mm, pa je trebalo računati i sljedeći manji presjek. Budući da je ta duljina vrlo mala, pa se u praksi ne bi mogla ni primijeniti, to ćemo zanemariti i uzeti kao optimalan promjer 200 mm na čitavoj duljini. Prema tome, ako rekapituliramo račun, proizlazi da će optimalni profili cjevovoda za zadane uvjete biti:

Dionica 1	D=200 mm na duljini 222 m D=150 mm na duljini 578 m
Dionica 2	D=200 mm na čit.duljini 800 m
Dionica 3	D=300 mm na duljini 506 m D=250 mm na duljini 594 m
Svega	2700 m

Neke se vrste cijevi proizvode i u promjerima 175 i 225 mm, pa bi, uzimajući u obzir i te dimenzije, bilo moguće račun i dalje poboljšavati boljim prilagođivanjem stvarnom stanju.



Iz kratkog se prikaza te metode proračuna razgranatih natapnih mreža vidi da je ručni postupak proračuna dosta opsežan i dug, pogotovo ako se zna da se te mreže sastoje, u pravilu, od velikog broja dionica. Budući da se dobivaju relativno skromne uštede, nije se još u većoj mjeri proširila njegova primjena. Zbog toga je FAO, Organizacija za poljoprivredu i prehranu UN, izdala knjigu napisanu od grupe autora pod naslovom "Design and optimization of irrigation distribution networks" pod rednim brojem 44, a u seriji "Irrigation and drainage paper". U toj je knjizi, između ostaloga, prikazan i postupak proračuna natapnih mreža koji je ovdje obrađen, ali prilagođen primjeni elektroničnih računala. Zato se čitaocu, koji se kani koristiti tom metodom, preporučuje da se koristi navedenom publikacijom.

### *5.3.4. Optimalizacija sustava u cjelini*

Prilikom planiranja i izgradnje neke investicijske građevine ili sustava za natapanje najčešće se usvaja ono rješenje koje zahtijeva najmanje investicijske troškove. Treba odmah istaknuti da takav stav nema uvijek gospodarskog opravdanja, jer usporedno s investicijskim troškovima treba analizirati i razmotriti i pogonske troškove. Ponekad će čak pogonski troškovi, odnosno postignuta cijena kubičnog metra natapne vode, biti mjerodavna pri izboru rješenja određenoga natapnog sustava. Zato je nužno da se ti troškovi temeljito razmotre već prilikom izrade osnovnih studija sustava, kako bi se već za izradu idejnog i glavnog projekta izabralo prikladno rješenje.

#### *5.3.4.1. Investicijski i pogonski troškovi*

Pri analizi troškova nekoga natapnog sustava, u pravilu su mjerodavni ukupni godišnji troškovi. Oni se sastoje od godišnjih investicijskih i pogonskih troškova.

Investicijske troškove čini iznos koji je za određenu investiciju utrošen prilikom izgradnje, najčešće je to iznos dobiven obračunom radova prilikom kolaudacije i primopredaje sustava između izvođača i investitora. Godišnji investicijski troškovi dobivaju se od ukupnih primjenom amortizacijskih stopa. Stope su različite za razne vrste građevina i opreme i propisane su zakonom.

Pogonski se troškovi sastoje od troškova upravljanja sustavom i troškova tekućega investicijskog održavanja kako bi se kvaliteta i kapacitet pogona održali na planiranoj razini. Čine ih uglavnom, osim navedenoga, još i troškovi zaposlenog osoblja, osiguranja, potrošnog materijala, energije i ostalo. Ti se troškovi dobivaju na temelju godišnjeg obračuna prihoda i rashoda, a planiraju se ili na temelju dobivenih stopa ili na temelju uobičajenih stopa za te vrste pogona.

Prema tome, ako je poznata ukupna količina vode koju je sustav isporučio natapnom polju, onda je lako izračunati jediničnu cijenu vode za svaku sezonu. Međutim, taj se račun (procjena) radi i prije negoli se sustav sagradi, dapače, prije negoli se počne graditi na temelju planiranih vrijednosti, simuliranjem pojedinih parametara pogona.

%	SVEGA 27,43 din./m <sup>3</sup>	din.
13,9	energija	3,81
17,5	radna snaga	4,80
11,1	investic. održ.	3,05
31,8	kamate	8,72
25,7	amortizacija	7,05

Sl. 5-16 Struktura cijene natapne vode za natapni sustav Valtura (Pula) (cijene iz 1985. g.)

Kao primjer navode se podaci o strukturi cijene natapne vode za natapni sustav Valtura pokraj Pule. Analiza je načinjena prilikom izrade idejne studije tog sustava, koji ima 187,5 ha natapne površine s prosječnim godišnjim utroškom od 800719 m<sup>3</sup> vode (4270 m<sup>3</sup>/ha). U proračunu su uzeti u obzir svi investicijski i pogonski troškovi, uz pretpostavku da će se 50 % investicije platiti iz vlastitih izvora, a 50 % iz zajma (obračun kamata). Dakako, te vrijednosti imaju danas samo informativan značaj.

#### 5.3.4.2. Optimalizacija visine crpljenja i sustava u cjelini

U prethodnom razmatranju analizirali smo optimalnu dimenziju natapne mreže uz pretpostavku da je kota pijezometarske linije unaprijed zadana. To je naravno moguće samo kod gravitacijskog dotoka vode - slučaj koji se javlja zahvaćanjem vode iz prirodnih vodotoka, kanala i akumulacija.

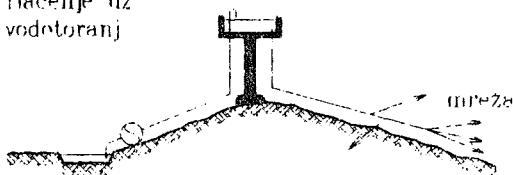
Nasuprot tomu, ako potrebnu tlačnu visinu postizemo crpljenjem vode, npr. iz podzemlja i tlačenjem u neku vodospremu ili izravno u mrežu, onda nam je ta visina varijabla koju treba u projektu odrediti.

Proračun optimalne pijezometarske kote ovisi o tipu natapne mreže koja se planira. Općenito uzevši, natapnih mreža tlačnog tipa, odnosno onih kod kojih se potreban tlak za pogon postiže crpljenjem vode, može biti tri vrste, i to:

- crpna postaja dimenzionirana je na vršnu potrošnju mreže i diže vodu na povišenu vodospremu (vodotoranj). Koristeći se povoljnom konfiguracijom terena, ta se vodosprema može sagraditi prihvatljive visine, a njena je jedina funkcija regulacija protoka, odnosno osiguranje adekvatne pijezometarske linije (tlaka).

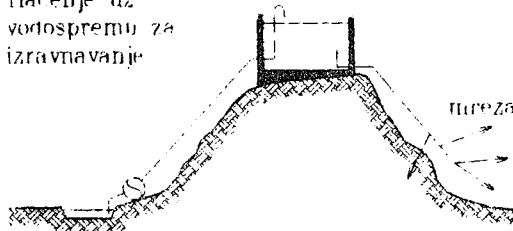
- ako konfiguracija terena ne dopušta izgradnju uobičajene vodospreme, primjenjuje se tip neposrednog tlačenja vode u mrežu. U tom je slučaju crpna postaja također dimenzionirana na vršni protok mreže, ali s razlikom da nema nikakve vodospreme. Reguliranje rada postaje postiže se ugradnjom određenog automatizma na bazi zračnih kotlova.

Tlačenje uz vodotoranj



Crpna postaja

Tlačenje uz vodospremu za izravnavanje



Neposredno tlačenje



Sl. 5-17 Vrste tlačnih mreža

- ako lokalne prilike omogućuju, pristupa se izgradnji vodospreme veće zapremnine na površini povišenog terena. U tom slučaju može se vodosprema dimenzionirati tako da pokriva vršnu potrošnju pa se crpna postaja i tlačni cjevovod mogu dimenzionirati na veličinu hidromodula (maksimalnoga kontinuiranoga fiktivnog protoka).

#### a) Optimalizacija kod neposrednog tlačenja u mrežu

U tom se slučaju proračun mreže provodi po ranije prikazanoj metodi, što dovodi do utvrđivanja krivulje  $P(Z) = \min.$  u ovisnosti o pijeziometarskoj koti na ulazu. Dakako, promjeri cjevovoda računaju se na osnovi maksimalnih (vršnih) potreba za vodom u vegetacijskoj sezoni.

Općenito uzevši, cijena crpne postaje pridružena je linearnoj funkciji njene snage, ali ovdje prikazana metoda ostaje nepromijenjena za sve ostale vrste ovisnosti o cijeni. Nakon što se utvrdi protok (vršni protok mreže), cijena postaje može se uvijek izraziti u obliku linearne funkcije visine  $Z$ , tj. pijeziometarskoj koti nizvodno od postaje, odnosno na početku mreže.

Treba, međutim, istaknuti da se cijena postaje i cijena mreže mogu neposredno zbrajati jedino ako im je vijek trajanja isti, tj. ako su im amortizacijske stope jednake.

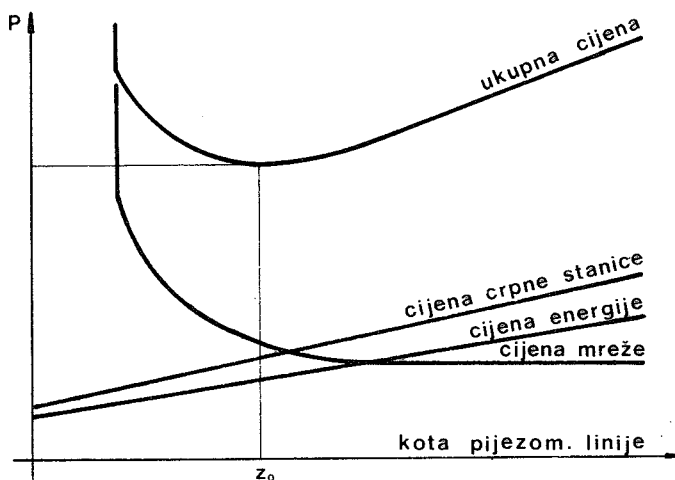
U suprotnome, bit će potrebno provesti adekvatne korekcije, što je najlakše u postupku preračunavanja ukupnih investicijskih troškova u godišnje.

Treći je element optimalizacije utrošak energije, čija količina i trošak rastu proporcionalno visini dizanja vode, pa se može prikazati linearnom ovisnošću o piježometarskoj koti, tj. pravcem.

Konačno, za sve vrijednosti  $Z$  piježometarske kote na izlazu iz crpne postaje, može se, zbrajanjem, dobiti ukupna cijena sustava:

$$\text{mreža} + \text{postaja} + \text{energija}$$

Time se dobije krivulja čija minimalna točka utvrđuje optimalnu vrijednost manometarske visine tlačenja crpne postaje. Uobičajeni programi za proračun mreže prilagođeni su i za istovremeno definiranje te vrijednosti.



Sl. 5-18 Optimalizacija visine crpljenja pri neposrednom tlačenju u mrežu

#### b) Optimalizacija sustava s vodotornjem

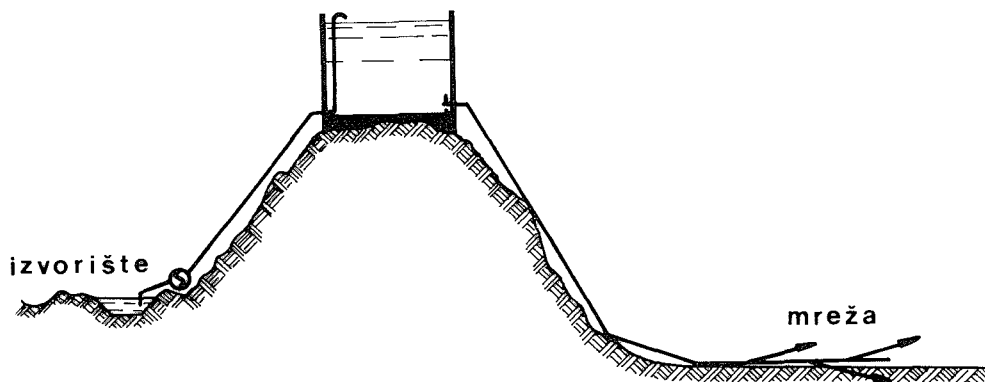
Ako natapna mreža ima vodotoranj, odnosno spremnik ograničene zapremnine na povišenom postolju, čija je jedina funkcija održavanje konstantnog tlaka u mreži, proračun je, u osnovi, jednak prethodnome slučaju. Pri tome se pretpostavlja da je spremnik jedan fiktivni ogranak u kojem je gubitak tlaka ravan visini spremnika iznad tla, a cijena mu je funkcija gubitka tlaka. Pri tome se pretpostavlja da cijena takve građevine, uz konstantnu zapremninu, raste linearno s visinom. Dakako, s obzirom na visoke troškove građenja vodotornjeva, njihove su zapremnine minimalne (obično oko 3 % maksimalne dnevne potrošnje), pa se natapna mreža računa na vršnu potrošnju, kao i u slučaju da vodospreme nema.

#### c) Optimalizacija s vodospremom za izravnjanje

Natapni sustav u kojem se voda iz izvorišta (rijeka, jezero) diže u vodospremu na povišenom terenu, a odavde teče u natapnu mrežu, donekle se razlikuje od prethodnih

dvaju slučajeva. Dakako, takvo je rješenje moguće jedino ako je konfiguracija terena povoljna.

Hidraulički režim toka vode u takvom sustavu više je primjeren klasičnom tipu vodovodne mreže negoli natapne. U tom su slučaju kota i položaj vodospreme u odnosu prema izvorištu i natapnoj mreži unaprijed određeni terenskim uvjetima.



Sl. 5-19 Optimalizacija sustava s vodospremom za izravnavanje

Optimalizacija se može posebno provesti za skup izvorište - vodosprema, tj. crpna postaja - tlačni cjevovod - vodosprema, a posebno za natapnu mrežu.

Proračun optimalnih dimenzija za skup izvorište-vodosprema svodi se na pronalaženje ekonomičnog presjeka tlačnog cjevovoda u ovisnosti o visini pijezometarske linije. Pri tome treba nacrtati krivulje koje prikazuju ovisnost cijene tlačnog cjevovoda o visini dizanja, zatim slične cijene za crpnu postaju i utrošak energije, dakako sve pretvoreno u godišnje troškove, kako bi se mogli zbrajati. Konačno, te se tri krivulje zbroje i dobije se minimum troškova za čitav skup (ordinata) u ovisnosti o optimalnoj tlačnoj visini (apscisa). Postupak i krivulje slične su prethodnom slučaju, a prikazane su na priloženoj slici.

Optimalizacija natapne mreže provodi se na osnovi zadane kote pijezometarske linije, koji je slučaj već ranije obrađen.

## 5.4. UPRAVLJANJE CRPNIM POSTAJAMA

### 5.4.1. Općenito

Pri planiranju natapnih sustava pod tlakom (cijevne mreže) moramo se držati pravila da sustav mora biti takva kapaciteta i režima pogona da zadovolji potrebe za vodom kada i koliko to prilike zahtijevaju.

Kod sustava planiranih za režim pogona na zahtjev ("a la demande"), protok u mreži tijekom dana značajno varira.

Ako je gravitacijski natapni sustav, koji se sastoji od cijevnih dovoda, samoprilagodljiv s pomoću odgovarajuće opreme koja apsorbira promjene prouzročene naglim povećanjem ili smanjenjem protoka, natapna mreža s crpnom postajom od više jedinica i konstantnim protokom, također zahtijeva odgovarajuće uređaje za regulaciju kako bi se zahtjevu moglo udovoljiti u svakom času.

U ovisnosti o specifičnim mjestima i ograničenjima na određenome natapnom području, bira se ručna ili automatska regulacija (upravljanje) crpnim postajama.

#### 5.4.2. *Ručno upravljanje (regulacija)*

Taj se tip upravljanja crpnim postajama primjenjuje kod malih natapnih sustava kada odgovarajuća veličina vodospreme za izravnanje dotoka i potrošnje nije gospodarski opravdana.

U osnovi moguće su dvije metode upravljanja u tom slučaju, ali kod svake su osnovni elementi vodosprema za izravnanje i pumpist.

##### *a) Jednostavna metoda*

U tom slučaju pumpist stavi u pogon crpke u određeno - propisano - zadano - vrijeme, i to traje sve dok se rezervoar ne napuni. Dakako, to može biti jednom ili više puta dnevno (ili rjeđe) što ovisi o zapremini vodospreme i potrošnji vode. Prema tome, rad pumpiste traje samo onoliko koliko traje i pogon crpne postaje.

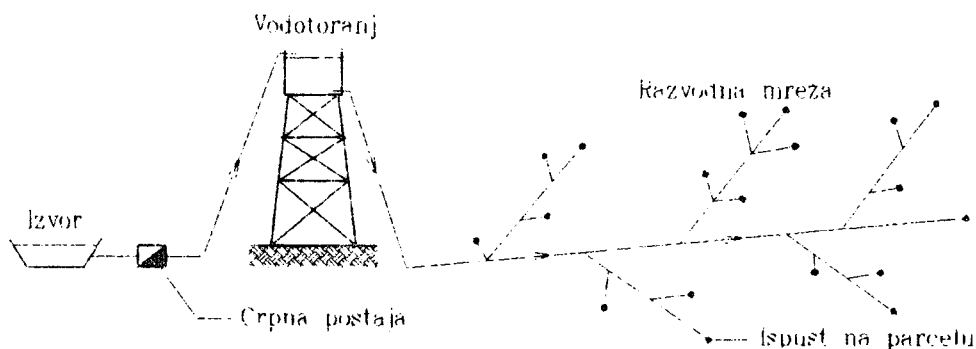
##### *b) Upravljanje promatranjem razine vode*

Za razliku od prethodnog slučaja, ovdje je pumpist stalno prisutan u crpnoj postaji kako bi crpke stavio u pogon u skladu s ranije utvrđenim planom ovisnim o razini vode u vodospremi. Ta je metoda slična idućoj, samo s razlikom da ovdje pumpist uključuje i isključuje crpke, a u sljedećem se slučaju to radi automatski pomoću elektroničkog uređaja. Kod ove se metode vodosprema nalazi na povišenom terenu ili tornju između crpilišta i natapnog polja ili pak iza natapnog perimetra. Vodosprema je opskrbljena indikatorom razine vode čije se vrijednosti mogu primati u crpnoj postaji.

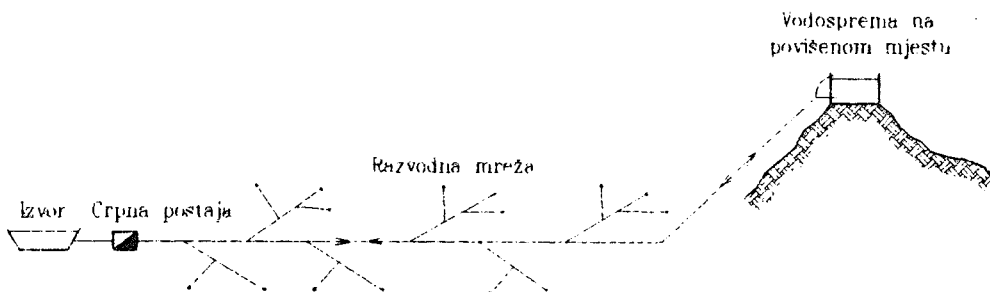
U ovom primjeru imamo jednosmjerni tok vode, tj. samo od crpilišta prema natapnom polju (vodosprema između crpilišta i natapnog polja).

Kod ove metode, natapanje počinje kada je vodosprema napunjena vodom, a sve crpke miruju. S napredovanjem natapanja pri određenoj razini vode u vodospremi, uključuje se prva crpka - pri daljnjem sniženju vode i druga, itd., a kada se voda u vodospremi počne dizati zbog smanjenja potrošnje, na jednak se način crpke isključuju sve dok se vodosprema ponovno ne napuni, a natapanje dovrši.

Ova je metoda upravljanja veoma jednostavna, samo što zahtijeva stalno prisustvo osoblja u crpnoj postaji, čime bitno poskupljuje troškove pogona.



Sl. 5-20 Sustav s vodospremom između crpilišta i razvodne mreže



Sl. 5-21 Sustav s vodospremom na kraju natapnog polja (dvosmjerni tok vode u mreži)

U najvećem broju slučajeva u praksi, crpne postaje za natapanje imaju dvije radne crpke plus jednu za rezervu. Dužina pogonskog ciklusa ovisi o vrsti raspoložive energije, pogonskoj snazi, veličini natapnog perimetra i sl.

Na kraju se ističe da je taj tip upravljanja primjeren pogonu crpilišta na diesel motore (u nedostatku električne energije) u kom je slučaju ciklus pogona duži, a potreba zapremnine vodospreme veća.

#### 5.4.3. Automatsko upravljanje

Ova se metoda upravljanja crpnim postajama danas u svijetu najviše primjenjuje, a u razvijenim je zemljama dominantna. Uvedena je razvojem elektroničkih sustava upravljanja, a sa svrhom smanjenja potrebe za radnom snagom. Kod nje se pojavljuje potreba za većim investicijskim troškovima za opremu, te specijaliziranim

visokostručnim osobljem za održavanje i pogon. Nadalje, za slučaj kvara, mora biti raspoloživa i ručna regulacija.

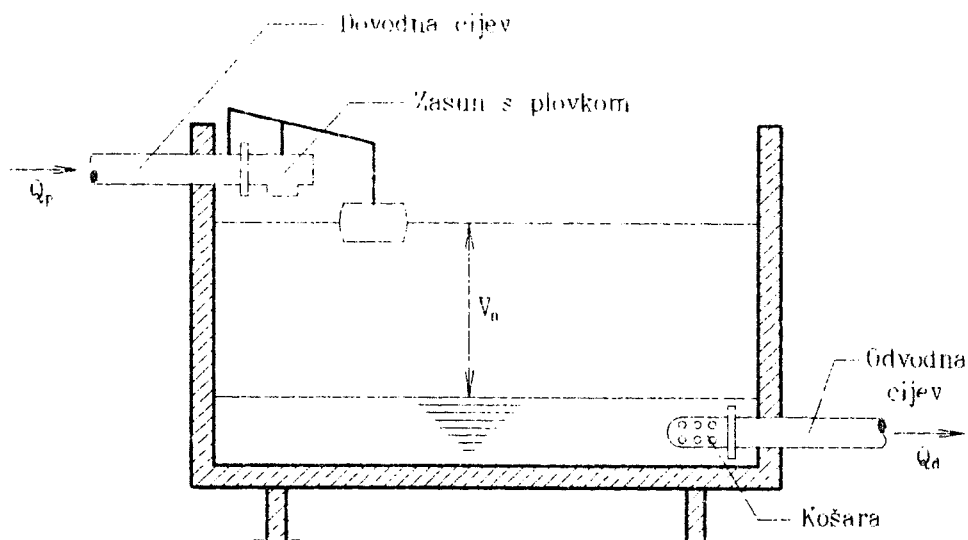
U modernim natapnim sustavima susrećemo se s ovim vrstama automatskog upravljanja:

- upravljanje uz vodospremu na povišenom mjestu
- upravljanje pomoću hidrofora
- upravljanje pomoću mjerača protoka i hidrofora

*a) Upravljanje uz vodospremu na povišenom mjestu*

U ovom se slučaju pojavljuju dvije metode: pomoću tlačnog senzora i pomoću razine vode. U oba se slučaja vodosprema može nalaziti ili između crpilišta i mreže, ili iza natapnog sustava (vidi slike).

Metoda pomoću tlačnog senzora (prekidača), prikladna je za male natapne sustave sa samo jednom crpkom. Sastoji se od vodospreme za izravnanje na povišenom mjestu, tlačnog senzora postavljenoga na tlačni cjevovod s odgovarajućim uređajem za iskapčanje crpke pri određenom tlaku i vremenskog prekidača, koji, nakon programiranoga vremenskog intervala ponovno ukapča crpku.



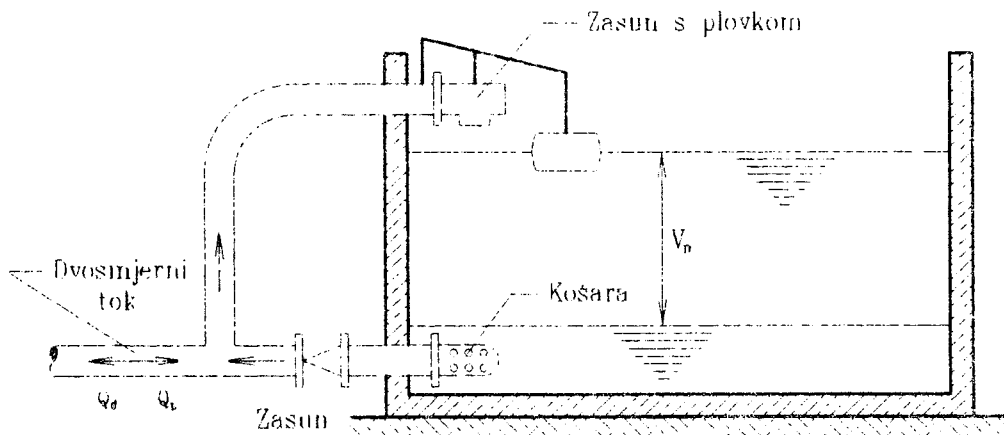
Sl. 5-22 Vodosprema za izravnanje locirana između crpilišta i mreže

Da bi se ova metoda mogla realizirati, tlačni je cjevovod na ulazu u vodospremu opskrbljen plovkom sa zasunom koji zatvara dovod pri određenoj maksimalnoj razini vode u vodospremi.

Na slikama 5-22 i 5-23 prikazana su dva karakteristična rješenja, i to kada je vodosprema locirana na potezu od crpilišta do početka razvodne (natapne) mreže, odnosno na kraju tlačnog cjevovoda, i kada je vodosprema locirana iza natapnog sustava.



Pogon je takva sustava vrlo jednostavan: crpka tlači vodu u vodospremu sve dok plovak ne zatvori ulazni ventil. Tada se naglo diže tlak u cjevovodu, što se preko tlačnog senzora prenosi kao nalog za iskapčanje crpke. Nakon što prođe - određeno - programirano vrijeme, vremenski prekidač ponovno ukapča crpku. I tako redom.



Sl. 5-23 Vodosprema za izravnanje locirana na kraju natapnog sustava

Zapremnina je vodospreme za izravnanje funkcija vršnog protoka natapnog sustava i vremenskog intervala u kome miruju crpka ili crpke, odnosno:

$$V = Q \cdot T$$

gdje je:

V - neto zapremnina vodospreme za izravnanje, (m<sup>3</sup>)

Q - vršni protok natapne mreže, (m<sup>3</sup>/h)

T - vrijeme između dvaju sukcesivnih ukapčanja crpke (vrijeme u kome crpka miruje), (sati)

Vremenski interval u kome crpke miruju ovisi o značajkama pogonskog motora i crpke i obično je određen od strane proizvođača. Najčešće se to kreće između 10 i 20 minuta.

Metoda pomoću razine vode zahtijeva vodospremu za ravnotežu na povišenom mjestu, bilo u sustavu, ili iza njega, opskrbljenu plovkom i zasunom te radiovezom spojene s crpnom postajom. Crpna postaja može imati jednu ili više crpki.

Očito je da učestalost kojom se crpke ukapčaju i iskapčaju, ovisi o zapremnini vodospreme i varijacijama potrošnje, iako česte promjene nepovoljno utječu na svu opremu.

Određivanje zapremnine vodospreme provodi se kako slijedi:

- Slučaj samo jedne crpke u postaji

Uzmimo da je:

$q_p$  - kapacitet crpke ( $m^3/sat$ )

$Q$  - vršna potreba natapnog sustava u bilo kom trenutku ( $m^3/sat$ )

$V$  - neto zapremnina vodospreme ( $m^3$ )

Protok  $Q$  varira između 0 i  $q_p$  faktorom  $\alpha$  koji se mijenja između 0 i 1, pa je:

$$Q = \alpha \cdot q_p$$

Potrebno će vrijeme da se isprazni vodosprema biti:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{V}{\alpha \cdot q_p}$$

Potrebno će vrijeme da se vodosprema napuni biti:

$$t' = \frac{V}{q_p - Q} = \frac{V}{(1 - \alpha) \cdot q_p},$$

pa će dužina jednog ciklusa iznositi:

$$T = t + t' = \frac{V}{q_p} \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{1 - \alpha} \right)$$

Najniža vrijednost za  $T$  dobiva se za  $\alpha=0,5$ , pa je:

$$T = \frac{4V}{q_p}$$

odnosno:

$$V = \frac{T \cdot q_p}{4}$$

- Slučaj postaje s više jednakih ili sličnih crpki

Ako pretpostavimo da se vršni protok mreže nalazi između protoka koji osigurava  $n$  crpki i  $(n+1)$ , onda će  $n$  crpki raditi trajno, a  $(n+1)$  povremeno i može se smatrati regulirajućim skupom.

Dakle, možemo pisati:

$$Q = n \cdot q_p + \alpha \cdot q_p$$

Što se tiče režima pogona vodospreme, proizlazi kao da postoji samo  $(n+1)$  crpki, jer protok  $n \cdot q_p$  samo prolazi kroz vodospremu.

Potrebna neto zapremnina dobiva se iz izraza kao u prethodnom slučaju, dakle:

$$V = \frac{T \cdot q_p}{4}$$

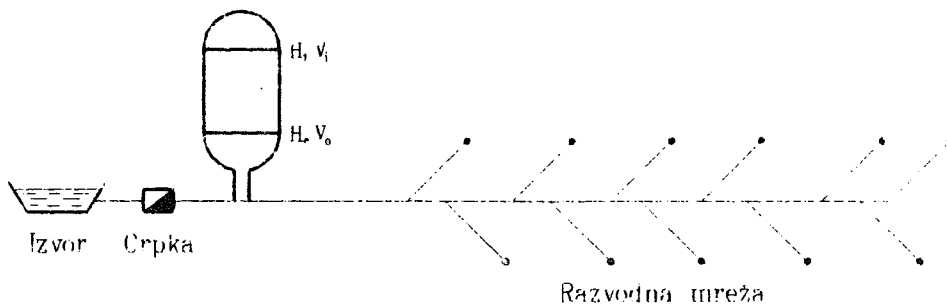
Da bi se zapremnina vodospreme svela na najmanju moguću mjeru, a time i cijena (koja je proporcionalna zapremini), treba nastojati što više smanjiti  $q_p$  i  $T$ .

Broj agregata u crpnoj postaji ovisi o instaliranom protoku i obično iznosi 2-3 za protok do 100 l/s, a 4-5 za veće vrijednosti.

Interval između dvaju uzastopnih pokretanja motora, odnosno broj ukapčanja na sat, ovisi o njegovoj snazi i najčešće varira od 10 za najmanje jedinice, do 1 za najveće. Kako to bitno utječe na trajnost, odnosno kvarove električne opreme, pri tome se treba držati uputa proizvođača.

#### b) Upravljanje pomoću hidrofora

Kao što je poznato, u tome načinu upravljanja crpnim postrojenjima, koji je drugi po redoslijedu primjene, vodotoranj se zamjenjuje posudom (vodospremom) pod tlakom, koja se obično nalazi uz crpnu postaju. Tlak u posudi upravlja radom crpne postaje.



Sl. 5-24 Upravljanje pomoću hidrofora

Pretpostavimo da natapnje počinje kada je tlak u hidroforu  $H_i$ . Voda se iz vodospreme prazni, a tlak opada sve do razine  $H_0$  kada se crpka, ili crpke, automatski (pomoću tlačnog prekidača) ponovno uključe, pa tlak ponovno raste do vrijednosti  $H_i$ . Naravno, sve to pod uvjetom da je kapacitet crpke veći od potrošnje  $I$ . Ciklus se uvijek ponavlja.

Prema tome, teoretski je način upravljanja veoma sličan načinu koji se primjenjuje kod vodosprema na povišenom postolju (vodotoranj).

Neto zapremnina vodosprema pod tlakom ovisi o kapacitetu crpke, mogućem broju uključivanja na sat i gornjem i donjem dopustivom tlaku, odnosno  $H_i$  i  $H_0$ . Pretpostavlja se da zrak u kotlu mijenja tlak i zapreminu u uvjetima konstante temperature.

Minimalna zapremnina hidrofora može se dobiti iz ovog izraza:

$$V = \frac{q \cdot T}{4} \cdot \frac{H_i}{H_i - H_0},$$

gdje je:

- $V$  - neto zapremnina kotla ( $m^3$ )  
 $q$  - prosječan kapacitet crpke u uvjetima pogona od  $H_0$  do  $H_i$  ( $m^3/s$ )  
 $H_i$  - maksimalni tlak isključenja crpke (m)  
 $H_0$  - minimalni tlak isključenja crpke (m)  
 $T$  - vrijeme između dvaju sukcesivnih uključenja (s)

Dakako, ne treba dokazivati da je ovaj način regulacije crpnih postrojenja primjeren uglavnom kod malih postrojenja, odnosno za male natapne sustave, najčešće pojedinačnih imanja.

Kako se taj oblik opskrbe vodom vrlo često primjenjuje u komunalnom gospodarstvu (za pojedinačne kuće i manja naselja), neće se ulaziti u detalje na opis i obradu pojedinih elemenata projekta, već se čitalac upućuje na odnosnu literaturu, koja je vrlo izdašna.

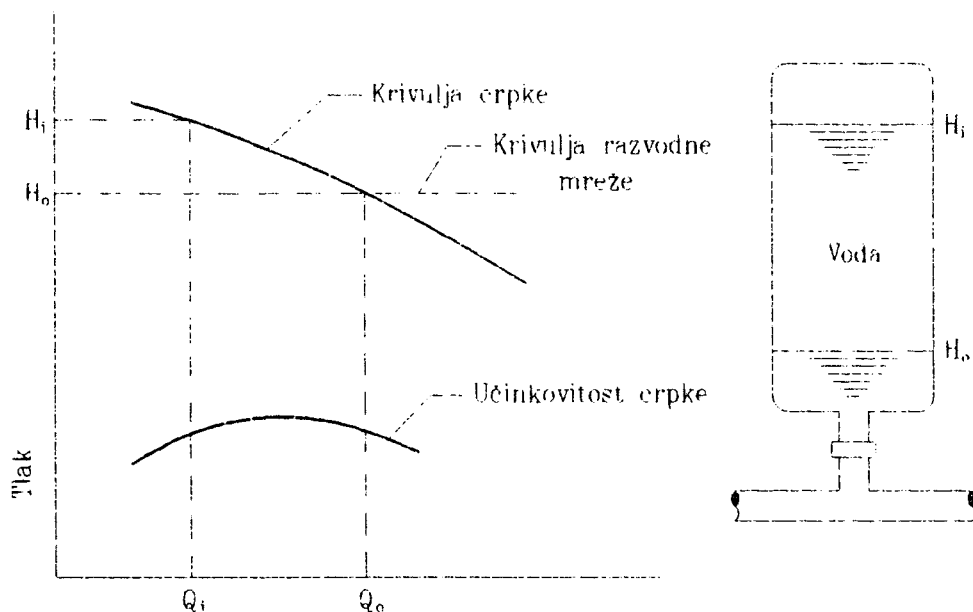
*c) Upravljanje pomoću vodomjera*

Kod ovog načina upravljanja crpnim postajama nužno je osigurati ovo:

- Električni mjerac protoka montiran na tlačni cjevovod. Taj uređaj mora biti jako točan i pouzdan i prilagođen za mjerenja u velikom rasponu.

- "Temeljnu" crpku male snage i kapaciteta koja osigurava pokriće gubitaka i sustav potrošnje (do 10 %). Ona se uključuje i isključuje ovisno o tlaku u manjem hidroforu.

- Nekoliko (2-3) glavnih crpki s blagom Q-H krivuljom i takvim kapacitetom da mogu zadovoljiti sve potrebe u širokom rasponu. Uključivanje i isključivanje tih crpki upravlja se pomoću podataka vodomjera.



Sl. 5-25 Osnovne značajke upravljanja pomoću hidrofora

Pogon tako opremljene postaje odvija se na taj način da je za vrijeme male ili nikakve potrošnje (za pokriće gubitaka), u pogonu mala "temeljna" crpka kojom upravlja hidrofor, a ima zadaću da održava mrežu pod tlakom. Ciklusom automatskog pokretanja i zaustavljanja glavnih crpki upravlja brzina toka u tlačnom cjevovodu. U primjeni više crpki, sve se ukopčaju i iskopčaju ovisno o veličini potrošnje. Kao što je već navedeno, pogon temeljne crpke ovisi o veličini tlaka u mreži.

Osnovna je prednost takva upravljanja crpnim postajama u tome što ne zahtijeva izgradnju vodospreme za izravnanje dotoka i potrošnje. To je posebno značajno ako je nužno sagraditi vodotoranj.

Općenito uzevši, ta je vrsta upravljanja pogodna za sve veličine natapnih sustava uz uvjet da su crpke i odgovarajući uređaji za mjerenje protoka adekvatno izabrani.

#### 5.4.4. Varijabilna brzina crpki

Crpke koje se u novije vrijeme upotrebljavaju u natapnim sustavima, imaju broj okretaja u minuti između 1500 i 3000. S tim u vezi moguće je, mijenjajući broj okretaja crpke, povećati kapacitet i učinkovitost crpke uz istovremeno održavanje konstantne manometarske visine.

Ta se metoda već duže vremena primjenjuje u drugim granama vodoprivrede, a u novije se vrijeme počela primjenjivati i u natapnim sustavima. Ovdje su - u osnovi - moguća tri slučaja:

- kod pogona s diesel motorima moguća je varijacija brzine između nominalne i 60 % niže bez većeg smanjenja učinkovitosti,
- promjena frekvencije snage elektromotora crpke kako bi se mijenjala brzina motora, i
- korištenje diesel generatora za pogon elektromotornih crpki uz variranje njegove brzine.

Frekvencije snage i brzine motora crpke mogu se u tom slučaju mijenjati kako bi se postigli zatraženi zahtjevi.

#### 5.4.5. Zaključci

I, na kraju ove točke dat će se kratak prikaz područja najbolje primjene za sve metode upravljanja crpnim postajama koje su ukratko ranije opisane.

Ručno upravljanje primjenjuje se u svim slučajevima gdje se, zbog bilo kojeg razloga, nije moguće koristiti automatskim. Posebno je privlačno u zemljama gdje je odgovarajuća radna snaga jeftina.

Metoda pomoću tlačnog prekidača, koja spada u kategoriju automatskog upravljanja, prikladna je za male natapne sustave, pogotovo u slučajevima kada je vodosprema za izravnanje udaljena od crpne postaje.

Upravljanje pomoću razine vode smatra se najprikladnijom i najpouzdanijom metodom i najčešće se primjenjuje. Posebno je podobna za velike natapne sustave, u kom slučaju može vodosprema za ravnotežu biti u sustavu ili na njegovu kraju.

Primjena tlačnog kotla (hidrofora) dolazi u obzir samo za male natapne površine kada je previše skupo graditi vodospremu na povišenom mjestu (vodotoranj).

Metoda upravljanja pomoću vodomjera podjednako je pogodna za sustave svake veličine pa se u novije vrijeme jako mnogo upotrebljava.

Regulacija u primjeru promjenljive brzine crpki tek se nedavno počela primjenjivati kod natapnih sustava i veoma je vjerovatno da će tu naći široko područje primjene.

## LITERATURA

1. Bos, M.G. - Nugteren, J.: On irrigation Efficiencies, ILRI, Wageningen, 1978.
2. Clement, R. - Galand, A.: Irrigation per Aspersion, Eyrolles, Paris, 1979.
3. Constantinidis, C.: Bonifica ed Irrigazione, Edagricole, Bologna, 1979.
4. Jensen, M.E. : Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE, 1981.
5. Kos, Z.: Planiranje vodoprivrednih sistema. Zbornik radova FGZ, Rijeka, svezak 4, 1979, str.27-39
6. Kos, Z.: Vodoprivredni sustavi. Građevinar 7/81, str. 291 - 298.
7. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla. Natapanje. Školska knjiga Zagreb 1987. str. 215
8. Labye, Y. et al. Design and optimization of irrigation distribution networks. FAO Irrigation and Drainage paper 44, 1988.
9. Ollier, Ch. - Poirée, M.:Irrigation, 5 Edition, Eyrolles, Paris, 1981.
10. Rolland, L.: La Meccanization de l'Irrigation par Aspersion, FAO Bulletin N 35, Rome, 1980.

## 6. PROJEKTIRANJE I OPTIMALIZACIJA MREŽE OTVORENIH KANALA

*Dr. Dragutin Gereš  
Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb*

### 6.1. UVOD

U ovom poglavlju razmatra se mreža otvorenih natapnih kanala od glavnog vodozahvata do ispusta na parceli. Za dimenzioniranje otvorenih kanala primjenjuje se hidraulika otvorenih tokova bilo da su kanali neobloženi ili obloženi, da li teče čista ili voda s nanosom. Metode za projektiranje stabilnih kanala u tlu podložnom eroziji ili za pronosjenje vode s nanosom, opisuju se detaljno. Potrebno je posvetiti veliku pozornost projektiranju takvih kanala, potrebno je također provesti istražne radove u tome specijaliziranom području. Investicije su za te objekte velike.

### 6.2. PROJEKTIRANJE I PRORAČUN KANALA

#### 6.2.1. Definicije

Glavni dovodi transportiraju vodu za natapanje od vodozahvata do područja natapanja. Oni opskrbljuju vodom mrežu razvodnih natapnih kanala. Kanali se uobičajeno trasiraju tako da se omoguću gravitacijsko tečenje vode u cijelom sustavu za natapanje. Ako visinski odnosi zahvata, topografije područja i ostali uvjeti to ne omogućuju u potpunosti, može se dio natapnog područja opskrbiti vodom putem paralelnog dovoda u koji se crpi voda iz glavnog dovoda.

Obloženi ili neobloženi kanali jesu temeljni objekti dovoda. Tunel sa slobodnim vodnim licem izvodi se pri topografskim preprekama koje se ne mogu svladati otvorenim kanalom zbog prevelikog usjeka. Uobičajeni objekti na dovodnim kanalima jesu: obrnuti sifoni ili akvedukti za prijelaz preko vodotoka i odvodnih kanala, stepenice za smanjivanje pada kanala, objekti za uništenje energije vode, crpne stanice za podizanje vode na više kote, razdjelni objekti, ustave i regulatori,



ispusti vode u kanale nižeg reda te sigurnosni objekti. Ostale vrste objekata na kanalima dolaze prema ukazanoj potrebi: objekti za mjerenje količina vode, taložnice za nanos, mostovi, propusti itd.

## 6.2.2. Elementi, potrebe i karakteristike

### 6.2.2.1. Kapaciteti kanala

Za potrebe trasiranja kanala i preliminarno projektno rješenje, potrebno je utvrditi prethodne vrijednosti zahtijevanog kapaciteta kanala kod vodozahvata i na kritičnim točkama. Prethodne vrijednosti kapaciteta kanala dobiju se tako da se uvećaju za 30 % potrebne količine vode na parcelama, izračunate na temelju najvećih potreba kulturnog bilja za vodom. Prva prilagodba kapaciteta čini se nakon definitivnog trasiranja i utvrđivanja stvarne površine za natapanje iz tog kanala. Isto se tako utvrđuju gubici vode iz kanala nakon što se definiraju njegove trase na osnovi terenskih podataka i istražnih radova. Konačno utvrđivanje kapaciteta kanala temelji se na proračunskoj količini vode potrebnoj za natapanje za vrijeme turnusa najvećih potreba za vodom i proračunatih gubitaka vode u dovodu i razvodnoj mreži.

Potrebni kapacitet kanala na ostalim proračunskim profilima dovoda određuju se na temelju najvećih potreba za vodom za natapanje za 7-dnevno ili 10-dnevno razdoblje i pripadne natapne površine. Tom se kapacitetu zatim dodaju izračunati gubici vode u dovodu i mreži te pogonski gubici za dionice kanala nizvodno od proračunskog profila.

#### *Primjer*

Za natapnu površinu  $P=20.000$  ha utvrđena je maksimalna potreba za vodom na parceli (hidromodul)  $q=1,2$  l/s/ha. Pretpostavljeni gubici tečenja i pogonski gubici: u glavnom dovodu 12 %, u razvodnoj mreži 15 %.

Elementi protoka jesu:

- najveća potreba za vodom na parceli:  $20.000 \text{ ha} \cdot 1,2 \text{ l/s/ha} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$
- gubici u razvodnoj mreži:  $0,15 \cdot 24 \text{ m}^3/\text{s} = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$
- gubici u dovodnom kanalu:  $0,12(24+3,6) = 3,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- potreban kapacitet dovoda:  $30,9 \text{ m}^3/\text{s}$
- najveća potreba za vodom na zahvatu (hidromodul):  $1,5 \text{ l/s/ha}$

### 6.2.2.2. Gubici vode

Gubici vode iz kanala uključuju gubitke od procjeđivanja vode, gubitke od isparavanja vode s površine vodnog lica u kanalu i pogonske gubitke. Gubici vode iskazuju se u  $\text{m}^3/\text{dan}/\text{m}^2$  ili u  $\text{mm}/\text{dan}$ .

Gubici procjeđivanjem vode jako variraju: od 30 mm/dan za obložene kanale pa do 20 puta veći iznos za neobložene kanale u pijesku ili šljunku. Za proračun tih gubitaka u neobloženom kanalu, trasa kanala dijeli se u dionice sličnih specifičnih

veličina procjeđivanja, dobivenih istražnim radovima ili testovima procjeđivanja. Gubici se računaju po izrazu:

$$Q_p = \frac{q_s \cdot O \cdot L}{86400} \quad (6.1)$$

gdje je:

- $Q_p$  - gubitak vode od procjeđivanja ( $m^3/s$ )
- $q_s$  - specifično procjeđivanje ( $mm/dan=l/m^2/dan$ )
- $O$  - omočeni presjek kanala (m)
- $L$  - dužina dionice kanala (km)

US Bureau of Reclamation objavio je podatke o specifičnom procjeđivanju za neobložene kanale. Ti podaci naznačuju približne vrijednosti za razne tipove tala. Utvrđivanje gubitaka treba temeljiti na istražnim radovima i testovima procjeđivanja.

*Specifično procjeđivanje u neobloženim kanalima*

*Tablica 6-1*

Vrsta tla	$q_s$ (mm/dan)
Ilovača i glina	120
Pjeskovita ilovača	200
Vulkanski tuf s pijeskom	300
Pjeskovito tlo sa stijenama	510
Pjeskovito i šljunkovito tlo	670

Gubici od isparavanja vode, mali su u odnosu prema procjeđivanju. Izračunavaju se po izrazu:

$$Q_E = \frac{E \cdot T \cdot L}{86400}, \quad (6.2)$$

gdje je:

- $Q_E$  - gubici od isparavanja vode ( $m^3/s$ )
- $E$  - specifično isparavanje ( $mm/dan$ )
- $T$  - širina vodnog lica u kanalu (m)
- $L$  - dužina dionice kanala (km)

Pogonski gubici vode nastaju u vrijeme najveće potrošnje vode zbog promjena položaja ustava - regulatora i praktične nemogućnosti točnog bilanciranja protoka i potražnje vode u svim točkama uzduž kanala. Ti gubici iznose minimum 2 % od projektiranog kapaciteta kanala.

### 6.2.2.3. Situacijski položaj kanala

Izbor je trase kanala važan element u postupku planiranja i prethodnog projektiranja. Potencijalna površina za natapanje analizira se i definiraju se granice područja natapanja. Proces uključuje izbor najboljih trasa unutar mogućih alternativa trasa između mjesta vodozahvata i natapnog sustava. Alternative se ocjenjuju sa stanovišta tehničke izvodljivosti, investicijskih troškova i veličine površina koje se mogu natapati. Uobičajeno se ti postupci provode u fazi planiranja projekta natapanja i izrade studije izvodljivosti projekta.

Proces selekcije i izbora trase uključuje proučavanje topografskih zemljovida i aerosnimaka za identifikaciju mogućih trasa. Iduća je faza terensko rekognosciranje i preliminarni istražni radovi predviđenih trasa. Potom se priprema prethodni projekt (idejno rješenje) i utvrđuju troškovi izgradnje. Na kraju se izabire optimalna trasa dovodnog kanala. Provode se geotehnički istražni radovi i testovi procjeđivanja. Na osnovi tih podataka ustanovljuje se potreba za oblaganjem kanala.

Nakon što se usvoji studija izvodljivosti projekta, provode se detaljni istražni radovi. Time se dobiva temelj za izradu glavnog projekta dovoda - kanala. Obavlja se geodetsko snimanje osi kanala i pojasa uz kanal te snimka lokacije objekata na kanalu. Geotehničke bušotine za utvrđivanje katakarakteristika tla izvode se na svakih 100 do 200 m po trasi kanala i na lokacijama objekata. Posebno se ispituju uvjeti temeljenja objekata. Istražuju se pozajmišta materijala za izgradnju kanala itd.

### 6.2.2.4. Zavoji na trasi

Radijusi zavoja u zemljanim kanalima ovise o vrsti tla, brzini tečenja vode i kapacitetu kanala. Kanal u aluvijalnom matrijalu, podložan je eroziji i zahtijeva blage zavoje.

*Minimalni radijusi zavoja u erodivnom tlu*

*Tablica 6-2*

Kapacitet kanala (m <sup>3</sup> /s)	Minimalni radijus (m)
preko 90	1500
30 do 90	1000
15 do 30	600
5 do 15	300

Minimalni je radijus zavoja u slabo erodivnom tlu 5 do 8 širina vodnog lica u kanalu. Ako je kanal obložen betonom, minimalni je radijus 3 širine vodnog lica u kanalu.

### 6.2.2.5. Križanje natapnog i odvodnog kanala

Križanje trase natapnog i odvodnog kanala rješava se na više načina: propustima, akveduktima ili obrnutim sifonima. U fazi planiranja i idejnog rješenja projekta kanala, važno je utvrditi projektirane protoke odvodnog kanala. Objekt za križanje dvaju kanala planira se za propuštanje 100-godišnje drenažne vode. Proračun velike vode odvodnog kanala radi se analitičkim metodama, koje se temelje na karakteristikama slivnog područja te analizi frekvencija kišnih intenziteta. Takve analize upotpunjuju se povijesnim podacima o velikim vodama. Brzina tečenja u odvodnom kanalu određuje se Manningovom formulom za srednji pad odvodnog kanala, hidraulički radijus i koeficijent hrapavosti.

Površina i pad slivnog područja, dužina odvodnog kanala i visinski odnosi određuju se sa karata. Važan je faktor za približno određivanje velikih voda intenzitet oborina.

Za prethodne potrebe planiranja i rane faze projektiranja za proračun velike vode, mogu se primjenjivati empirijske metode, koje daju približne rezultate. Na primjer, za dotjecanje s malih slivnih površina može se primijeniti formula McMatha:

$$Q_D = c \cdot i \cdot I^{\frac{1}{5}} \cdot P_S^{\frac{4}{5}} \cdot \frac{1}{H} \quad (6.3)$$

gdje je:

- $Q_D$  - protok (m<sup>3</sup>/s)
- $c$  - koeficijent otjecanja (od 0,20 do 0,75)
- $i$  - intenzitet oborine za interval jednak vremenu koncentracije i za izabranu frekvenciju (mm/sat)
- $I$  - pad glavnoga odvodnog kanala (m/km)
- $P_S$  - površina slivnog područja (km<sup>2</sup>)

Vrijednost koeficijenta otjecanja ovisi o vrsti vegetacije, tlu i topografiji.

#### Koeficijenti otjecanja

Tablica 6-3

Vegetacija	Tlo	Topografija
0,08 dobro pokriveno	0,08 pjeskovito	0,04 ravna
0,12 pokriveno	0,12 lako	0,06 slabo nagnuta
0,16 slabo pokriveno	0,16 srednje	0,08 nagnuta
0,22 rijetko	0,22 teško	0,11 jako nagnuta
0,30 golo	0,30 teško - stijene	0,15 strma

*Primjer*

Slivna površina ima 10 km<sup>2</sup>, tlo je srednje, pokriveno rijetkom vegetacijom na nagnutom terenu. 100-godišnji intenzitet oborine jest 60 mm/sat. Pad je terena 10 m/km.

Koeficijent otjecanja (iz tablice 6-3):

$$c = 0,16 + 0,22 + 0,08 = 0,46$$

Protok (formula 6.3):

$$Q_D = 0,46 \cdot 60 \cdot 10^{\frac{1}{5}} \cdot 10^{\frac{4}{5}} \cdot \frac{1}{11} = 25 \text{ m}^3 / \text{s}$$

*6.2.2.6. Nadvišenje obala kanala*

Natapni kanali moraju imati nadvišenje obale kanala iznad normalne razine vode. To nadvišenje izvodi se radi zaštite od prelijevanja vode zbog fluktuacije razine izazvane valovima, radom ustava - regulatora i drugih kriznih slučajeva.

*Nadvišenje obala kanala**Tablica 6-4*

Projektirani kapacitet (m <sup>3</sup> /s)	Krute obloge ili membrane	Konsolidirano tlo	Nadvišenje obale (nasipa)
1	15	15	40
2	20	15	55
5	25	15	70
10	35	20	85
50	60	35	120
100	70	45	140
250	80	55	165

*6.2.2.7. Inspekcijski put na obali kanala*

Natapni kanal ima na obali put - cestu za potrebe pogona i održavanja. Minimalna je širina ceste 6 m i obično je locirana na desnoj obali. Ako je cesta za održavanje u isto vrijeme i jedina na području, onda se izvodi širine 7,5 m s trajnim kolnikom.

*6.2.3. Projektiranje kanala u sitnozrn timerijalu**6.2.3.1. Općenito*

Kanali koji se izvode u sitnozrn timerijalu, osjetljivi su na eroziju dna i pokosa. Ako je zahvat vode za natapanje iz rijeke, a voda sadrži nanos, dio tog nanosa dolazi

u kanal iako je u zahvatnom objektu taložnica. Ako količina nanosa prelazi kapacitet pronosjenja nanosa kanala, dogodit će se taloženje koje smanjuje kapacitet kanala. Za vrijeme od nekoliko godina to smanjenje kapaciteta može biti znatno. Vrijedi i obratno pravilo: ako kapacitet pronosjenja nanosa premašuje količinu unošenja nanosa, bit će ugroženo dno i pokosi, početak će meandriranja te će biti potrebno stabilizirati kanal. Ciljevi projektiranja postavljaju se tako da se izaberu pad i profil kanala takvih vrijednosti da za vrijeme godišnjeg ciklusa unos nanosa bude jednak izlazu nanosa iz kanala. Kako količina nanosa u rijeci varira tijekom godine, koncentracija će ulaznog nanosa također varirati. Pojavit će se razdoblje taloženja i razdoblje odnošenja nanosa.

#### 6.2.3.2. Dimenzioniranje kanala metodom Lacey (metoda režima)

Na temelju istraživanja u Indiji, Lacey je razvio niz jednadžbi za stabilnost toka u kanalima. Postavio je odnos dimenzija i pada kanala i faktora taloženja ( $f$ ):

$$f = 1,76 d_m^{\frac{1}{2}} \quad (6.5)$$

gdje je:

$d_m$  - srednji promjer zrna nanosa (mm)

Empirijskim putem došao je do odnosa:

$$f_{RS} = 285 R^{\frac{1}{3}} s^{\frac{2}{3}} \quad (6.6)$$

$$f_{VR} = 2,46 \frac{V^2}{R} \quad (6.7)$$

i

$$f = (f_{RS} \cdot f_{VR})^{\frac{1}{2}} \quad (6.8)$$

gdje je:

$R$  - hidraulički radijus (m)

$s$  - pad kanala

$V$  - brzina tečenja (m/s)

Iz tih temeljnih jednadžbi izlazi:

$$O = 4,84 Q^{\frac{1}{2}} \quad (6.9)$$

$$R = 0,473 \left( \frac{Q}{f} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.10)$$

$$s = \frac{f^{\frac{5}{3}}}{3311 Q^{\frac{1}{6}}} \quad (6.11)$$

gdje je:

O - omočeni presjek (u)

Ako je kanal izložen utjecaju vjetra koji donosi pijesak, tada se faktor taloženja (f) povećava za oko 10 % na izloženoj dionici kanala i nizvodno.

Iz izraza (6.11) vidi se da pad kanala ovisi o faktoru taloženja i protoku:

Faktor taloženja f	Protok Q (m <sup>3</sup> /s)	
	100	20
0,80	0,0000966	0,000126
0,92	0,0001220	0,000159

Laceyjevi empirijski odosi dobiveni su u uvjetima planiranja i izgradnje kanala u Indiji i primjenjuju se s uspjehom. Za upotrebu tih izraza u drugačijim uvjetima treba biti pažljiv.

*Primjer*

Potrebno je odrediti poprečni profil kanala za kapacitet 100 m<sup>3</sup>/s u zemljanom materijalu sa srednjom dimenzijom zrna d<sub>m</sub>=0,21 mm. Faktor taloženja f po izrazu (6.5):

$$f = 1,76 d_m^{\frac{1}{2}} = 0,81$$

Povećava se vrijednost f za početnih 10 km kanala, pa je f=0,93.

Iz izraza (6.9) i (6.10) određuje se poprečni profil:

$$O = 4,84 Q^{\frac{1}{2}} = 48,48 \text{ m} \quad \text{i} \quad R = 0,473 \left( \frac{Q}{f} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,25 \text{ m}$$

Kako je:

$$F = O \cdot R = 108,9 \text{ m}^2 \quad \text{i} \quad V = \frac{Q}{F} = 0,92 \text{ m/s}$$

$$O = b + 2y(1 + z^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{i} \quad F = (b + zy)y$$

Ako je  $z=0,5$ , tada je dubina vode u poprečnom presjeku  $y=2,48$  m i širina dna  $b=42,85$  m.

Uvođenjem  $V=0,92$  m/s u izraz (6.7), dobije se:

$$f_{VR} = 2,46 \frac{V^2}{R} = 0,925$$

Pad ( $s$ ) dobije se iz (6.11):

$$s = \frac{f^{\frac{5}{3}}}{3311 Q^{\frac{1}{6}}} = 0,000124$$

Unosimo ovu vrijednost u (6.6):

$$f_{RS} = 285 R^{\frac{1}{3}} s^{\frac{2}{3}} = 0,93$$

Iz izraza (6.8), dobije se:

$$f = (f_{RS} f_{VR})^{\frac{1}{2}} = 0,93$$

što odgovara izabranoj vrijednosti faktora taloženja.

Iz Manningove jednadžbe dobije se vrijednost koeficijenta hrapavosti  $n$ :

$$n = \frac{R^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}}}{V} = 0,021$$

Profil kanala s nagibom pokosa 1:1 ( $z=1$ ), širinom dna  $b=42$  m i dubinom vode  $y=2,5$  m ima omočeni presjek  $O=49$  m i hidraulički radijus  $R=2,27$  m. Ti podaci zadovoljavaju određene uvjete za pronošanje nanosa.

S padom  $s=0,000124$  i  $n=0,021$ , brzina tečenja jest:

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}}}{n} = 0,92 \quad \text{i} \quad Q = F \cdot V = O \cdot R \cdot V = 102 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Te su vrijednosti 2 % veće od projektiranog kapaciteta kanala.

Pretpostavimo da se u idućoj dionici kanala (km 10 do km 20) smanji faktor taloženja  $f=0,81$ . Tada je:

$$R = 0,473 \left( \frac{Q}{f} \right)^{\frac{1}{3}} = 2,35 \text{ m}$$

$$s = \frac{f^{\frac{5}{3}}}{3311 Q^{\frac{1}{6}}} = 0,0000987$$

Da bi se ispunili uvjeti pronošanja nanosa u drugoj dionici, mora se povećati hidraulički radijus na  $R=2,35$  m, što povećava i dubinu vode na  $y=2,6$  m uz istu širinu dna  $b=42$  m, dok se pad dna smanjuje na  $s=0,0000987$ .



U tim uvjetima  $n=0,020$  i  $F=115,96 \text{ m}^2$ , a protok je  $Q=F \cdot V=102 \text{ m}^3/\text{s}$ , što zadovoljava projektni protok.

### 6.2.3.3. Empirijska pravila iz bivšeg SSSR-a

Normativi za izgradnju stabilnih kanala u bivšem SSSR-u temeljeni su na odnosu brzine tečenja vode i promjera zrna nekohezivnog materijala dna kanala.

*Najveće dozvoljene brzine u odnosu prema promjeru zrna*

Tablica 6-5

Materijal dna		d (mm)	V (m/s)	Materijal dna		d (mm)	V (m/s)
Prah		0,005	0,15	Kamen	25	1,40	
		0,05	0,20		40	1,80	
Pijesak	fini	0,25	0,30		100	2,70	
	srednji	1,00	0,55		200	3,90	
	krupni	2,50	0,65				
Šljunak	fini	5,00	0,80				
	srednji	10,00	1,00				
	krupni	15,00	1,20				

Dozvoljene brzine, po podacima iz tablice, korigiraju se u odnosu prema dubini vode:

srednja dubina (m)	0,3	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
faktor korekcije	0,8	0,9	1,0	1,1	1,15	1,20	1,25

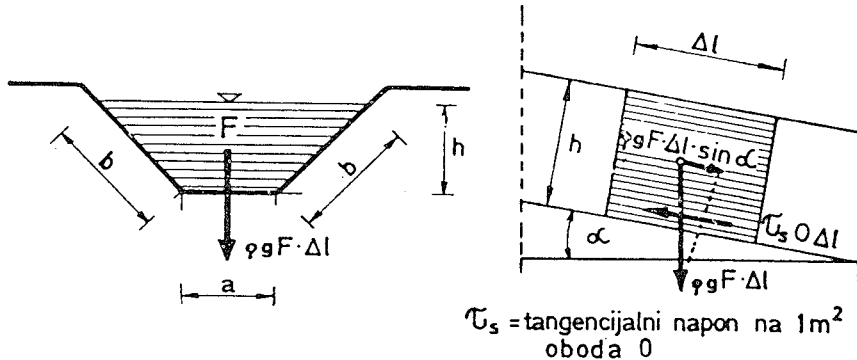
Prikazana su dva načina proračuna kanala koji pronose nanos. Raspoloživih metoda ima mnogo. Chow je napisao da na tečenje u kanalima podložnim eroziji, utječe puno fizikalnih faktora, kompleksni i nesigurni uvjeti na terenu tako da je precizno projektiranje takvih kanala izvan domašaja teorije, uz današnje stanje znanosti.

### 6.2.3.4. Dimenzioniranje kanala teorijom pomične sile

Natapna voda sa suspendiranim koloidnim nanosom smatra se relativno čistom. To je npr. podzemna voda, voda koja se koristi iz vodospreme ili dionice glavnog dovoda u srednjem ili donjem nizvodnom dijelu. Voda sadrži nešto finog nanosa, blizu koloidne suspenzije. Relativno čista voda ima prirodni afinitet za vezivanje čestica nanosa. Sitnozorni materijali tla posebno su osjetljivi na eroziju zbog tečenja vode u kanalu. Zemljani kanali u takvom materijalu moraju se pažljivo dimenzionirati glede geometrije poprečnog presjeka, brzina tečenja vode i uzdužnog pada da se spriječi ispiranje i deformacija profila. Kanali u takvim uvjetima

dimenzioniraju se metodom pomičnih sila (vode). Empirijske metode, kao npr. Kennedyjeva, primjenjuju se za prethodno projektiranje.

Pomična sila vode po jedinici površine dobije se zbrajanjem sila uz omočeni presjek kanala, pretpostavljajući da je komponenta sile od težine vode u smjeru uzdužnog pada u ravnoteži s otporom trenja vode na površini omočenog presjeka.



Sl. 6-1 Pomična sila vode u presjeku kanala

Pomična sila nije jednolika uz omočeni obod, uz izuzetak vrlo širokih kanala ili ako nagib pokosa kanala slijedi kut unutarnjeg trenja materijala. Na čestice tla na pokosu trapezoidnog kanala djeluju pomična sila vode i gravitacija, što izaziva ispiranje čestica - eroziju korita.

#### 6.2.3.4.1. Napon pomične sile

Na temelju većeg broja istraživanja ustanovljena je veličina napona pomične sile vode:

$$\tau = S = \rho \cdot g \cdot h \cdot I \quad (6.12)$$

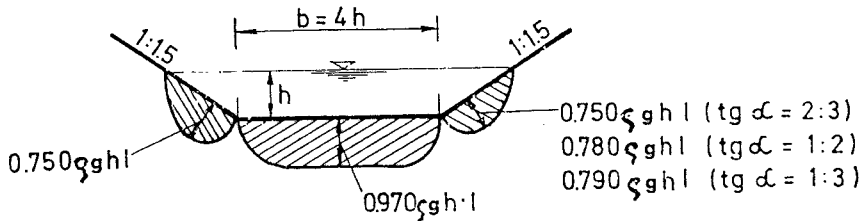
gdje je:

- $\tau = S$  - napon pomične sile vode ( $\text{N/m}^2$ )
- $\rho$  - gustoća vode ( $\text{kg/m}^3$ )
- $g$  - gravitacija ( $\text{m/s}^2$ )
- $h$  - dubina vode u profilu (m)
- $I$  - pad dna kanala

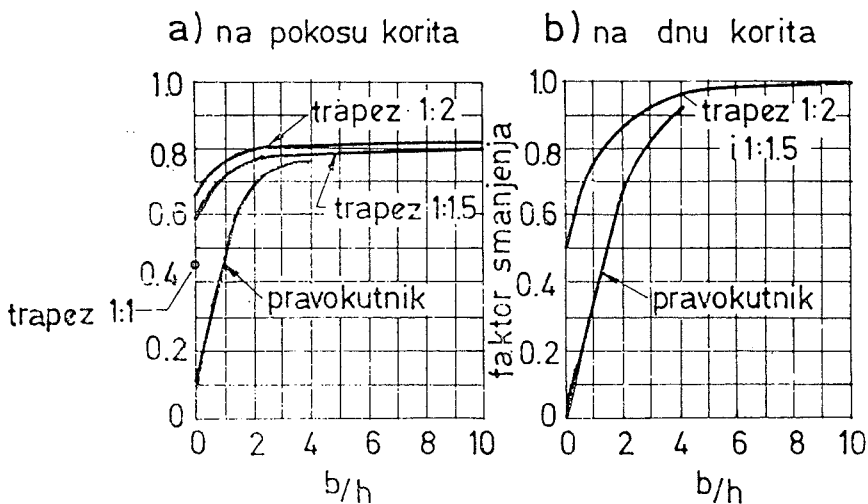
Taj se izraz množi s faktorom smanjenja napona ( $f$ ), koji je funkcija pada i odnosa širine dna i dubine vode.

Izraz (6.12) približno iskazuje rezultirajuće sile iz brzine tečenja i turbulencije nastale u graničnom sloju. Za eroziju je korita to mjerodavan napon (sila), koja nije konstantna po omočenom presjeku. To smanjenje nije linearno (po jednadžbi), što je dokazano pokusima US Bureau of Reclamation.

Iduće slike pokazuju raspodjelu napona pomične sile i faktor smanjenja napona pomične sile.



Sl. 6-2 Raspodjela napona pomične sile u trapeznom presjeku kanala



Sl. 6-3 Faktor smanjenja napona pomične sile

#### 6.2.3.4.2. Granične veličine pomične sile

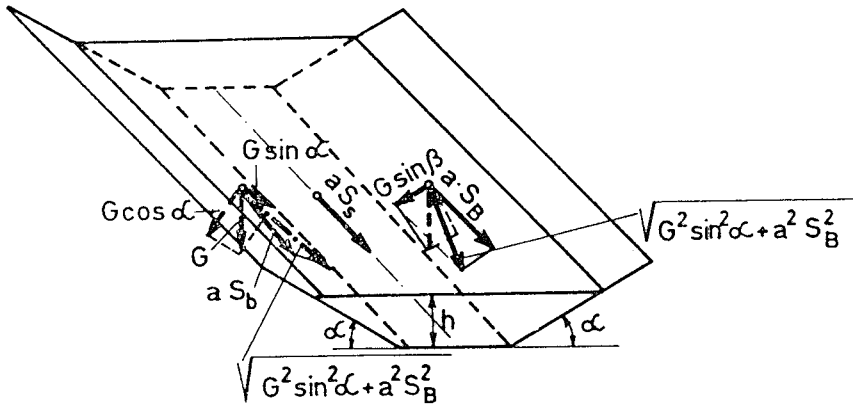
Dopuštena je veličina pomične sile vode najveći granični napon pomične sile koji ne uzrokuje eroziju. Na slici 6-4 predočeno je da na jednu česticu u omočenom presjeku djeluje pomična sila ( $a \cdot S_B$ ) u smjeru tečenja vode i komponenta sile teže ( $G \cdot \sin \alpha$ ) u smjeru pada pokosa. Koeficijent ( $a$ ) predstavlja dijelove ploha. Otpor kretanju jednak je normalnoj sili ( $G \cdot \cos \alpha$ ) pomnoženoj s koeficijentom trenja ( $\tan \varphi$ ), pri čemu je ( $\varphi$ ) kut prirodnog pokosa materijala.

S ovom pretpostavkom US Bureau of Reclamation (USBR) utvrdio je odnos napona pomične sile:

$$n \frac{S_B}{S_g} \quad (6.13)$$

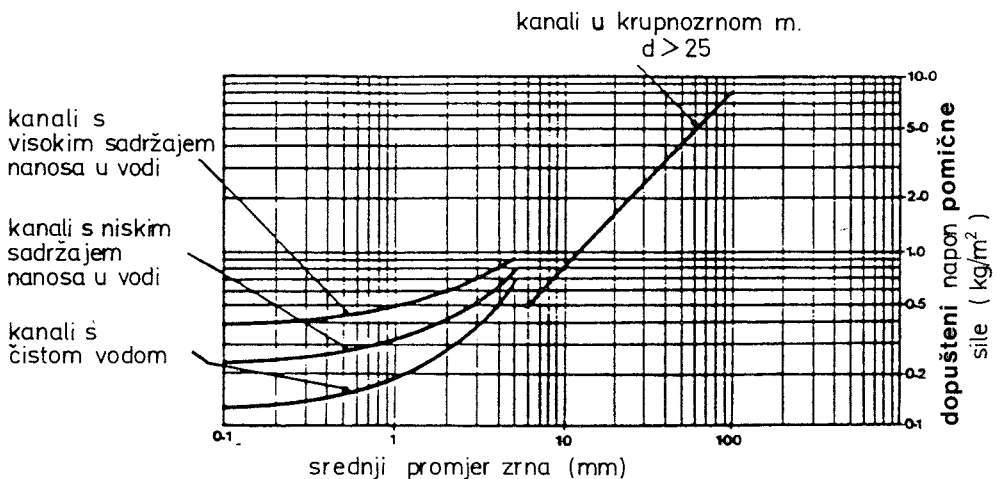
$$n = \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \varphi}} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}} \quad (6.14)$$

Faktor (n) jest odnos između napona pomične sile na pokosu i napona pomične sile na dnu. Taj odnos uzrokuje kod istog materijala početak gibanja čestica na dnu i na pokosu kanala.



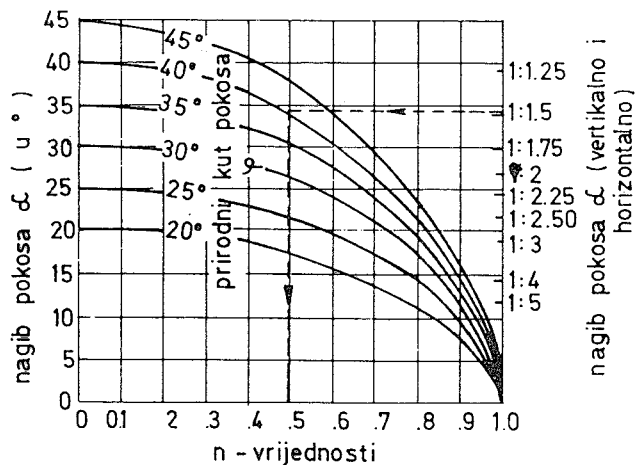
Sl. 6-4 Sile koje djeluju na zrno materijala u omočenom presjeku kanala

Slika 6-5 predočuje granične veličine pomične sile vode u kanalima u nekohezivnom tlu, prema preporuci USBR-a.

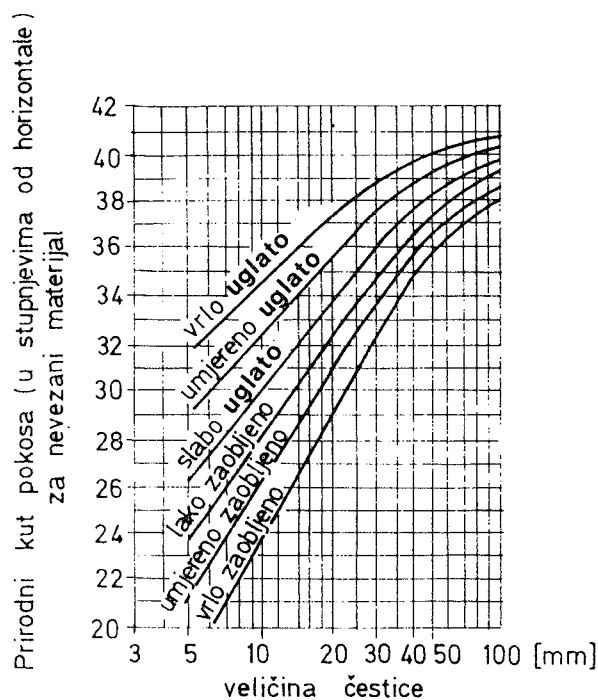


Sl. 6-5 Dopušteni napon pomične sile u nekohezivnom materijalu

Vrijednosti faktora smanjenja ( $n$ ) po izrazu (6.14) prikazane su na slici 6-6 (izvor: USBR). Primjenom podataka sa slike omogućuje se brzo rješenje jednadžbe (6.14) i može se primijeniti za prethodno projektiranje.



Sl. 6-6 Određivanje faktora smanjenja ( $n$ ) pomične sile

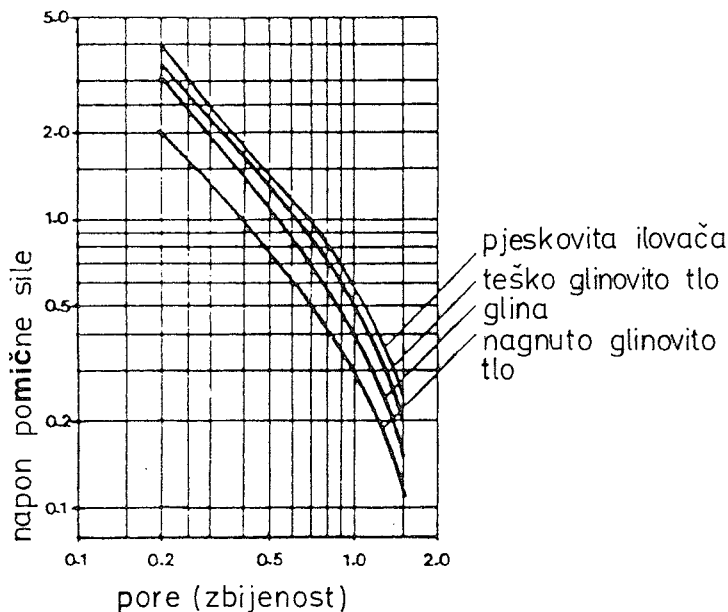


Sl. 6-7 Prirodni kut pokosa nevezanih čestica

Vrijednosti kuta prirodnog pokosa nevezanog materijala ( $\varphi$ ) prikazane su na slici 6-7.

#### 6.2.3.4.3. Granične veličine pomične sile u kohezivnom tlu

Vrijednosti dopuštenih pomičnih sila vode u kohezivnom tlu temelje se na zbijenosti čestica. Kod vezanih materijala povećava se značaj sile kohezije i djelovanje sile teže zanemaruje se u praksi. Približne vrijednosti graničnih veličina pomične sile kanala u kohezivnom materijalu prikazane su na slici 6-8.



Sl. 6-8 Dopušteni napon pomične sile u kohezivnom materijalu

#### 6.2.3.5. Pad kanala

Uzdužni pad kanala računa se prema preuređenom Manningovu izrazu:

$$I = \frac{V^2 n^2}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (6.15)$$

#### 6.2.3.6. Koeficijent hrapavosti

Koeficijenti hrapavosti za proračune erodibilnih kanala prikazani su u tablici 6-6 (po Manningu).

Koefficienti hrapavosti  $n$ 

Tablica 6-6

Koefficient $n$	Vrsta materijala tla
1. 0,020	zemljani kanali kapaciteta $10 \text{ m}^3/\text{s}$ i više, u finom materijalu, neobraštenom, trasa u pravcu; za kanale kap. $80 \text{ m}^3/\text{s}$ i više, srednje obraštenosti, mali zavoji; kanali u glinovitom materijalu
2. 0,0225	kanali kapaciteta 10 do $80 \text{ m}^3/\text{s}$ , s opisom pod 1. za kapacitete od 80 i više $\text{m}^3/\text{s}$
3. 0,025	kanali kapaciteta manje od $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , duži kanali gusto obrasli, hrapavo dno
4. 0,0275	kanali u rastrošenoj stijeni, zbijenoj
5. 0,030	gusto obrasli kanali, nepravilno korito, na dnu komadi stijena ili kanali oštećeni erozijom

## 6.2.3.7. Računski primjer

Potrebno je projektirati zemljani kanal kapaciteta  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Materijal je tla nekohezivan fini pijesak s nešto praha. Izvorište je vode akumulacija i voda je čista.

*Prvi korak*

Geotehničkim istražnim radovima određena je distribucija veličina zrna materijala, kut prirodnog pokosa materijala i nagib pokosa kanala. Za potrebe su računa to vrijednosti:  $d_{50}=0,4 \text{ mm}$ ,  $\varphi=25^\circ$  i nagib pokosa 3:1 ( $z=3$ ).

*Drugi korak*

Koefficient hrapavosti po Manningu  $n=0,020$  (tablica 6-6), prva pretpostavka dubine vode  $h=2,5 \text{ m}$ . Iz slike 6-3 očitamo vrijednost faktora smanjenja napona pomične sile na dnu:  $\tau_B=0,97$ , na pokosima  $\tau_P=0,80$ .

Sila na dnu (približna vrijednost):  $S_B=2,5 \cdot 1000 \cdot I \text{ (kg/m}^2\text{)}$

Sila na pokosima:  $S_P=0,8 \cdot 2,5 \cdot 1000 \cdot I \text{ (kg/m}^2\text{)}$

Iz slike 6-5 očitamo dopuštenu pomičnu silu na dnu  $\tau_B=0,15 \text{ kg/m}^2$  (za zrno  $d_{50}=0,4 \text{ mm}$ ). Odnos napona pomične sile (ili faktor smanjenja) za  $\varphi=25^\circ$  i  $z=3$  dobije se po izrazu (6.14):

$$n = \sqrt{I - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}} = 0,66$$

Ta se vrijednost također može dobiti i sa slike 6-6.

Dopuštena pomična sila na pokosima:  $\tau_P=0,66 \cdot 0,15=0,10 \text{ kg/m}^2$ .

*Treći korak*

Određiti dopušteni pad kanala  $I$  tako da se ne premaše granične vrijednosti pomične sile ( $\tau$ ):

- za pokose:  $\tau_P=0,10=2,5 \cdot 0,8 \cdot 1000 \cdot I$ ,  $I=0,00005$

- za dno:  $\tau_B=0,15=2,5 \cdot 1000 \cdot I$ ,  $I=0,00006$

#### Četvrti korak

Odrediti širinu dna ( $b$ ) s koeficijentom hrapavosti po Manningu:  $n=0,020$ ,  $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $h=2,5 \text{ m}$ ,  $z=3$  i  $I=0,00005$ .

Kako još nije poznata površina poprečnog presjeka, širina dna određuje se pokušajima:

- za  $h=2,5 \text{ m}$ ,  $z=3$ ,  $n=0,02$  i  $I=0,00005$ ;
- iz  $V=R^{2/3} \cdot I^{1/2}/n$  i za trapezni profil:

$$R = \frac{(b+z)h}{b+2h(1+z^2)^{1/2}}$$

tada za  $b=60 \text{ m}$  dobijemo  $Q=V F=101,7 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Ta je vrijednost za 2 % veća od zadanog kapaciteta  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### Peti korak

- usporediti gornje rezultate za dubinu vode  $h=3 \text{ m}$ ;
- dopušteni pad:  $I=0,10/(3 \cdot 0,8 \cdot 1000)=0,000042$ ;
- širina dna:  $b=47 \text{ m}$ ;
- protok:  $Q=101,50 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### Zaključak

Oba su proračunata profila prihvatljiva, ali je potrebno napomenuti da profil s većom dubinom vode ima prednosti:

- zauzima manje površine tla
- smanjuju se gubici od procjeđivanja jer je smanjen omočeni presjek za  $10 \text{ m}^2/\text{m}$  dužine kanala.

Projektirani kanal treba imati nadvišenje od  $1,5 \text{ m}$  te bankine široke  $6 \text{ m}$  s jedne strane i  $4 \text{ m}$  s druge strane kanala. Na slici su prikazani tipični poprečni presjeci kanala za projektni kapacitet  $Q=100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 6.2.3.8. Primjena Kennedyjeve formule

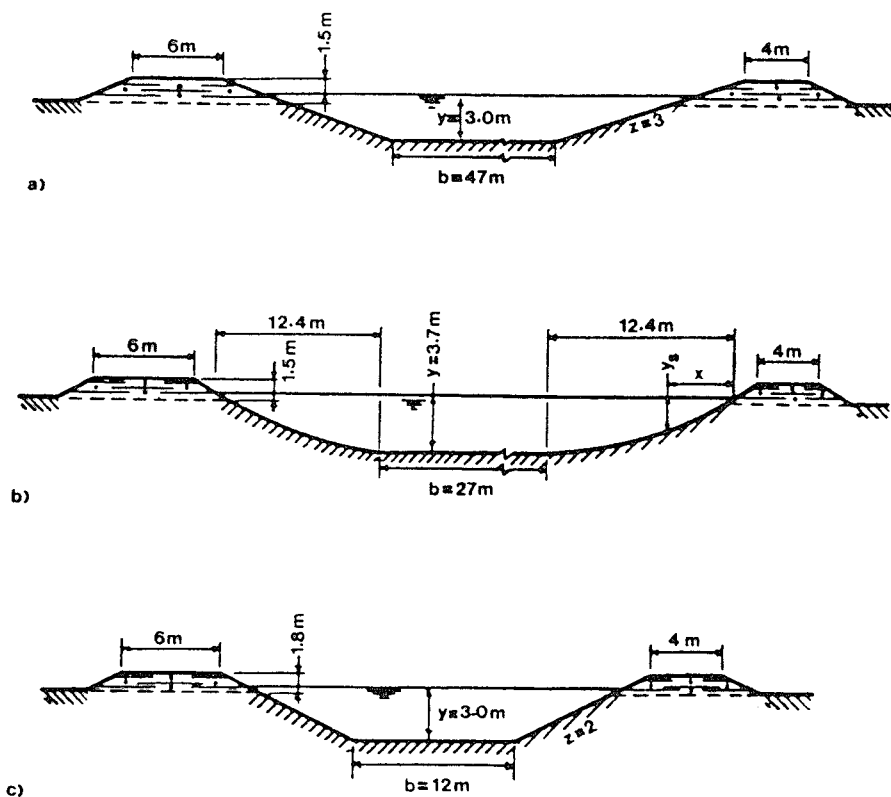
Kennedyjev izraz razvijen je za određivanje potrebne brzine tečenja vode za pronošnje nanosa u kanalu. Izraz glasi:

$$V = 0,55 \cdot C \cdot h^{0,64}, \quad (6.16)$$

gdje je:

- $V$  - brzina tečenja za ravnotežno stanje (nema pojave erozije ni taloženja nanosa), (m/s)
- $C$  - koeficijent koji ovisi o karakteristikama tla
- $h$  - dubina vode (m)





Sl. 6-9 Tipični poprečni presjeci kanala

Vrijednosti koeficijenta  $C$  - Kennedy

Tablica 6-7

$C$	Vrsta tla
0,56	vrlo fini pijesak - praškasti, lako tlo
0,84	lako, pjeskovito tlo
0,92	pjeskovito tlo
1,01	pjeskovito - glinoviti prah
1,09	krupniji prah, rastrošeno tlo

Za protjecanje čiste vode USBR predlaže upotrebu modificirane Kennedyjeve formule:

$$V_1 = 0,55 \cdot C \cdot h^{\frac{1}{2}} \quad (6.17)$$

USBR predlaže upotrebu ove formule za brzine tečenja koje ne izazivaju eroziju, te kada se upotrebljava pijesak i šljunak za zaštitu pokosa od valovanja:

$$V_2 = \frac{d_{50}^{\frac{1}{3}} \cdot R^{\frac{1}{6}}}{2} \quad (6.18)$$

Kennedyjeva je formula korisna za prethodno projektiranje, međutim proračuni za glavne projekte - proračuni poprečnih profila zemljanih kanala u erodibilnom tlu, za tečenje vode sa ili bez nanosa, moraju se temeljiti na metodi pomičnih sila vode.

## 6.2.4. Obloženi kanali

### 6.2.4.1. Općenito

Razlozi za oblaganje zemljanih kanala mogu biti: sprečavanje gubitaka vode za natapanje, smanjenje presjeka kanala, a time i štednja površina, smanjenje troškova održavanja i pogona. Bitan je utjecaj na okoliš jer procjedna voda ulazi u podzemlje i djeluje na zabarivanje područja.

Ima tri glavne vrste oblaganja: krute obloge, ukopane ili zaštićene membrane i zemljane obloge. Poglavlje o planiranju i građenju obloženih natapnih kanala obrađeno je detaljno u knjizi 4 Priručnika u 1995. godini pa se sada ne ponavlja ta građa. Obradit će se posebno poglavlja ove teme.

### 6.2.4.2. Nadvišenja za obložene kanale

Preporučene minimalne visine nadvišenja obala iznad razine vode iskazane su u tablici 6-8.

Veličina zrna šljunka i kamena za zaštitu od djelovanja valova zbog vjetera prikazuje se u tablici. Ta se zaštita preporučuje na rubovima zaštićenih membrana, zatim zemljanih obloga i stabiliziranog tla. Zaštita se postavlja u traku od gornjeg ruba obloge do oko 0,50 m ispod najniže pogonske razine vode u kanalu.

Naglo zatvaranje ustave - regulatora u natapnom kanalu može izazvati valove s relativno velikom brzinom. Do pojave valova dolazi i ako se iz kanala crpi voda crpnom stanicom, i to pri iznenadnom zaustavljanju rada crpke. U takvim je slučajevima potrebno izvesti dodatno nadvišenje i zaštitu od erozije.

Brzina i visina valova proračunava se pomoću translacijske valne teorije. Za kanale pravokutnog presjeka i uz zanemarivanje sila trenja, vrijedi izraz:

$$V_2 = \frac{y_1}{y_2} (V_1 - C) + C, \quad (6.19)$$

gdje je:

$y_1$  i  $y_2$  - početna i završna dubina (m)

- $y_1 - y_2$  - visina vala (m)  
 $V_1$  i  $V_2$  - početna i završna brzina u kanalu (m/s)  
 $C$  - brzina vala (m/s)

## Veličine nadvišenja za obložene kanale

Tablica 6-8

Projektni kapacitet kanala (m <sup>3</sup> /s)	Visina iznad razine vode u kanalu		
	Krute obloge i zaštićene membrane (m)	Zemljane obloge (m)	Obala (m)
do 1	0,15	0,15	0,40
2	0,20	0,15	0,60
5	0,30	0,20	0,80
10	0,40	0,25	0,90
20	0,50	0,30	1,00
50	0,60	0,40	1,20
100	0,70	0,50	1,40
200	0,80	0,55	1,60

## Veličina zrna šljunka za zaštitu od valova

Tablica 6-9

Visina vala (m)	Zrno $d_{50}$ (mm)
0,10	40
0,15	75
0,20	100
0,30	150

Ako se val širi uzvodno:

$$C = - \left[ \frac{g y_2}{2 y_1} (y_2 + y_1) \right]^{\frac{1}{2}} + V_1 \quad (6.20)$$

Vrijednosti ( $C$ ) i ( $y_2$ ) određuju se metodom pokušaj - pogreška, dobivajući završnu dubinu ( $y_2$ ). S tom vrijednosti  $y_2$  ulazi se u izraz (6.20) pa se dobije brzina vala ( $C$ ) koja zadovoljava jednadžbu (6.19).

Za ostale presjeke kanala vrijedi:

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2}(V_1 - C) + C \quad (6.21)$$

$$C = - \left[ \frac{g(A_2 \bar{y}_2 - A_1 \bar{y}_1)}{A_1 \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} + V_1 \quad (6.22)$$

$$\bar{y} = \left( \frac{\frac{b}{2y} + \frac{z}{3}}{z + \frac{b}{y}} \right) y, \quad (6.23)$$

gdje je  $y$  udaljenost od površine do centra omočenog presjeka.

Kako su zanemarene sile trenja, stvarna visina vala bit će nešto niža jer otpori u kanalu uvjetuju smanjenje visine vala.

Nizvodno od ustave pojavljuje se negativan val sa smanjenjem dubine i stupnjevana recesija vodnog lica koja se kreće nizvodno.

Površine kanala izložene valovima moraju se zaštititi.

#### 6.2.4.3. Računski primjer

Potrebno je projektirati kanal obložen zaštićenom membranom kapaciteta 100 m<sup>3</sup>/s. Materijal za pokrivanje ima promjer  $d_{75}=8$  mm, srednje zaobljen. Vjetar generira valove visine 0,2 m. Za dimenzioniranje primijeniti teoriju pomične sile. Koeficijent hrapavosti po Manningu  $n=0,0225$  (tablica 6-6).

##### Prvi korak

Kut prirodnog pokosa materijala za pokrivanje za  $d_{75}=8$  mm:  $\varphi=24^\circ$  (slika 6-7); pokos kanala 1:3 (slika 6-6).

##### Drugi korak

Maksimalna pomična sila (slika 6-3):

- pokosi:  $\tau_p=0,78 \cdot 1000 \cdot h \cdot I$

- dno:  $\tau_B=0,97 \cdot 1000 \cdot h \cdot I$

##### Treći korak

Dopuštena pomična sila:  $n=0,63$  (slika 6-6) ili po izrazu (6.14):

$$n = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}}$$

- pokosi:  $\tau_p = n \cdot 0,65 = 0,63 \cdot 0,65 = 0,41 \text{ kg/m}^2$
- dno:  $\tau_B = 0,65 \text{ kg/m}^2$  (slika 6-5)

#### *Četvrti korak*

Pokušaj: s dubinom vode  $h=3,00 \text{ m}$  odrediti pad kanala;

- pokosi:  $I = 0,41 / (780 \cdot 3,0) = 0,000175$  (odlučujući)
- dno:  $I = 0,65 / (970 \cdot 3,0) = 0,00022$

#### *Peti korak:*

Pokušaj: širina dna  $b=24 \text{ m}$ , dubina vode  $h=3,0 \text{ m}$ , pad  $I=0,000175$ ;

$O=42,97 \text{ m}$ ;  $F=99,0 \text{ m}^2$ ;  $R=2,30 \text{ m}$ ;  $v=1,02 \text{ m/s}$ ;  $Q=101,50 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

ostaje širina  $b=24 \text{ m}$ .

#### *Šesti korak:*

Pretpostavljena je sezonska minimalna radna razina vode u kanalu  $0,80 \text{ m}$  ispod projektirane razine. Za valove visine  $0,20 \text{ m}$ , zrno  $d_{50}$  za šljunak za zaštitu od valova jest  $100 \text{ mm}$  (tablica 6-9). Nadvišenje je obloge  $0,7 \text{ m}$ . Zaštita od valova prostire se u pojasu od  $0,70 \text{ m}$  iznad do  $1,30 \text{ m}$  ispod projektirane razine vode u kanalu.

## 6.3. PROJEKTIRANJE I PRORAČUN GRAĐEVINA NA KANALIMA

### 6.3.1. Uvod

Glavni dovodni kanal može imati na trasi ove objekte: tunele, obrnute sifone, objekte za prekid pada, akvedukte i crpne stanice.

Tuneli se izvode kroz topografske barijere koje se ne mogu zaobići otvorenim kanalom. Obrnutim sifonom prelaze se terenske depresije ili prirodni i umjetni vodotoci ako se ovi prijelazi ne mogu riješiti gospodarski povoljnijim rješenjem. Ako je pad terena veći od dopuštenog pada dna kanala, izvode se objekti za prekid nivelete kanala i na tom se mjestu snižava kota dna kanala. Dio je tog objekta umirujući bazen za uništenje energije vode kao posljedice skoka. Za veće visinske razlike u kotama dna, uputno je razmotriti izvedbu hidroelektrane. Akvedukti se primjenjuju za vođenje glavnog dovoda preko velikih i dubokih depresija, preko komunikacija (cesta, željeznica) te preko velikih odvodnih kanala. Ekonomska analiza pokazuje koje je rješenje povoljnije, da li obrnuti sifon ili akvedukt, ako se mogu primijeniti oba. Kod obrnutog sifona pojavljuje se gubitak tlaka, što je značajno kod velikih sustava. Crpne stanice izvode se kada je potrebno podignuti razinu kanala zbog topografskih prilika.

### 6.3.2. Prijelazni dijelovi konstrukcije objekta

Uzvodno i nizvodno od objekta - građevine, na kanalu je potrebno optimalno projektirati prijelazni objekt koji omogućuje uvjete mirnog utjecanja vode u građevinu, minimalizira gubitke tlaka, smanjuje pojavu valova i vrtloženja na istjecanju vode iz građevine.

Gubici tlaka u prijelaznoj konstrukciji nastaju od tečenja vode i trenja. Gubitak od trenja obično je vrlo malen u odnosu prema gubicima tečenja. Gubitak tlaka na ulazu i izlazu iz građevine računa se prema:

$$\Delta H_n = c_n \Delta h_n = c_n \frac{(v_u - v_i)^2}{2g}, \quad (6.24)$$

gdje je:

$\Delta h_n$  - razlika tlakova na ulazu i izlazu iz građevine

$c_n$  - koeficijent ulaznog i izlaznog gubitka tlaka

$v_{u,i}$  - brzina vode u kanalu, uzvodno i nizvodno od građevine

Vrijednosti koeficijenta (c) ovise o tipu prijelazne građevine i razlikuju se za ulazni i izlazni dio. Preporučljive vrijednosti iskazane su u tablici.

Koeficijent gubitka tlaka (c)

Tablica 6-10

Oblik prijelaznog objekta	Ulazni dio	Izlazni dio
bočna stijena zakrivljena (tlocrtno), prijelaz od nagiba pokosa do vertikale	0,10	0,20
bočna stijena pravocrtna (tlocrtno), postupni prijelaz od nagiba pokosa do vertikale	0,20	0,30
okomiti prijelaz	0,50	1,00

Minimalna dužina prijelazne konstrukcije iznosi:

$$L_u = \frac{T}{2 \operatorname{tg} 27,5^\circ}$$

$$L_i = \frac{T}{2 \operatorname{tg} 22,5^\circ}, \quad (6.25)$$

gdje je:

T - promjena u širini vodnog lica (m)

### 6.3.3. Froudeov broj

Prijelazni dijelovi konstrukcije, kao i građevine, projektiraju se tako da je tečenje vode mirno, tj. da su dubine vode veće od kritične dubine. Time se izbjegavaju uzvodne brzine tečenja koje mogu izazvati eroziju.

Objekti na kanalu dimenzioniraju se tako da se održi mirno tečenje vode. Time se izbjegava pojava valova i pogonske teškoće (posebno kod obrnutih sifona).

Froudeov je broj bezdimenzionalni parametar u strujanjima gdje dominiraju gravitacijske i inercijske sile.

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \frac{A}{B}}}, \quad (6.26)$$

gdje je:

- V - brzina tečenja (m/s)
- g - gravitacijska konstanta,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- A - poprečni presjek ( $\text{m}^2$ )
- B - širina vodnog lica (m)

Froudeov je broj:

- a) veći od 1 za silovito tečenje, pri kojem su dubine manje od kritične ( $h < h_{kr}$ )
- b) manji od 1 za mirno tečenje, pri kojem su dubine veće od kritične ( $h > h_{kr}$ )
- c) jednak 1 za kritični tok, kada su dubine jednake kritičnoj dubini ( $h = h_{kr}$ )

Vrste, planiranje, proračun, izvedba i pogon građevina sustava za natapanje obrađeni su u knjizi 4 Priručnika, koja je objavljena u 1995. godini.

## 6.4. PROJEKTIRANJE I OPTIMALIZACIJA KANALSKIH MREŽA

### 6.4.1. Definicije

Razvodna natapna mreža kanala provodi vodu od glavnoga dovodnog kanala do opreme za natapanje na parcelama ili grupi parcela. Ima više vrsta podjela razvodne mreže u odnosu prema veličini natapnih površina, a jedan način podjele prikazan je u poglavlju 3. ove knjige.

## 6.4.2. Karakteristike kanalske mreže

### 6.4.2.1. Lokacijski položaj

Kanalska mreža projektira se nakon što je određeno mjesto dodjele vode parceli ili grupi parcela na temelju definiranih granica farmi. Prirodni su vodotoci i odvodni kanali na natapnoj površini presudni u određivanju granica polja, koje opskrbljuje natapni kanal. Normalni položaj natapnog kanala omogućuje opskrbu vodom najviših kota parcele. Obrok dodjele vode odgovara projektiranom kapacitetu na zahvatu vode parcele ili grupe parcela.

### 6.4.2.2. Kapacitet

Kapacitet razvodne mreže ovisi o izabranom načinu pogona za projekt natapanja, koji može biti u turnusu, na zahtjev i kontinuirano. Razvodna mreža mora imati takvu propusnu moć da osigura dovod najveće potrebne količine natapne vode za pripadnu površinu. Ta se količina vode uvećava za veličinu gubitaka vode i pogonske gubitke. Gubitak je vode na isparavanje relativno malen.

### 6.4.2.3. Gubici vode

Opisana procedura utvrđivanja gubitaka vode procjeđivanjem u točki 6.2.2. ovog poglavlja može se primijeniti i za razvodnu mrežu. Pogonske je gubitke vode na kraju razvodnog kanala skoro nemoguće izbjeći jer se ne može postići idealna ravnoteža dodijeljene isporučene (i mjerene) količine vode na zahvatu distribucijskog kanala i dodjele na farmerskim ispustima. Veličina od 2 % do 5 % potrebne natapne vode čini pogonske gubitke.

Na primjer, razvodni neobloženi kanal dužine 6 km, izveden u pjeskovitoj ilovači, ima infiltraciju od 200 mm/dan. Najveći kapacitet kanala (potreba za vodom površina koje opskrbljuje) jest 1,20 m<sup>3</sup>/s na početku kanala i 0,15 m<sup>3</sup>/s na njegovu kraju.

Ukupna je ovlažena površina 15000 m<sup>2</sup> pa je veličina procjeđivanja 0,2 · 15000 = 3000 m<sup>3</sup>/dan ili 35 l/s. Ako je srednji protok kanala 700 l/s, onda ti gubici čine 5 %. Ako su pogonski gubici 3 %, onda su ukupni procijenjeni gubici 8 %. Projektni kapacitet tog razvodnog kanala u svakoj točki dobije se tako da se nizvodna potreba za vodom uveća za 8 %.

### 6.4.2.4. Križanje s odvodnim kanalom

Križanje razvodne natapne mreže s odvodnim kanalima događa se u specijalnim slučajevima. Razvodna mreža locira se u pravilu između odvodnih kanala. Posebni slučajevi nastaju, na primjer, kad natapni kanal nižeg reda radimo do izoliranih površina za natapanje ili ako je topografija terena takva da se može ekonomično natapati dio površine samo uz položaj natapnog kanala koji presijeca odvodne kanale (prirodne ili umjetne). Kako su razvodni kanali generalno malog profila, obično je



ekonomski povoljnije izvesti križanje na način da natapni kanal provedemo obrnutim sifonom ispod odvodnog kanala nego da odvodni kanal provodimo propustom ispod natapnog kanala.

#### 6.4.2.5. Zavoji na trasi

Kapaciteti razvodnih kanala rijetko prelaze kapacitet od  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , obično su do  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Samo u izuzetnim situacijama razvodni kanali imaju veći kapacitet (npr. kada je povoljnije da jedan razvodni kanal opskrbljuje vodom veliku natapnu površinu između dvaju odvodnih kanala).

Neobloženi kanali, kapaciteta do  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  imaju najmanji radijus zavoja jednak peterostrukoj širini vodnog lica. Kod obloženih je kanala to trostruka širina vodnog lica.

#### 6.4.2.6. Dimenzioniranje presjeka

Nagib je pokosa kanala uobičajeno 1:1,5 ( $z=1,5$ ). Obloženi kanali, kapaciteta manjeg od  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , mogu imati pokose 1:1 u stabilnom tlu. Odnos širine dna i dubine vode za zemljane kanale uobičajeno iznosi od 3:1 do 4:1 u prosječnom tlu. Ako je tlo nevezano (prah i pijesak), stabilnost presjeka kanala mora se provjeriti teorijom pomičnih sila, opisanom u točki 6.2.3. ovog poglavlja. Obloženi kanali imaju odnos širina dna i dubine vode 1:1.

Minimalno nadvišenje za razvodne kanale treba biti:

#### *Nadvišenja obala kod razvodnih kanala*

*Tablica 6-11*

Kapacitet kanala ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Kruta obloga ili membrane (m)	Zemljana obloga (m)	Nadvišenje obale (m)
do 1	0,15	0,15	0,4
2	0,20	0,15	0,6
5	0,30	0,20	0,8

#### 6.4.2.7. Brzina tečenja

Maksimalna prosječna brzina u zemljanom razvodnom kanalu može se odrediti pomoću Kennedyjeve formule, izraz (6.16), modificirane za čistu vodu. Maksimalna brzina u obloženim kanalima (tvrda obloga) treba biti ispod kritične, što se postiže tako da se pripadni Manningov koeficijent  $n$  uzima s 80 % vrijednosti. Za neobložene kanale  $n=0,025$ , a za obložene  $n=0,014$ .

#### 6.4.2.8. Inspekcijski putovi na obali kanala

Uz razvodne kanale potreban je put za kontrolu i održavanje. Ako ima pristupna cesta na tom dijelu sustava, dobro je da bude smještena uz kanal. Širina puta za kontrolu i održavanje iznosi minimalno 4 m, a suprotna obala ima bankinu široku do 2 m za potrebe održavanja kanala.

#### 6.4.2.9. Računski primjeri

##### a) Betonom obložen kanal

Treba ispitati da li je brzina tečenja vode u kanalu manja od kritične brzine.

Podaci:

- $Q=1 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- širina dna  $b=0,6 \text{ m}$ ;
- pad kanala  $I=0,0018$ ;
- nagib pokosa  $z=1$ ;
- dubina vode  $y=0,6 \text{ m}$ ;
- Manningov koeficijent  $n=0,014$ .

Srednja brzina tečenja vode:

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}}{n} = \left[ \frac{(b + zy)}{b + 2y(I + z^2)^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{I^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$V = 1,40 \text{ m/s}$$

Protok:

$$Q = V \cdot F = V(b + zy)y = 1,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ako je stvarna hrapavost manja od očekivane ( $n=0,8 \cdot 0,014=0,011$ ), uz zadržavanje  $Q=1 \text{ m}^3/\text{s}$ , metodom pokušaja dobijemo dubinu vode 0,53 i brzinu  $v=1,67 \text{ m/s}$ .

Ako reduciramo dubinu vode za 3 cm, zbog neravnosti dna, brzina je tečenja:

$$V = Q/F = 1/(b + zy)y = 1,82 \text{ m/s}$$

Za određivanje kritične dubine primjenjujemo izraz (6.26) za Froudeov broj, koji je jednak 1 za kritičan tok, tj. kritičnu brzinu:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{\frac{gF}{T}}} = 1$$

$$V_{kr} = \left[ \frac{g(b + zy)y}{b + 2zy} \right]^{\frac{1}{2}} = 1,84 \text{ m/s}$$

Vidi se da je, uz reduciranu dubinu vode zbog neravnosti dna, brzina tečenja vode u kanalu subkritična.

#### b) Zemljani kanal

Određiti dopušteni maksimalni pad zemljanog kanala izvedenog u srednje finom lakom tlu (prašinsto - pjeskovito), kapaciteta  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , koji provodi čistu vodu, nagiba pokosa 1:1,5 ( $z=1,5$ ) i širine dna  $b=4y$ .

Primjenom modificirane Kennedyejeve formule - izraz (6.17) za pronošnje čiste vode

$$V = 0,55 \cdot c \cdot y^{\frac{4}{3}} = 0,462 y^{\frac{4}{3}} \quad (\text{sa vrijednosti } c \text{ iz tablice 6-7: } c=0,84).$$

Ako je dubina  $y=0,70 \text{ m}$ , tada brzina ne može biti veća od  $0,39 \text{ m/s}$ .

Uz  $Q=1 \text{ m}^3/\text{s}$  i  $Q=V F$  površina presjeka  $F=2,54 \text{ m}^2$ .

Kako je  $F=(b+zy)y$ , računamo  $b=(F/y)-zy=2,6 \text{ m}$ . Koeficijent hrapavosti po Manningu jest  $n=0,025$  (tablica 6-6), a iz:

$$V = R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} / n \quad \text{i} \quad R = (b + zy)y / b + 2y(1 + z^2)^{\frac{1}{2}}$$

izračunavamo pad:  $I=0,00024$ .

## 6.5. POGON KANALSKIH MREŽA (REGULIRANJE)

### 6.5.1. Uvod

U glavnome dovodnom kanalu i u kanalskoj natapnoj mreži protok varira s vremenom. Posljedica je toga i stalna promjena dubine vode u kanalima. Promjene su uvjetovane smanjenjem ili povećanjem potreba za natapnom vodom na polju, a uzrok mogu biti i smetnje izazvane nepredvidljivim događajima.

Zbog toga se kontrolira količine vode, razina vode i kanal u različitim uvjetima tečenja. Uređena kontrola u kanalima osigurava opskrbu vodom parcela - farmi s odgovarajućim obrokom, pravilnim turnusom i trajanjem dodjele vode. Eliminiraju se također nepotrebni pogonski gubici vode u kanalu.

Natapni sustav s reguliranim dotokom ima ove prednosti:

- učinkovito korištenje vodnih resursa
- pruža visoku kvalitetu usluge korisnika
- sustav ima nisku cijenu pogona
- smanjuje se potreba za radnom snagom
- voda se dodjeljuje i naplaćuje po količini, po  $\text{m}^3$
- smanjuju se troškovi crpljenja vode
- manji su problemi koje natapni sustav može izazvati u okolišu.

Reguliranje je pogona dio upravljanja sustavom za natapanje. Pri planiranju, projektiranju i izgradnji sustava treba razmišljati o učinkovitu upravljanju sustavom.

## 6.5.2. Reguliranje pogona kanala

### 6.5.2.1. Karakteristike i opće potrebe

Natapni kanali kapaciteta do 5 m<sup>3</sup>/s klasificiraju se općenito u male kanale. Većina razvodnih kanala pripada ovoj kategoriji. Kanali mogu pokriti potrebe za vodom projekta natapanja do 5000 ha bruto površine.

Mali natapni kanali primaju vodu iz glavnog dovodnika ili se opskrbljuju vodom izravno iz vodotoka, akumulacije, crpne stanice na vodotoku ili podzemnom vodom. Cilj je analiza u elaboratu o ekonomskoj izvodljivosti projekta natapanja opravdanje izgradnje sustava kanalske mreže pa troškovi projekta postaju važan faktor u procesu planiranja sustava, posebno regulacijskoga, zaštitnog i uređaja za mjerenje količine vode.

#### 6.5.2.1.1. Potrebe za regulacijom

Razvodni kanali imaju malu vrijednost hidrauličkog radijusa i potreban je relativno velik uzdužni pad da bi se održale prihvatljive brzine tečenja. Oni pružaju mali potencijal akumulirane vode u tijelu kanala. Ti čimbenici otežavaju regulaciju u kanalima u odnosu prema regulaciji u glavnim dovodima. Temeljni objekti za regulaciju u razvodnim kanalima jesu zapornice ili ustave za kontrolu podjele vode kanalima nižeg reda i farmskim ispuštima te za kontrolu razine vode u kanalima.

Viša razina kontrole, uključujući potpuno automatizirani sustav kontrole, može se postići ako se povećaju nadvišenja kanala, ugradnjom dodatnih potrebnih objekata i opreme, automatizacijom sustava, ugradnjom mjerača razine, vodomjera i monitoringa. Projektni faktori koje treba uzeti u obzir pri ocjeni višeg stupnja regulacije i automatizacije, uključuju:

- razvodna mreža natapnog sustava izvodi se od obloženih kanala ili kao cijevna mreža;
- vodni su resursi ograničeni i skupi pa je viša razina regulacije potrebna za osiguravanje učinkovite uporabe raspoložive vode, uz minimalne gubitke;
- površine za natapanje moraju biti potpuno uređene za proizvodnju i potrebna je učinkovita oprema za natapanje;
- očekuje se da projekt proizvodi visokovrijedne kulture i da se tako opravdaju dodatni troškovi.

#### 6.5.2.1.2. Sustavi za regulaciju

Općenito, ima tri načina regulacije u razvodnoj kanalskoj mreži: ručni pogon, poluautomatski i potpuno automatizirani sustavi.

U regulacijskom sustavu na ručni pogon operator-radnik na natapnom sustavu prilagođuje otvor ustava za raspodjelu vode, namješta ostale regulatore, postavlja zapornice farmskih ispusta u skladu s planom dodjele vode za taj dan.

U poluautomatskom regulacijskom sustavu glavni zahvat vode ili pogon crpne stanice kontroliran je pomoću automatskog senzora, smještenoga na uzvodnome kontrolnom presjeku, a regulator na glavnom dovodu opremljen je hidromehaničkom

ili elektroopremom za pogon. Ispusti u kanale nižeg reda jesu tipa modula, dok farmerski ispusti rade na ručni pogon.

U potpuno automatiziranome kontrolnom sustavu dodani su dijelovi opreme za daljinsku kontrolu i telemetriju, mjerači razine i količine vode postavljeni su na strateškim mjestima, ustave su automatske - s hidromehaničkim ili elektro pogonom, farmerski ispusti su modulnog tipa.

#### *6.5.2.2. Ručna regulacija*

Projekt ručne regulacije razvodne natapne mreže uključuje ove objekte i opremu za kontrolu razine, količina vode i zaštitu:

##### *6.5.2.2.1. Zahvat vode*

Objekt se locira na čelu - početku razvodnog kanala. Ako se kanal opskrbljuje vodom iz rijeke, tada zahvatni objekt mora imati pločastu zapornicu ili radialnu ustavu za kontrolu količine vode. Kako se u prirodnom vodotoku javljaju velike vode (poplave), mora se zaštititi razvodni sustav od eventualnog ulaska velike vode u sustav. To se provodi izgradnjom preljevnoga zaštitnog objekta. Uobičajeno je da se uza zahvatni objekt izvodi i vodomjerni objekt za mjerenje količina vode.

##### *6.5.2.2.2. Crpna stanica*

Protok razvodnog kanala u ovom slučaju regulira se kontrolom režima rada crpne stanice.

##### *6.5.2.2.3. Objekti za raspodjelu vode - ustave, regulatori*

Ovi objekti postavljaju se na strateškim točkama razvodne mreže za kontrolu razine vode pa se tako osigurava dodjela vode kanalima nižeg reda i farmerskim ispustima. U kanalima višeg reda ovi regulatori, kao pojedinačni ili u kombinaciji s ostalim objektima, lociraju se nizvodno od svakog spoja kanala nižeg reda. Broj lokacija objekata za raspodjelu vode - regulatora određuje se na taj način da se projektira razina vode u dionici kanala uzvodno od regulatora. Sljedeći se objekt zatim locira nizvodno od mjesta idućeg farmerskog ispusta (ili razvodnog kanala), a na tom je mjestu razina vode u kanalu ispod potrebne razine vode za ispust. Ta se procedura nastavlja dok se ne postigne zahtijevana razina vode u kanalu za svaki novi ispust. Svaki regulator ima pomičnu zapornicu za kontrolu razine vode.

##### *6.5.2.2.4. Ispusti vode za parcele ili grupe parcela*

Ispusti vode za parcele potrebni su na čelu svakoga razdjelnog kanala (trećeg ili četvrtog reda) koji opskrbljuje vodom natapne površine farmi (ili grupe parcela). Ispusti imaju pomične zapornice ili module različitih vrsta za kontrolu protoka - količine vode.

##### *6.5.2.2.5. Mjerni objekti*

Mjerni objekti različitih tipova i vrsta instaliraju se normalno na čelu svakoga razdjelnog kanala i farmerskog ispusta za mjerenje količine vode.

#### 6.5.2.2.6. Objekti za zaštitu kanala

Objekti za zaštitu kanala od šteta od velikih voda izvode se na nizvodnom kraju svakog kanala. Ako je kanal dug, zaštitni objekt treba imati kapacitet min. 10 % kapaciteta kanala. Objekti se izvode kao bočni preljevi, sifonski preljev, automatska ustava ili ispušt na kraju kanala za potpuno ispuštanje vode iz kanala.

#### 6.5.2.3. Poluautomatska regulacija

Natapni sustavi projektirani za sustav poluautomatske regulacije imaju jednake temeljne regulacijske i kontrolne objekte kao projektni sustav za ručnu regulaciju razine i protoka. Razlika je u tome što su glavni regulatori - ustave automatizirani. Automatizirani pogon regulatora može se postići na hidraulički ili električni pogon, uz odgovarajuću opremu. Normalno je da kanali razvodne mreže budu obloženi jer je smanjenje gubitka jedan od glavnih razloga ugradnje automatskih ustava.

##### 6.5.2.3.1. Zahvat vode

Objekt za zahvat vode - zapornica opremljena je sensorima za razinu vode i elektronskom opremom za automatsku kontrolu rada ustave. Ako ne postoji izvor električne energije u blizini, planiraju se automatske ustave - regulatori. Hidromehanička automatska ustava s nizvodnom kontrolom na kontrolnom mjestu automatski održava konstantnu nizvodnu razinu vode u kanalu.

##### 6.5.2.3.2. Crpne stanice

Ako se natapna voda osigurava crpnom stanicom, regulacija je crpki s daljinskom kontrolom s položaja uzvodnog regulatora. Senzori razine vode postavljaju se u crpnom bazenu crpke.

##### 6.5.2.3.3. Ispusti vode za parcele

Ispusti su vode za parcele u ovom načinu regulacije modulnog tipa.

#### 6.5.2.4. Automatizirani sustav kontrole

##### 6.5.2.4.1. Opće

Razvodna natapna mreža kanala projektirana za potpuno automatsku regulaciju ima jednake temeljne kontrolne i regulacijske objekte kao kod poluautomatske kontrole. Razlika je u tome što se kanali projektiraju s većom vrijednošću nadvišenja obala iznad radne razine vode kako bi se osigurao odgovarajući volumen vode u kanalu između dvaju kontrolnih objekata.

##### 6.5.2.4.2. Daljinska kontrola i telemetrija

Potpuno automatiziran sustav projektira se za daljinsko upravljanje pogonom opskrbnog sustava te daljinsko upravljanje ispuštima vode za parcele. Regulatori - ustave, na električni su pogon i njima se upravlja iz operativnog centra. Senzori razine vode ugrađeni su na svim objektima i ostalim nužnim mjestima na sustavu. Dakle, postavlja se sustav telemetrije za monitoring cijelog sustava iz operativnog centra.

### 6.5.3. Reguliranje pogona crpnih stanica

#### 6.5.3.1. Karakteristike i opće potrebe reguliranja pogona

Crpna stanica za opskrbu vodom natapnog sustava može crpiti vodu iz rijeke, akumulacije, kanala ili podzemnu vodu. Natapna voda dodjeljuje se dalje gravitacijskom kanalu. Može se ukazati potreba za mehaničkim podizanjem vode iz kanala na nižoj razini u kanal na višoj topografskoj razini. Pogon crpne stanice može biti ručni na licu mjesta, upravljani lokalno automatski ili daljinskim upravljanjem iz operativnog centra. Potrebe za natapnom vodom variraju u širokom rasponu preko godine i za vrijeme jednog dana. Zbog toga crpna stanica mora raditi fleksibilno da se zadovolje različite potrebe za natapnom vodom.

Crpna stanica ima automatsku kontrolu za zaštitu crpnih agregata. Objekt stanice mora biti zaštićen od velikih voda. Zaštitna kontrola rada crpki (mogući prekidi) uglavnom se rješava crpnim bazenima i odgovarajućom mehaničkom opremom. Obvezna je ugradnja alarmnog sustava da se upozori operatora na izvanredno stanje. Ako se voda tlači u kanal, tada se na kraju tlačne cijevi izvodi objekt za umirenje vode sa senzorima razine vode. Automatski se zaustavlja rad crpki kada razina dosegne projektnu veličinu. U kanalu se ugrađuje oprema za mjerenje količine vode. Mjerno je mjesto neposredno nizvodno od objekta za umirenje vode.

Broj crpnih agregata u postaji izabire se tako da se mogu zadovoljiti godišnje promjene količina natapne vode. Preporučuje se ugradnja serije agregata različitih kapaciteta. Na primjer, ako je maksimalno potreban kapacitet  $4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , a minimalni protok u natapnom kanalu  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , može se instalirati ukupno 7 agregata:  $2 \times 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $2 \times 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$  i  $3 \times 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Takav sklop pojedinačnih kapaciteta agregata odgovarat će na sve zahtjeve u varijacijama između maksimalne i minimalne potrebe za količinom natapne vode.

#### 6.5.3.2. Ručna regulacija pogona

Pri ručnoj regulaciji pogona crpne stanice moraju se u objektu predvidjeti potrebni instrumenti, vizualni i zvučni, koji omogućuju siguran rad crpki.

Potrebne su telefonske ili radio veze s operatorom na natapnom sustavu kako bi se uskladile potrebe za vodom na sustavu.

U crpnoj stanici postavljeni su vizualni indikatori razine vode i protoka u kanalima.

#### 6.5.3.3. Automatska regulacija pogona

U automatskoj regulaciji pogona crpne stanice, dionica kanala nizvodno od crpne stanice služi kao rezervoarski prostor. Kolebanje je razine vode u tom prostoru oko  $0,5 \text{ m}$ . Na izlazu iz tog prostora ugrađuje se automatska ustava - regulator s nizvodnom kontrolom razine vode. U prostoru rezervoara vode instaliraju se senzori razine vode, na osnovi čijih se podataka uključuju i isključuju crpni agregati.

Pretpostavljamo da protok kanala iznosi  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  i da kanal dobiva vodu iz crpne stanice s 2 agregata kapaciteta po  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Oba će agregata raditi dok razina vode u rezervoarskom prostoru dostigne vrijednost radne razine + 0,50 m. U tom se trenutku automatski isključuje iz rada jedan agregat. Dotok je tada  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kako voda istječe iz rezervoara u kanal za natapanje, snizuje se razina u bazenu i uključuje se ponovno drugi agregat itd. Ako je bazen dug 1 km i širok 4 m, agregat će se uključiti i isključiti svaki sat (približne vrijednosti).

Pri daljinskom pogonu, komande za rad crpnih agregata dolaze iz operativnog centra, a temelje se na monitoringu potrošnje vode. Daljinska kontrola pogona crpne stanice osigurava veću fleksibilnost pogona nego što omogućuje lokalna kontrola pogona crpne stanice.



## LITERATURA

1. Burt, C.M. and Plusquellec, H.L.: Water Delivery Control. In: Management of farm Irrigation Systems. ASAE Monograph, USA, 1990.
2. Chow, VanTe: Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill B.C., New York, 1959.
3. FAO: Design and Optimization of Irrigation Distribution Networks. FAO I. and D. Pap. 44. Rome, 1988.
4. Gereš, D.: Glavne građevine sustava za natapanje. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije, II kolo - natapanje, knjiga 4. Rijeka, 1995.
5. Gereš, D.: Natapanje. U: Graditeljski godišnjak '96. HDGI, Zagreb, 1995.
6. Svetličić, E.: Hidraulika otvorenih korita, 1. i 2. dio. OVP Zagreb, 1977.
7. USBR: Design of small Canal Structures. USDI, Denver, 1974.

## 7. ZAŠTITA MREŽA OD AGRESIVNIH TALA I VODA

*Dr. Dragutin Gereš  
Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb*

### 7.1. TLA KOJA SADRŽE GIPS

#### 7.1.1. Uvod

Ako se projekt natapanja planira u području gdje se u tlu nailazi na gips, potrebno je provesti program istraživanja tla uzduž predloženih trasa kanala. Podatke o potencijalnom sadržaju gipsa u tlu nalazimo u geološkom izvješću i vizualnom prospekcijom terena. Jednako se tako kristali gipsa otkrivaju u svježe iskopanom profilu kanala.

Gips ili sadra jest rasprostranjen mineral. To je kalcijum-sulfat s vodom:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Gips u otopini transportira se podzemnom vodom. Ulazni tijek vode zbog kapilarnih sila podiže gips do površine terena. Tu se gips taloži kada voda ispari. U područjima s malim oborinama dolazi do nakupina rezidualnog gipsa i tvorbe gipsanih tala. Tla sa sadržajem gipsa pokazuju veliku čvrstoću u suhom stanju, ali ako su natopljena vodom i pod opterećenjem, postaju vrlo problematična. To može dovesti do urušavanja natapnih kanala i šteta na objektima kad se sustav pusti u pogon. Laboratorijskim ispitivanjem utvrđuje se sadržaj gipsa u uzorku.

#### 7.1.2. Projektni kriteriji

Ako nije moguće promijeniti trasu kanala da bi se izbjeglo tlo sa sadržajem gipsa, potrebno je primijeniti određene kriterije za projektiranje i izgradnju kanala ili objekata. Posebni postupci u gipsanom tlu povećavaju troškove izgradnje.

Sadržaj gipsa u tlu i specifična težina tla, dva su faktora koji se razmatraju prilikom predviđanja ponašanja tla. Analizira se zbijanje tla niske plastičnosti i smanjenje kohezije u tlu srednje ili visoke plastičnosti ako dođe do ispiranja gipsa iz

tla. Kriteriji koji se generalno primjenjuju, jesu: slijeganje tla do 0,10 m nakon ispiranja gipsa; rezidualna kohezija nakon ispiranja gipsa treba biti min. 0,2 kg/cm<sup>2</sup>.

Ako su ti kriteriji prekoračeni, poduzimaju se mjere smanjenja ulaza vode u tlo. To znači da kanal za natapanje mora biti izveden potpuno nepropusno. Ako su količine gipsa manje, tlo zahtijeva konsolidaciju da bi se smanjila propusnost za vodu - prosječni gubici na procjeđivanje treba da su manji od 6 mm/dan.

### *7.1.3. Postupci u fazi građenja*

#### *7.1.3.1. Hidrokonsolidacija*

U tlu s manjim sadržajem gipsa provodi se hidrokonsolidacija iskopanog kanala prije njegova oblaganja. Kanal se ispuni vodom, koja se zadržava u kanalu neko vrijeme. Hidrokonsolidacija se ne može provoditi u tlima s visokim sadržajem gipsa.

#### *7.1.3.2. Zemljana i ostale obloge kanala*

Zemljana je obloga od materijala zadovoljavajućih karakteristika dovoljna zaštita kanala u tlu s malim ili srednjim sadržajem gipsa. Ta je vrsta obloge fleksibilna i izvodi se nakon hidrokonsolidacije.

U tlima s visokim sadržajem gipsa kao zaštita kanala izvode se vodonepropusne obloge. To su dvostruke betonske obloge s gumom između slojeva ili asfaltne membrane između dvaju slojeva betona.

## 7.2. AGRESIVNO DJELOVANJE VODE I TLA NA MREŽU

Fenomeni su agresivnosti i korozivnosti i njihove posljedice na pogoršanje svojstava materijala promjenjivi zbog kompleksnog odnosa svojstava materijala, parametara kvalitete vode i fizikalnih faktora pridruženih u spoju metal - okoliš. Podrijetlo agresivnog i korozivnog djelovanja može biti od agresivne vode ili iona u tlu.

Prognoza je potencijalne agresivnosti u fazi planiranja projekta moguća na temelju ocjene određenih pokazatelja kvalitete vode i tla. Aktivnostima kontrole korozije materijala mora se posvetiti puna pozornost pri izboru materijala i opreme i njihovoj zaštiti nakon ugradnje. Time se produžuje vijek trajanja i pogonska učinkovitost sustava. Detaljno razmatranje tih pitanja izlazi iz okvira ovog poglavlja pa se preporučuje upotreba specijalizirane literature o ovom pitanju.

### 7.3. MATERIJALI I OPREMA

U natapnoj mreži upotrebljavaju se cijevi od čelika, duktilnog ili nodularnog lijeva, azbest-cementne ili plastične cijevi.

#### 7.3.1. Čelične cijevi

Čelik je idealan materijal za cjevovode zbog velike čvrstoće. Druga je prednost mogućnost postizanja svakoga potrebnog oblika cjevovoda.

Glavni je nedostatak primjene čeličnih cijevi korozija:

- galvanska korozija na vanjskim površinama zbog razlike električnog potencijala materijala cijevi i drugog metala

- korozija unutarnjih površina cijevi, koja može nastati zbog fizikalnih, kemijskih ili bakterioloških svojstava vode

Kada postoji rizik od korozije, čelične cijevi moraju se zaštititi izvana ili iznutra ili s obje strane.

Za vanjsku zaštitu upotrebljavaju se premazi ili slojevi asfalta, bitumena, koji mogu biti zaštićeni ovojima od otpornih vlakana. Iduća i vjerojatno učinkovitija tehnika, jest katodna zaštita. Ta se zaštita temelji na stvaranju struja koje kompenziraju razliku u električnom potencijalu i galvanskih struja uzduž cjevovoda tako da "korodiraju" anode umjesto cijevi.

Unutarnja je zaštita potrebna protiv kemijske korozije, inkrustacije i bakteriološke korozije. Mogu se primjenjivati razni premazi: bitumenski, plastični ili izvedeni od morta.

#### 7.3.2. Cijevi od nodularnog lijeva (*ductil*)

Razlika između čelika i duktilnog lijeva jest u povećanom sadržaju ugljika (čelik od 0,1 do 1,5 %, duktilni lijev od 2,2 do 4 %).

Duktilni lijev ima specifične mehaničke karakteristike - veliku čvrstoću, otpornost na udare i visoku elastičnost.

Cijevi od tog materijala odgovaraju za nestabilna ili korodivna tla. Unutarnja je strana cijevi zaštićena slojem cementnog morta.

U pogledu mjera zaštite čeličnih cijevi i cijevi od duktilnog lijeva, potrebno je poštovati preporuke proizvođača.

### *7.3.3. Cijevi od azbest-cementa*

Materijal od kojega se izrađuju ove cijevi, nema organskih supstanci ni metala, pa su cijevi otporne na hrđu, elektrolizu i galvansku koroziju. Kada se polažu u kisela tla, preporučuje se izvesti bitumenski premaz.

## LITERATURA

1. Baeckman, W.V. and Schwenk, W.: Handbook of Cathodic Protection. Portcullius Press. London, 1977.
2. Matthes, G.: The Properties of Groundwater. John Wiley. New York. 1982.
3. Uhlig, H.H.: Corrosion and Corrosion Control. John Wiley, New York, 1971.



## 8. GOSPODARSKE ANALIZE INVESTICIJSKOG PROJEKTA

*Dr. Dragutin Gereš  
Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatska vodoprivreda", Zagreb*

### 8.1. OCJENA PROJEKTA

#### 8.1.1. Uvod

Ocjena učinkovitosti investicijskog projekta temelji se na spoznaji da je investiranje proces u kome se vrijeme trošenja kapitala i ostalih resursa i vrijeme dobivanja korisnih učinaka razlikuju. Investirati znači uložiti resurse danas, a postići korisne učinke u budućnosti. Bitna je značajka investicije postojanje vremenskog razdoblja ili vijeka trajanja investicije, u kojem projekt izaziva troškove, ali i daje koristi. Da bi se mogli međusobno usporediti ti učinci i troškovi koji se pojavljuju u raznim vremenskim razdobljima, potrebno ih je svesti na vrijednost jednoga vremenskog razdoblja - baznog razdoblja.

#### 8.1.2. Etape u ocjeni investicijskog projekta

Za ocjenu projekta analiziraju se tehnički i ekonomski faktori projekta. Taj prilaz ocjeni projekta ilustrirat će se primjerom.

Prethodnim istražnim radovima određena je poljoprivredna površina od 6000 ha uz obalu rijeke kao povoljna za projekt sustava za natapanje. Uz dovoljnu količinu vode za natapanje, poljodjelska će proizvodnja znatno porasti i uvest će se nove kulture u proizvodnji.

Očekivane koristi projekta natapanja jesu:

- povećanje proizvodnje hrane, kvalitativno i kvantitativno
- povećanje prihoda farmera
- proizvodnja viškova za tržište
- otvaranje radnih mjesta u ostalim sektorima (agroindustrija, promet itd.)



Ti su se faktori ukratko analizirali za vrijeme identifikacije projekta. Jednako su se tako analizirale različite varijante tehničkog rješenja projekta natapanja:

- 6000 ha površine sustava jest jedna jedinica s jednom crnom stanicom za opskrbu, glavni dovodni kanal položen je uz obalu rijeke, pripadni razvodni kanali
- šest sektornih jedinica, svaka je opremljena crnom stanicom i razvodnim kanalima
- cjevovodi pod tlakom za distribuciju vode do polja

Obavljena je početna procjena vrijednosti projekta u iznosu od 36 milijuna kuna. Nakon određenih dogovora, banke su prihvatile financiranje projekta uz niske kamate.

Studija izvodljivosti projekta natapanja izvodi se u tri faze:

#### *Prva faza*

Sadrži sve temeljne studije, tehničke i socioekonomske. Cilj je prve faze studije definiranje početnih uvjeta i kvantifikacija zadataka. Izlazne su vrijednosti analiza količine proizvedene hrane. Prilikom obrade studije uzeti su u obzir zakoni i propisi koji vrijede u zemlji. Na kraju prve faze određene su prosječne veličine parcela za natapanje, a radi se s jednom ili dvjema varijantama. Na osnovi toga mogao se odrediti broj ispusta vode i protoci u razvodnoj mreži.

U prvoj se fazi prikupljaju informacije koje će biti potrebne kasnije. Analiza modela farme, sjetvene strukture itd. primijeniti će se u trećoj fazi pri računanju isplativih projekata.

#### *Druga faza*

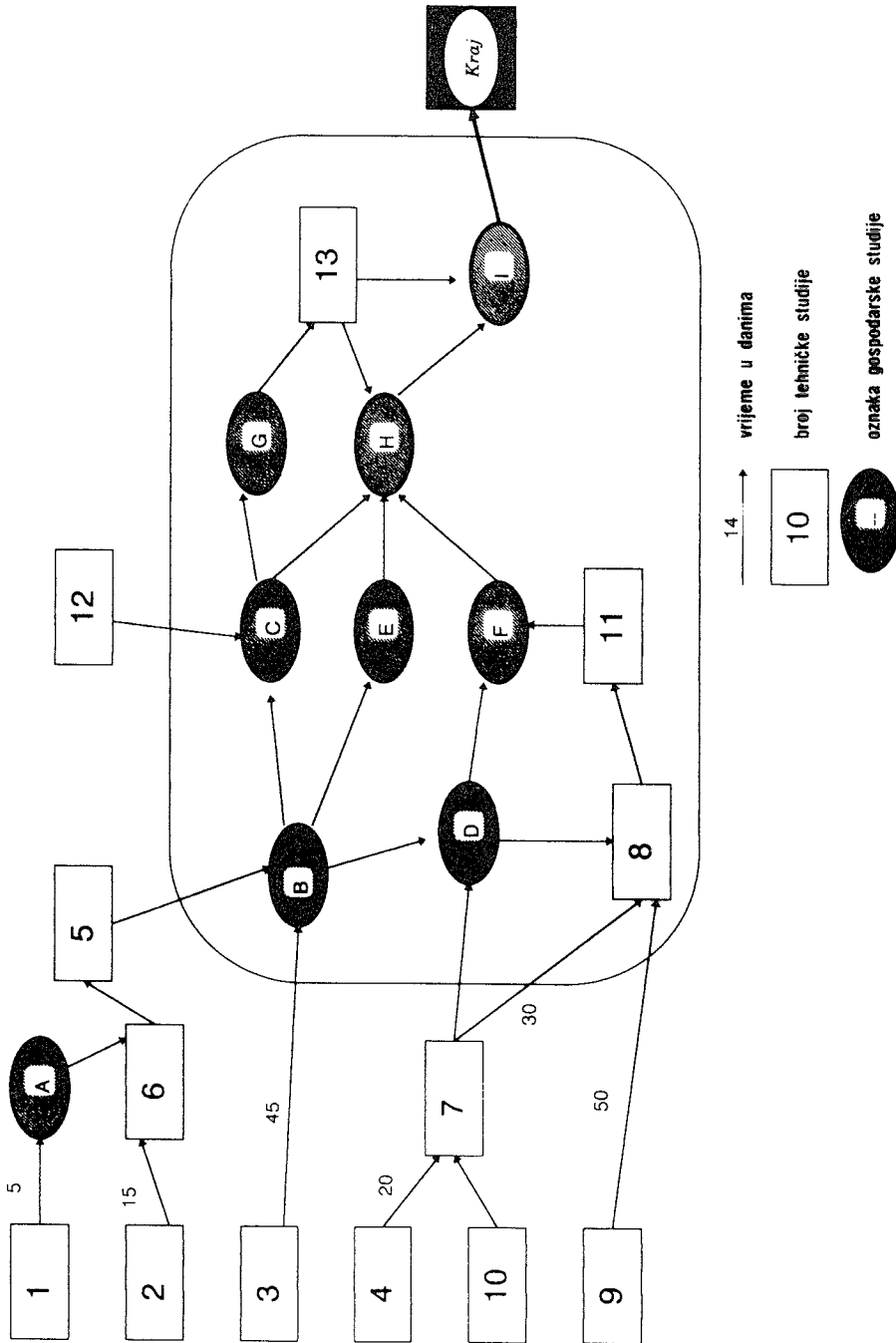
Sadrži tehničke i ekonomske studije predloženog razvoja projekta natapanja. Cilj je ove faze studije izdržljivosti određivanje ukupnih investicija i tekućih troškova projekta. U tehničkom dijelu identificira se sustav pogona - raspodjele vode, koji se može izgraditi s najmanjim troškovima investicija i pogona na razini farme - parcele.

#### *Treća faza*

U ovoj fazi ocjenjuje se projekt glede koristi svake varijante rješenja. Proračun se temelji na razini farme i za ukupnu površinu projekta.

Slika 8-1 prikazuje PERT dijagram izrade studije izvodljivosti. Iz dijagrama se vide složenost studije i odnosi između pojedinih dijelova studije. Dijagram se može izraditi nakon rješenja ovih pitanja:

- a) izbor metoda selekcije za varijantna rješenja
- b) podjela u elementarne studije i njihov međusobni odnos
- c) procjena vremena za dovršetak zadatka



Sl. 8-1 PERT dijagram studije izvodljivosti projekta natapanja

## 8.2. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA

Višekriterijska je analiza jednostavna metoda utvrđivanja značaja ("težina") pojedinih kriterija projekta. Ipak se ova analiza rijetko primjenjuje u ocjeni projekta natapanja u okviru poljodjelskih razvojnih studija.

Projekt sustava za natapanje može imati pozitivne i negativne učinke na lokalnoj i nacionalnoj razini. Učinci su gospodarski i utjecaji na okoliš.

Višekriterijska analiza sastoji se od:

- izbora aktivnosti koje uzrokuje projekt
- identifikacije opisnih kriterija za svaku aktivnost
- davanje "težine" svakom kriteriju u skladu s važnošću koju kriterij ima pri donošenju odluke
- određivanje položaja (ranga) svakog kriterija za svako od ispitivanih rješenja.

Davanjem atribucije - težina svim rezultatima studije omogućuje se rangiranje varijantnih rješenja. Na primjer, raniji primjer može se analizirati na ovaj način:

1. postotak povećanja priroda žitarica
2. postotak povećanja priroda povrća
3. broj novih radnih mjesta
4. uštede na uvozu hrane
5. postotak povećanja prihoda farmera
6. unutarnja stopa povrata kapitala
7. iznos godišnjeg anuiteta

Navedeni kriteriji poredani su po pripadajućoj težini (kao prijedlog), po padajućem nizu po značenju. Kriteriji se mogu i drugačije vrednovati.

## 8.3. GOSPODARSKA I FINANCIJSKA ANALIZA PROJEKTA

Gospodarska i financijska analiza projekta natapanja uključuje tri glavna dijela:

- proračun troškova projekta (za investicije, rezervne dijelove, tekuće troškove itd.)
- financijsku analizu projekta
- ekonomsku analizu ili studiju o korisnosti projekta.

### 8.3.1. Proračun troškova

Troškovi su robe ili usluga ekonomska varijabla koja definira vrijednosti robe ili usluga u određenom vremenu i mjestu u gospodarskom okruženju jedne zemlje.

Trošak se može definirati izrazom:  $\Sigma p_i q_i$ , gdje je  $p_i$  jedinična cijena, a  $q_i$  je količina.

Na primjer, za crpne stanice sustava za natapanje agregati se nabavljaju u stranoj zemlji. Trošak za crpke, dostavljene na gradilište, sastoji se od:

- cijene FOB proizvođač (na primjer: DEM/1 kom)
- trošak osiguranja i prijevoz CIF (DEM/tona)
- carina i ostala davanja
- transport sa carine do gradilišta (po toni - km)

Nakon pretvaranja deviznog dijela u iznos u lokalnoj valuti i sumirajući sve pojedinačne troškove, dobije se trošak za 1 agregat na lokaciji projekta.

Cijene su funkcija mjesta i vremena (treba uračunati inflaciju, promjenu tečajeva valuta, poreze itd.).

Po konvenciji, temeljne su cijene koje služe u analizi, tržišne cijene u vrijeme izrade studije. Zbog toga se cijene datiraju. Nakon što se ustanove svi pojedinačni troškovi, radi se tabelarni pregled troškova investicije po strukturi.

*Troškovi investicija projekta (u tisućama kuna, studeni 1995.)*

*Tablica 8-1*

1. STUDIJE, PROJEKTI, ISTRAŽNI RADOVI		432
2. INFRASTRUKTURA		
- zemljani radovi	33.144	
- građevine	8.802	
- zgrade	3.654	
- oprema na farmi	768	
UKUPNO INFRASTRUKTURA:		46.368
3. OPREMA ZA NATAPANJE		
- elektromehanička oprema	2.970	
- dalekovodi	1.506	
- oprema na farmi	390	
UKUPNO OPREMA ZA NATAPANJE:		4.866
4. POLJOPRIVREDNI STROJEVI I OSTALO		
- oprema za održavanje kanala	90	
- traktori i sl.	1.602	
- ostala oprema	618	
UKUPNO POLJOPRIVREDNI STROJEVI:		2.310
5. RAZLIČITO (10 %)		5.400
6. INTERKALARNE KAMATE		2.070
UKUPNO:		61.446

Na osnovi strukture troškova investicije iz tablice 8-1 i tehničkih dijelova studije izvodljivosti, izrađuje se analiza toka novca. Ta analiza daje sve potrebne elemente za analiziranje likvidnosti projekta u cjelini. U toj se analizi vremenski raščlanjuje struktura investicija, utvrđuje se dinamika ulaganja redosljedom radova na sustavu, određuju se ukupni troškovi proizvodnje itd. Troškovi uključuju bruto plaće, održavanje infrastrukturnih objekata te ostale troškove projekta.

### 8.3.2. *Financijske analize*

Financijska analiza projekta izrađuje se na temelju toka novca. Tok novca sadrži sve prihode i troškove. Financijska analiza radi se za projekt u cjelini i za one njegove dijelove koji mogu biti gospodarska cjelina. Na primjer, za projekt natapanja od 2000 ha natapane površine, koji se dijeli u jedinice od 100 ha (sadrži 50 parcela ili farmi), financijska analiza radi se na razinama:

- privatnog vlasništva (farmera)
- grupe od 50 farmera u svakoj jedinici
- organizacije odgovorne za upravljanje natapnim sustavom (mreža, crpne stanice itd.)
- za cijeli projekt natapanja

Financijska analiza radi se s konstantnim cijenama - cijene u vrijeme izrade studije. Za svaku godinu proračunavaju se prihodi projekta za svaku gospodarsku jedinicu (farmer, grupa od 50 farmera itd.). Jednako se tako obračunavaju godišnji troškovi. Izrada analize završava izračunavanjem dobiti ili gubitaka projekta.

Financijska analiza omogućuje procjenu financijske izvodljivosti predložene investicije, analizu financijske strukture ekonomskih jedinica, ocjenu realnosti financijskog plana te formulaciju prijedloga za financijsku izvodljivost projekta.

Financijska analiza projekta temelji se na pozitivnim propisima zemlje. Gospodarske i društveno - političke karakteristike imaju direktan utjecaj na financijsku izvodljivost projekta.

### 8.3.3. *Gospodarske analize*

U financijskoj analizi projekta pokazano je da je financijski položaj neke jedinice ovisan o uvjetima koji vladaju u vrijeme izrade studije pa projekt može trpjeti štete zbog te okoline. Zbog toga se proširuje broj kriterija za ocjenu projekta.

Cilj je gospodarske analize eliminacija takvih utjecaja. Projekt se ponovo analizira uzimajući u obzir poreze, pomoć države, politiku cijena proizvoda - uključujući "cijene u sjeni", tečajeve promjene valuta te elemente monetarne politike.

Gospodarska analiza utvrđuje unutarnju stopu povrata ili unutarnju stopu rentabilnosti projekta.

Kao primjer iskazuje se krajnji rezultat financijske i gospodarske analize projekta natapanja u tablici 8-2. Izražene su cijene bez poreza i bez "pomoći" iz proračuna države. Cijene su konstantne, kako je ranije definirano.

*Tok novca projekta (zbirni priljev i odljev, u tisućama kuna)*

*Tablica 8-2*

Godine	Priljev (1)	Odljev (2)				Tok novca (1-2)
		Investicije	Troškovi i održavanje	Anuitet	Ukupno	
1	-	2191,2			2191,2	- 2191,2
2	-	1621,2			1621,2	- 1621,2
3	-	1834,2	178,8		2013,0	- 2013,0
4	264,0	348,6	486,4		8350,0	- 8086,0
5	599,4	75,0	671,4		746,4	- 147,0
6-10	6574,8		3747,6	36,6	3784,2	2790,6
11-15	7659,0	1542,0	2473,2	1219,2	5234,4	2424,6
16-20	7659,0		3840,0	972,6	4812,6	2846,4
21-25	7659,0		3840,0	288,0	4128,0	3531,0
26-30	7659,0		3840,0	157,2	3997,2	3661,8

#### 8.3.4. Cijene u sjeni (*shadow prices*)

Tržišne cijene u vrijeme izrade gospodarskih analiza ne moraju odgovarati stvarnoj gospodarskoj situaciji. Na primjer, tečajevi promjena valuta nisu realni pa se to odražava na cijenu uvoznih roba ili plaće radne snage nisu realne itd. Iz tog razloga analitičari uzimaju takvo stanje u obzir pri izradi analiza putem korištenja cijena u sjeni (*shadow prices*).

#### 8.3.5. Proračun unutarnje stope povrata

Nakon završenoga ponovog proračuna svih cijena i troškova, prema onome što je navedeno ranije, izrađena je tablica investicijskih troškova, troškova pogona i održavanja i toka novca. Primjer je iznesen u tablici 8-2. Zadnji stupac tablice pokazuje godišnju bilancu u konstantnim cijenama, i to dobit ili gubitak projekta. Rezultati pokazuju da uloženi novac - troškovi projekta u prvim godinama, rezultiraju u dobiti projekta u kasnijim godinama. Problem je kako usporediti ova dva toka novca i ocijeniti projekt, tj. stupanj učinkovitosti projekta.

Novac položen u šedionicu, banku, burzu itd. donosi svake godine stopu povrata (% , kamatu ili dividendu). U financijskoj analizi određuje se sličan parametar, koji se naziva unutarnja stopa povrata (kapitala), koji je povezan s pojmom diskontne stope.

### 8.3.5.1. Diskontna stopa

Utvrđeni prihodi i troškovi u cijelom vremenu trajanja investicije svode se određenom računskom tehnikom i uz primjenu diskontne stope na vrijednosti bazne godine.

Jedinica novca koja je danas na raspolaganju nema vrijednost kao jednu godinu ranije i imat će drugu vrijednost iduće godine. Ako je ta jedinica novca danas na raspolaganju, a ne iduće godine, ona se investira ili se za nju nabavlja roba i na taj način postiže se dobit. To je bolji put nego štedjeti i čekati da se prikupe ukupno potrebna sredstva za investiciju i nabavu robe. Ukupna sredstva osiguravaju se zajmom.

Proces diskontiranja primjenjuje se pri procjeni ili proračunu, u određenom vremenu, vrijednosti iznosa financijskih sredstava ( $s$ ) raspoloživih ( $i$ ) godina za buduće ili za prošlo vrijeme. Na primjer, može se izračunati vrijednost od 100 novčanih jedinica (n.j.) na dan 1. siječnja 1995. godine, koja će biti na raspolaganju 1. siječnja 2000. godine. Od 1.1.1995. do 1.1.2000. godine, 5 je godina. Ako je promjena vrijednosti novca po godinama: 1996: +8 %, 1997: +10 %, 1998: +12 %, 1999: +9 % i 2000: +7 %, tada će vrijednost 100 novčanih jedinica na dan 1.1.1995. raspoložive sume na dan 1.1.2000. godine biti:

$100/1,08 \cdot 1,10 \cdot 1,12 \cdot 1,09 \cdot 1,07 = 64,4$  novčane jedinice

Suprotno, vrijednost na dan 1.1.2000. godine 100 n.j. od 1.1.1995. godine jest:

$100 \cdot 1,08 \cdot 1,10 \cdot 1,12 \cdot 1,09 \cdot 1,07 = 155,2$  novčane jedinice.

Ovo razmatranje može se uopćeno izraziti:

$$S_0 = S_n \prod_{i=1}^{i=n} \frac{1}{(1 + a_i)} \quad (8.1)$$

$$S_n = S_0 \prod_{i=1}^{i=n} (1 + a_i) \quad (8.2)$$

gdje je:

$S_0$  - diskontirana vrijednost u nultoj godini iznosa  $S_n$ , raspoloživog u ( $n$ ) godina

$S_n$  - aktualizirana vrijednost, u godini ( $n$ ), iznosa  $S_0$ , raspoloživog u nultoj godini

$a_i$  - diskontna stopa za ( $i$ ) godinu

Ako su diskontne stope konstantne za vrijeme cijelog razdoblja  $a_1 = a_2 = \dots = a_n$ , tada su vrijednosti:

$$S_0 = \frac{S_n}{(1+a)^n} \quad (8.3)$$

$$S_n = S_0(1+a)^n \quad (8.4)$$

### 8.3.5.2. Proračun unutarnje stope povrata

Diskontna je stopa nepoznanica koju trebamo odrediti računskim putem. Pretpostavlja se da je unutarnja stopa povrata (ili rentabilnosti) ona diskontna stopa koja izjednačuje sadašnju vrijednost neto priljeva (ili prihoda) s nabavnom vrijednošću investicijskog uloga. Unutarnja stopa povrata svodi razliku sadašnje vrijednosti neto dobiti i investicija na nulu.

U tablici 8-2 iskazane su kronologijske serije dobiti i gubitaka u konstantnim cijenama, koje označimo ( $B_i$ ).

Vidi se da su vrijednosti u prvih 5 godina negativne ( $B_1$  do  $B_5$ ). Vrijednosti od  $B_6$  do  $B_{30}$ , pozitivne su. Ukupni tok novca odnosi se na isti datum svake godine (31.12. ili drugi datum). Problem koji treba riješiti jest: pronaći diskontni faktor koji daje svotu toka novca jednaku nuli, kad se diskontira na nultu godinu. To znači:

$$\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+a)^i} = 0, \quad (8.5)$$

gdje je:

$B_i/(1+a)^i$  - diskontirana vrijednost  $B_i$  uz stopu ( $a$ )

Vrijednost stope ( $a$ ) nije mjera inflacije jer se tok novca računa u konstantnim cijenama u vrijeme izrade studije. Stopa ( $a$ ) jest stvarna mjera povrata kapitala.

Kako je u našem primjeru niz od prvih 5 vrijednosti negativan, izraz (8.5) jest također negativan:

$$\sum_{i=1}^5 \frac{B_i}{(1+a)^i} < 0 \quad (8.5)$$

Preostalih je 25 vrijednosti pozitivno, pa je:

$$\sum_{i=6}^{30} \frac{B_i}{(1+a)^i} > 0$$

Uvjeti iz izraza (8.5) ispunjeni su ako je:

$$\sum_{i=1}^5 \frac{B_i}{(1+a)^i} = \sum_{i=6}^{30} \frac{B_i}{(1+a)^i} \quad (8.6)$$



Značenje je izraza (8.6): neto je sadašnja vrijednost troškova (investicijski trošak) jednaka neto sadašnjoj vrijednosti dobiti (od investicije).

Analitički je način rješenja izraza (8.6) dugotrajan pa se u praksi primjenjuje metoda sukcesivne aproksimacije (iteracije). U postupku se traži ona diskontna stopa (a) koja će izjednačiti lijevu i desnu stranu jednadžbe. Između zadnjih dviju vrijednosti suprotnog predznaka radi se linearna interpolacija.

Koristeći se podacima iz tablice 8-2, uz  $a=6,1\%$ :

$$\sum \frac{B_i}{(1+a)^i} = 93,6$$

Vrijednost izraza pada na 66 za  $a=6,2\%$ , a postaje negativna za  $a=6,3\%$ . Unutarnja je stopa povrata blizu  $6,2\%$ , što se zaokružuje na  $6\%$ . Decimalne vrijednosti stope ne uzimaju se obično u obzir.

### 8.3.6. Ostale metode ocjene projekata

U teoriji investicija i investicijskoj aktivnosti u praksi, uz prikazanu metodu unutarnje stope povrata, ima više metoda za ocjenu projekata, odnosno donošenje odluka o projektu. To su:

- razdoblje povrata investicija: pokazuje koliko je godina potrebno da bi se neka investicija amortizirala;
- sadašnja vrijednost neto dobiti: ocjenjuje rentabilnost investicije prema veličini sadašnje vrijednosti tih investicijskih ulaganja;
- omjer koristi i troškova: polazi se od sadašnje vrijednosti koristi i sadašnje vrijednosti troškova;
- anuitetna metoda: ovaj način ocjene osniva se na pretvaranju svih troškova i prihoda u jednake, godišnje dijelove. Ako su godišnji anuiteti prihoda veći od troškova, projekt se ocjenjuje rentabilnim;
- analiza osjetljivosti

### 8.3.7. Analiza godišnjih troškova

Pri izradi varijantnih rješenja u tehničkim studijama iskazuju se investicijski troškovi. Analizom godišnjih troškova i njihovom usporedbom, olakšava se odluka o izboru varijante.

Za akvedukt u okviru projekta razmatraju se dvije varijante:

- varijanta A: planira se izgradnja tunela;
- varijanta B: planira se dio trase izvesti s obloženim tunelom, a dio s čeličnim cjevovodom

Procijenjene investicije za tunel iznose 2.700.000 kn, godišnji troškovi održavanja iznose 24.000 kn i vijek trajanja objekta 100 godina. Troškovi za drugu varijantu iznose: kanal 720.000 kn, 100 godina vijek trajanja; obloga 300.000 kn, 20 godina; cjevovod 540.000 kn, 50 godina. Godišnji troškovi održavanja iznose 63.000 kn. Kamate na kapital iznose 6 % godišnje. Razdoblje je analize u studiji 100 godina. Pretpostavimo dalje da nema razlike u prihodima između dviju varijanti ni ostalih razlika u troškovima (npr. gubici su vode u obje varijante podjednaki itd.).

Usporedba ekvivalentnih godišnjih troškova dviju varijanti:

*Varijanta A*

godišnji trošak 2.700.000 · 0,06018	=162.486 kn
<u>godišnje održavanje</u>	<u>24.000 kn</u>
ukupni godišnji trošak	186.486 kn

*Varijanta B*

godišnji trošak za kanal 720.000 · 0,06018	=43.330 kn
godišnji trošak za oblaganje 300.000 · 0,08718	=26.154 kn
godišnji trošak za cjevovod 540.000 · 0,06344	=34.260 kn
<u>godišnje održavanje</u>	<u>63.000 kn</u>
ukupni godišnji trošak	166.744 kn

U iskazanoj usporedbi godišnjih troškova varijante A i B primijenio se faktor povrata kapitala, koji ovisi o procijenjenom vijeku trajanja objekta i o kamatnoj stopi (6 %).

Faktor povrata kapitala računa se po izrazu:

$$f = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (8.7)$$

gdje je:

- i - godišnja kamatna stopa (decimalni broj)
- N - vijek trajanja objekta

Vrijednosti faktora prikazane su u tablici 8-3.

Uobičajeno je pri izradi varijantnih rješenja iskazati troškove u fiksnim iznosima. U našem slučaju to iznosi za varijantu A 2.700.000 kn, a za varijantu B 1.560.000 kn. Dodatno povećano ulaganje od 1.140.000 kn donosi prednosti toga uloženog novca, kao što su niži troškovi održavanja i duži vijek trajanja za objekt. Analiza godišnjih troškova pokazala je da su te prednosti nedovoljne da se opravdaju povećane investicije.

Usporedba ukupnih godišnjih troškova varijante A (186.486 kn) i varijante B (166.744 kn) pokazuje da se izabire varijanta B.

Proračun godišnjih troškova vrijedi za bilo koju shemu osiguranja kapitala za investicije.

*Faktor povrata kapitala**Tablica 8-3*

Godine	Faktor povrata kapitala (f) uz kamatu (%)						
	5	6	8	10	12	15	20
5	0.23097	0.23740	0.25046	0.26380	0.27741	0.29832	0.33438
10	0.12950	0.12587	0.14903	0.16275	0.17698	0.19925	0.23852
15	0.09634	0.10296	0.11683	0.13147	0.14682	0.17102	0.21388
20	0.08024	0.08718	0.10185	0.11746	0.13388	0.15976	0.20536
25	0.07095	0.07823	0.09368	0.11017	0.12750	0.15470	0.20212
30	0.06505	0.07265	0.08883	0.10608	0.12414	0.15230	0.20085
35	0.06107	0.06897	0.08580	0.10369	0.12232	0.15113	0.20034
40	0.05828	0.06646	0.08386	0.10226	0.12130	0.15056	0.20014
50	0.05478	0.06344	0.08174	0.10086	0.12042	0.15014	0.20002
80	0.05103	0.06057	0.08017	0.10005	0.12001		
100	0.05038	0.06018	0.08004	0.10001			

## LITERATURA

1. Douglas, L.J. and Lee, R.R.: Economics of Water Resources Planning. TMH Ed., New York, 1982.
2. Gittner, J.P.: Economic Analysis of Agricultural Projects. IBRD, Washington, 1981.
3. Bergmann, H. and Boussard, I.M.: Guide to Economic Evaluation of Irrigation Projects. OECD, Paris, 1976.
4. FAO: Design and Optimization of Irrigation Distribution Networks. I. and D. Pap. 44. Rome, 1988.



## 9. POVIJEST RAZVOJA I METODE DIZANJA VODE (CRPLJENJA)

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

### 9.1. UVOD

Namjena je ovog rada da čitaocu (prije svega inženjerima praktičarima i projektantima) pruži nužne informacije u vezi s crpljenjem vode za potrebe natapanja malih i srednjih poljoprivrednih površina od 0,1 ha do oko 20 ha. Navedene površine najčešće su danas u poljoprivrednoj proizvodnji Hrvatske, a vjeruje se da će takvo stanje još dugo potrajati.

Potreba je za vodom u cijelom svijetu sve veća, a posebno za vodom koja služi povećanju poljoprivredne proizvodnje. Budući da se u Hrvatskoj poljoprivreda uglavnom zasniva na suhom ratarenju, može se očekivati da će se u vrlo bliskoj budućnosti jednostavno morati mijenjati takvo stanje. Time će se znatno povećati potrebe za vodom u Hrvatskoj. Na porasle potrebe stanovništva za hranom postoji samo jedan odgovor, a taj je povišenje proizvodnje hrane. Jedini danas poznati djelotvoran put postizanja toga jest izučavanje i poboljšanje odnosa sjeme-vodajnoivo. U ovom će se radu obrađivati jedino aspekt dizanja vode. On nije ni malo jednostavan, a osim čisto tehničkih aspekata, ima i brojnih drugih stajališta s kojih se može razmatrati, ali i na koje može značajno utjecati.

Prvi od njih je potrošnja energije. Dizanja vode ne može biti bez uložene energije, dakle sredstava. Cijene raznih oblika energije i učinkovitost raznih vrsta crpki, poseban su problem koji se u ovom radu nažalost neće moći obrađivati, ali koji je danas, a u budućnosti će biti mnogo više, prisutan.

Načini su dizanja vode brojni i vrlo različiti, počevši od onih najstarijih i najjednostavnijih, zasnovanih na izravnom korištenju ljudskog ili životinjskog rada, do onih najsofisticiranijih i najmodernijih, koji se koriste npr. sunčanom energijom i informacijskom podrškom za pogon i optimalno upravljanje sustavima za natapanje. Treba naglasiti da danas u svijetu paralelno postoje i funkcioniraju svi sustavi, a često ih se npr. u Africi može vidjeti u akciji u neposrednoj blizini. U Hrvatskoj se,

nažalost, zbog krajnje zabrinjavajuće niske razvijenosti natapanja, uglavnom nema što vidjeti. Ta činjenica mogla bi se iskoristiti u pozitivnom smislu. S masovnim početkom dizanja vode za potrebe natapanja u Hrvatskoj, trebala bi započeti i planska, dobro osmišljena te ekonomski i tehnički valorizirana akcija projektiranja suvremenih sustava. Poznavajući naš mentalitet, nažalost ne vjerujem da će se tako nešto desiti, ali je makar potrebno negdje napisati da bi bilo dobro da se nešto takva dogodi.

## 9.2. PRINCIPI DIZANJA VODE

Hidraulička snaga  $P$  potrebna za dizanje vode izražena u  $W$  definirana je sljedećim izrazom:

$$P = \rho \cdot g \cdot H_U \cdot Q \quad (9.1)$$

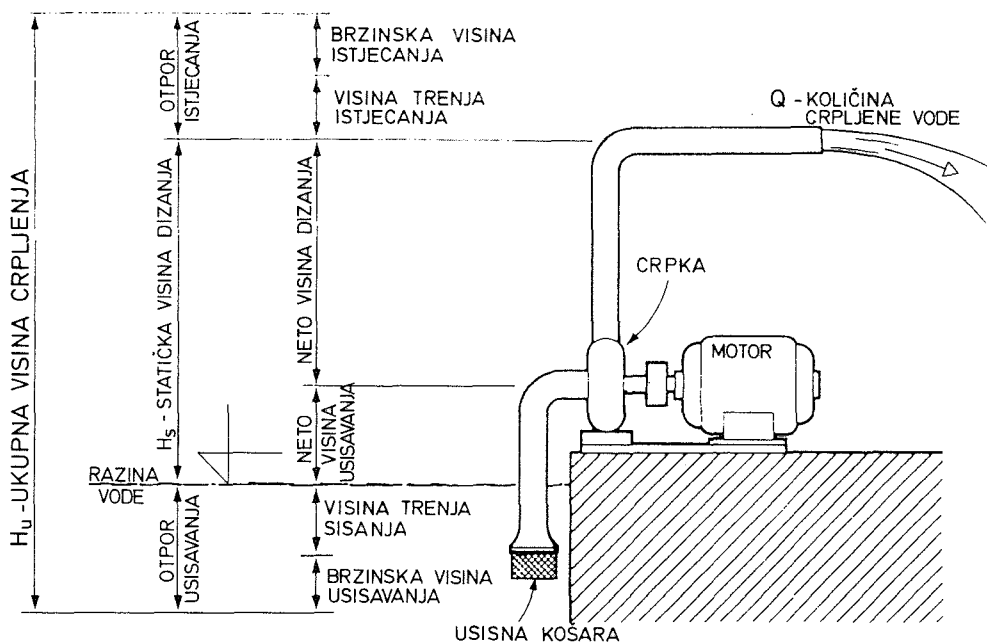
pri čemu je  $\rho$  - gustoća vode izražena u  $\text{kg/m}^3$ ;  $g$  - ubrzanje zbog sile teže izraženo u  $\text{m/s}^2$ ;  $H_U$  - ukupna vertikalna visina dizanja izražena u  $\text{m}$ ;  $Q$  - protok koji se diže izražen u  $\text{m}^3/\text{s}$ . Jedinica za snagu  $P$  dana je u vatima. Gustoća vode iznosi  $1000 \text{ kg/m}^3$  pri temperaturi vode od  $4^\circ\text{C}$  pri atmosferskom tlaku. Navedeni iznos uzima se sve do temperature od  $21,1^\circ\text{C}$ , od koje počinje njegovo padanje tako da, pri temperaturi vode od  $26,7^\circ\text{C}$ , iznosi  $995 \text{ kg/m}^3$ . Akceleracija zbog sile teže iznosi na površini Zemlje  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Ukupna ili bruto visina crpljenja  $H_U$ , viša je od statičke visine dizanja vode. Sa slike 9-1 može se vidjeti da se ukupna visina dizanja sastoji od triju osnovnih dijelova: 1 usisne visine (otpora usisavanja); 2 statičke visine dizanja; 3 visine istjecanja (otpora istjecanja).

Visina trenja sastoji se od otpora tečenja prouzročenog viskoznošću vode, turbulencijom u crpki i cijevima itd. Ona može biti izvorom značajne neefikasnosti sustava ako je on loše projektiran i izveden. Razlog ovome je njegova osjetljivost na količinu crpljene vode  $Q$  i posebno na promjer cijevi.

Brzinska visina stvara otpor tečenju izazvan ubrzavanjem vode iz stanja mirovanja na veličinu brzine kojom se kreće kroz sustav. Razumljivo je da što je viša brzina kojom se voda kreće kroz sustav to je potrebno veće ubrzanje, što utječe na višu brzinsku visinu koju mora svladati crpka. Brzinska visina je proporcionalna kvadratu brzine kojom se voda kreće kroz sustav. Ako se voda ubacuje u sustav u obliku mlaza velikom brzinom, koja je npr. potrebna za sustav natapanja umjetnim kišenjem, tada brzinska visina čini značajan dio potrebne snage crpke, a time i značajan dio troškova korištene energije. Međutim, često, kada voda tek curi iz izlazne cijevi s malom brzinom, brzinska visina je relativno mala.

Stvarna snaga i energija potrebna za dizanje vode u nekom sustavu uvijek su veće od hidrauličke energije, što zavisi o tome kako su projektirane i izvedene ključne komponente sustava za natapanje. O ovim se složenim problemima neće govoriti u nastavku jer je u ovom radu naglasak stavljen na povijest razvoja i jednostavne

metode dizanja vode. Pri tome treba naglasiti da je, iako će se nekom od čitatelja činiti da se tu govori o nepotrebnim stvarima koje se danas rijetko primjenjuju ili ne primjenjuju uopće, stvarnost bitno drugačija. U većini zemalja u razvoju ili, posebno, u nerazvijenima metode opisane u nastavku još uvijek prevladavaju. Ljudski je rad tamo još uvijek najjeftiniji pa se zbog toga obilato koristi. Kakvo je stanje s razvojem spomenutih zemalja danas, ova se očito nepovoljna situacija još dugo neće promijeniti.



Sl. 9-1 Shema instalacija crpke s naznačenim visinama dizanja vode

### 9.3. POVIJEST I METODE DIZANJA VODE

Kao glavni literaturni izvor za poglavlje koje slijedi poslužila je knjiga "Water lifting devices" autora P. L. Fraenkela, izdana u Rimu 1986. godine kao 43. knjiga u izdanju FAO organizacije Ujedinjenih Nacija u seriji "FAO irrigation and drainage paper".

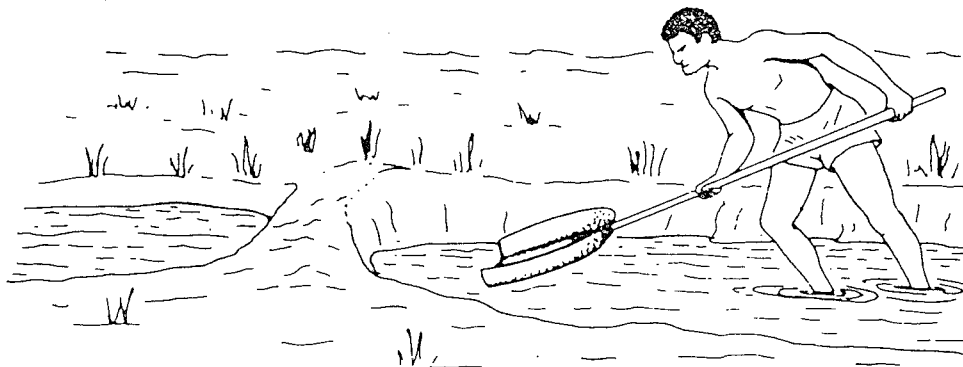
Kako se smatra da je početak civilizacije vezan s početkom melioracija a posebno primjenom metoda natapanja, očito je da su povijest natapanja i metode dizanja vode međusobno čvrsto vezane. Stoga će se u nastavku opisati načini dizanja vode koji na raspolaganju stoje u prirodi, podijeljeni prema snazi koja se koristi za dizanje vode. Snagu može davati: 1 Čovjek vlastitim radom; 2 Rad životinja; 3 Vjetar; 4 Voda.



Ostali sofisticirani i moderni načini dizanja vode neće se ovdje razmatrati jer očitno ne spadaju u povijest razvoja i metoda dizanja vode.

Dizanje malih količina vode na male visine može se obaviti ljudskim radom. I čovjek i životinje dobivaju snagu iz kalorijskog sadržaja hrane koju unose u sebe. Čak i pri potpunoj fizičkoj neaktivnosti, ljudsko tijelo zahtijeva energiju za odvijanje osnovnih metaboličkih funkcija kao što su rad srca, cirkulacija krvotoka, funkcioniranje pluća i probavnog sustava. Energija potrebna za snagu i rad mišića zahtijeva dodatne kalorije. Individualni kapacitet rada čovječih mišića na dan iznosi 200 do 300 W·h/dan. Prosječna efikasnost konverzije energije hrane u mehaničku energiju pojedinca kreće se u prosjeku od 7 do 11 %. Brojni su istraživači analizirali količinu hrane potrebne čovjeku da samo svojim radom digne vodu i omogući natapanje. Procjene su dosta različite, a kreću se od 6 % do 18 %. To znači da pojedinac, da bi proizveo određenu količinu hrane na nekom području, sam mora pojesti od 6 % do 18 % ukupne proizvodnje hrane na istom području. Naglašava se još jednom da se radi o slučajevima kada se čovjek koristi jedino snagom svojih mišića za dizanje vode.

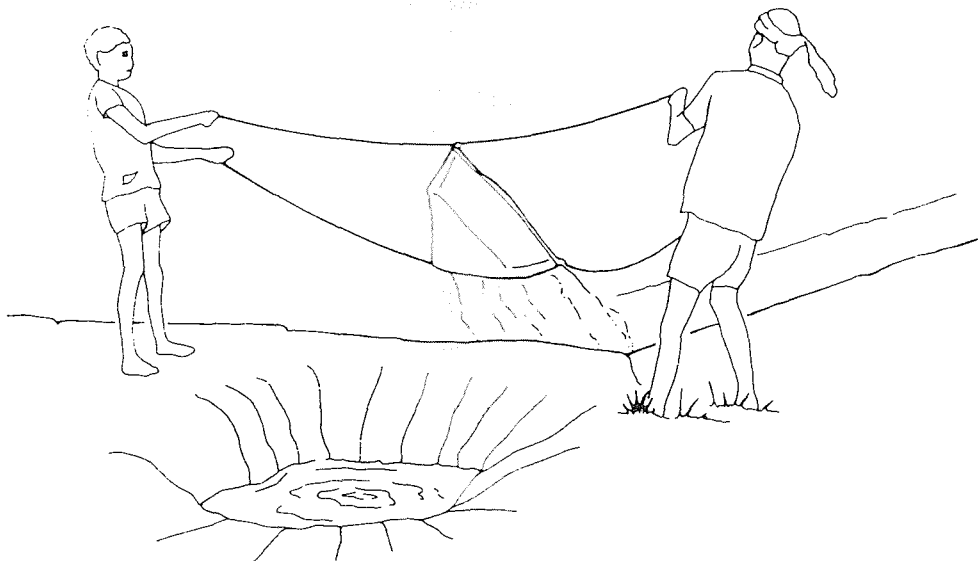
Mnogobrojni su načini dizanja vode samo čovječim radom. Na slici 9-2 čovjek se koristi velikom lopatom za dizanje i raspoređivanje vode iz glavnoga dovodnog kanala u razvodne kanale melioracijskog sustava. Razumljivo je da je ovaj način vrlo neefikasan i naporan te da je visina dizanja ograničena na ispod tridesetak centimetara. Na slici 9-3 prikazana je poboljšana verzija. Koristi se rad dvaju ljudi, a kao oruđe služi specijalna košara na prevrtanje.



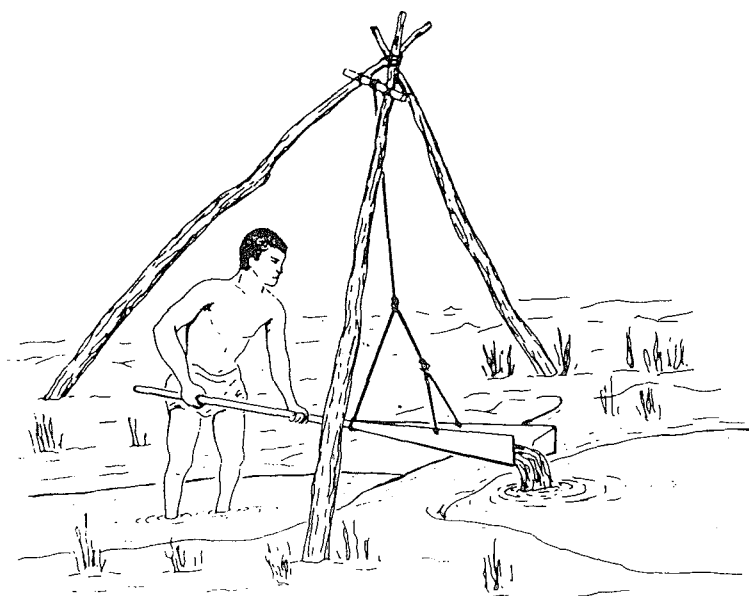
Sl. 9-2 Primjena lopate kao jednostavnoga ručnog oruđa

Na slici 9-4, čovječji je rad potpomognut specijalnom, ali vrlo jednostavnom konstrukcijom. Lopata za zahvatanje i dizanje vode podržana je sustavom konopa. Efikasnost je ljudskog rada time znatno povećana. Na slici 9-5 prikazan je uređaj za dizanje vode samo radom čovjeka, koji se primjenjuje u Bangladešu. Uređaj se naziva "dhone" a radi na principu ventila. Nije potrebno naglašavati da cjelokupni rad dizanja uređaja i vode i tu obavlja čovjek. Takvi načini dizanja vode mogući su u ravninskim područjima, a maksimalna visina dizanja ne može premašiti 1 m. Na slici

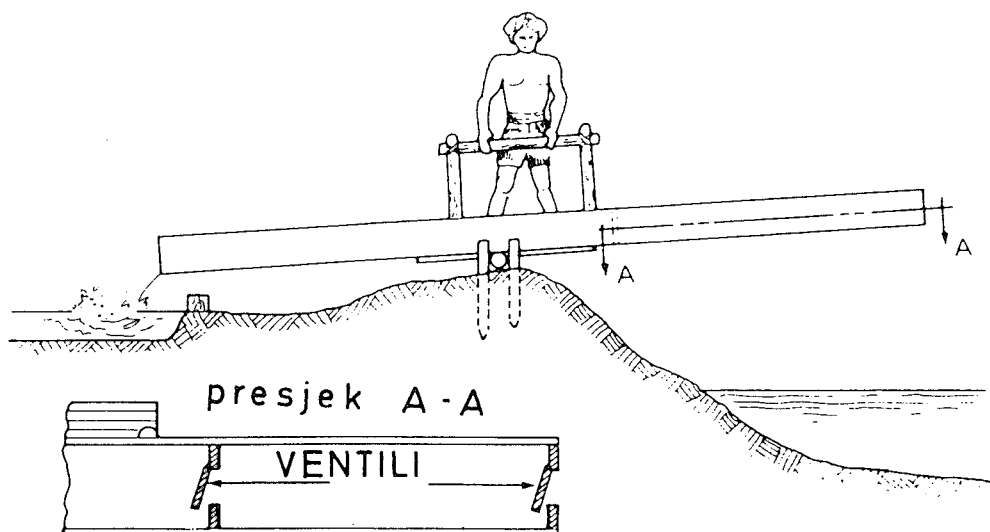
9-6 prikazano je dizanje vode primjenom protuutega. Sve metode dizanja prikazane na slikama 9-2 do 9-6 spadaju u prve i najstarije upotrebljavane postupke koji su se zadržali do danas.



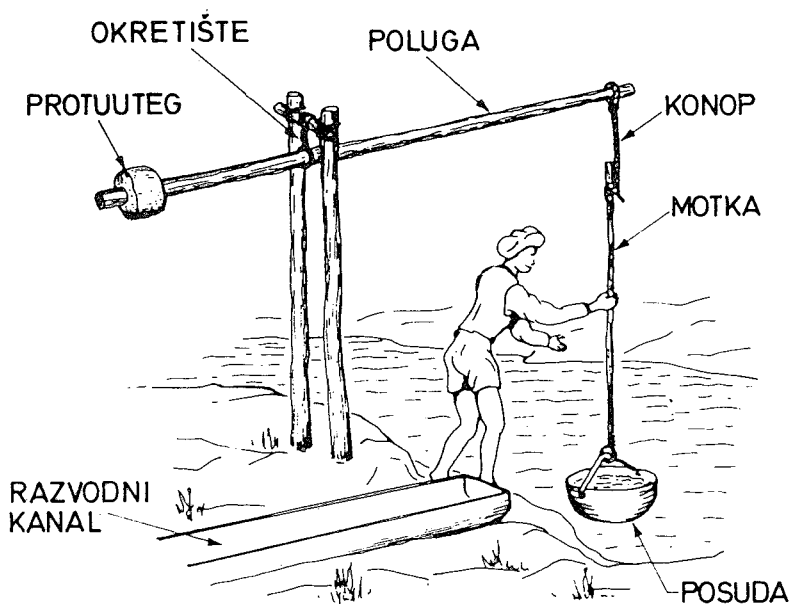
Sl. 9-3 Primjena košare na prevrtanje



Sl. 9-4 Primjena lopate podržane konopima



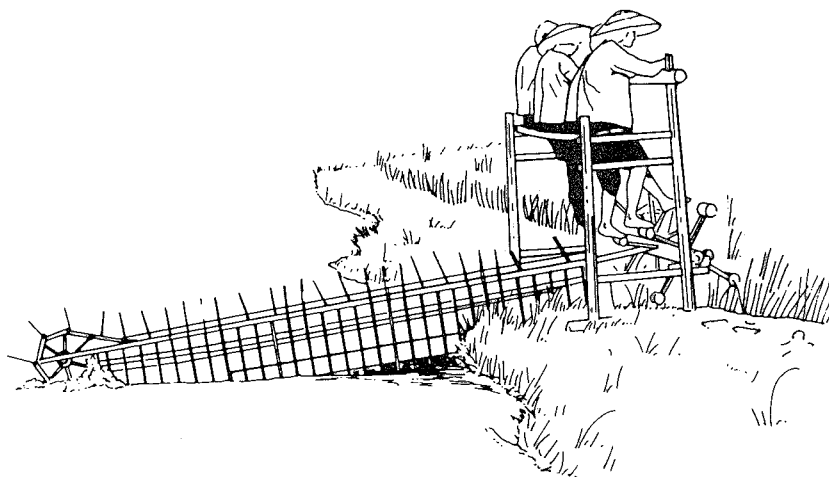
Sl. 9-5 Uređaj za dizanje vode koji se primjenjuje u Bangladešu



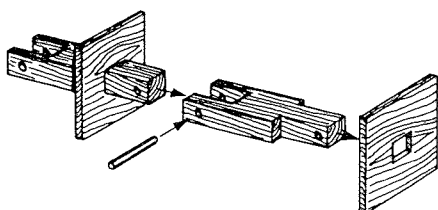
Sl. 9-6 Dizanje vode na osnovi protuutega

Na slici 9-7 prikazano je funkcioniranje vodene stepenice nazvane kineska crpka ili zmajeva kičma. Tom se napravom, kojoj je pogon jedino ljudski rad, može podignuti vodu na visine više od 1 m, a količine su podignute vode znatne u usporedbi s količinama koje se mogu dignuti na prethodno opisane načine. Vidljivo je da se

koristi rad nogu te da se može koristiti rad većeg broja ljudi. Radi se o klasičnom produktu visoko razvijene i drevne kineske civilizacije. Danas postoje i mehanizirane verzije kineske crpke, koje se koriste energijom vjetra, životinjskim pogonom pa čak i malim motorima s unutrašnjim sagorijevanjem.

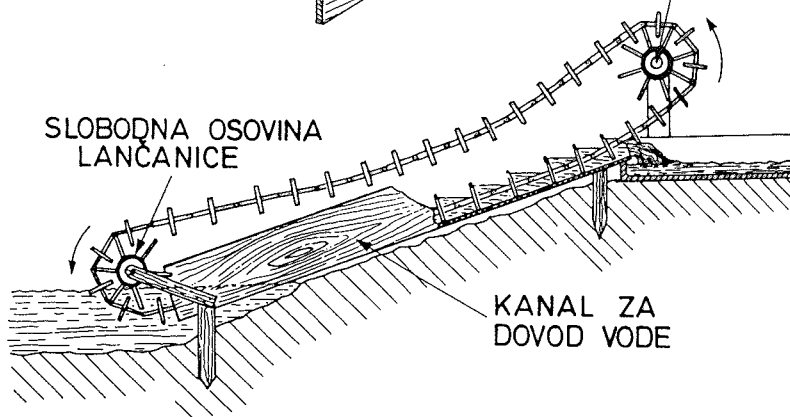


DETALJI TIPIČNE DRVENE  
LOPATICE VEZANE U NIZ



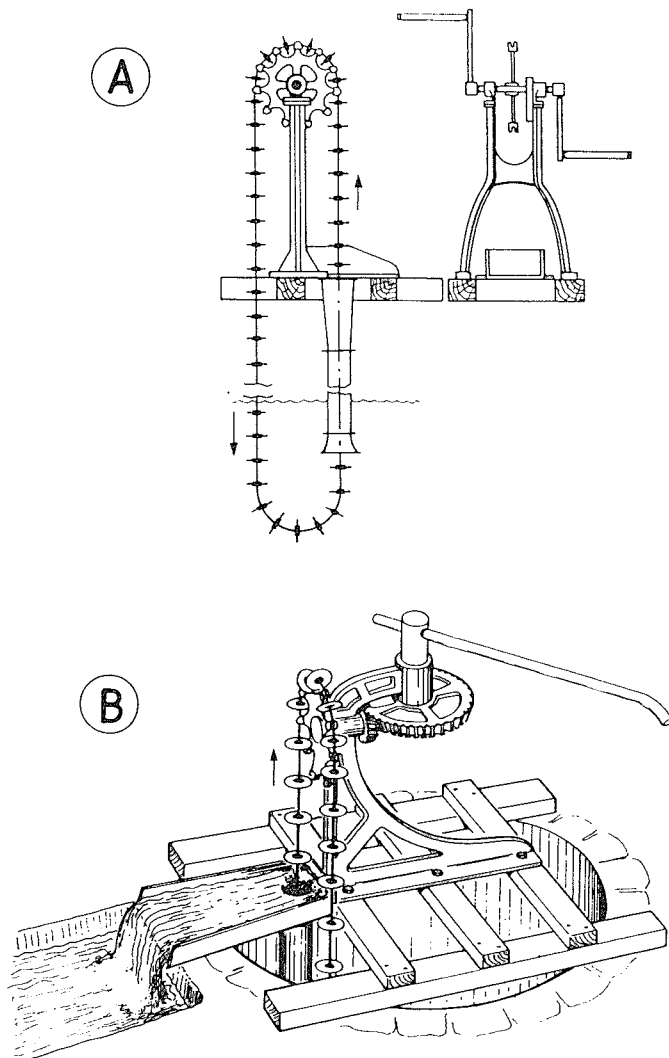
POKRETNNA OSOVINA  
LANČANICE

SLOBODNA OSOVINA  
LANČANICE



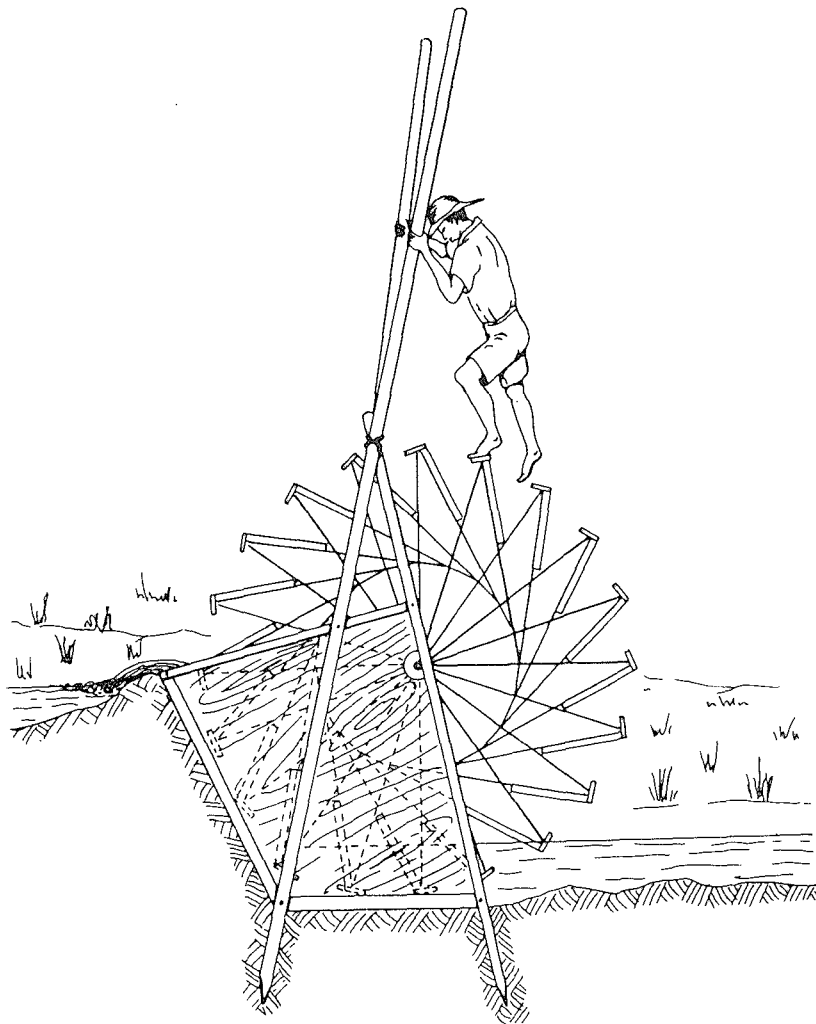
Sl. 9-7 Vodene stepenice ili kineska crpka nazvana zmajeva kiča

Doprinos je kineske civilizacije modernim tekovinama neprocjenjiv. Kao malen ali vrlo ilustrativan primjer, može poslužiti kineska crpka na zračni pogon, koja radi na principu kotača i slobodnog lanca, a prikazana je na slici 9-8. Pouzdano se zna da izvornik te crpke potječe iz razdoblja starijeg od 2000 godina. Maksimalna je visina dizanja 6 m, maksimalna količina crpljene vode iznosi  $8,6 \text{ m}^3/\text{h}$ , efikasnost rada crpke može dostići čak 76 %. Za njen je pogon potreban rad jednog ili dva čovjeka. Razumljivo je da danas ima različitih verzija koje se koriste i drugim vrstama pogona.



Sl. 9-8 Kineska crpka na ručni pogon na principu kotača i slobodnog lanca

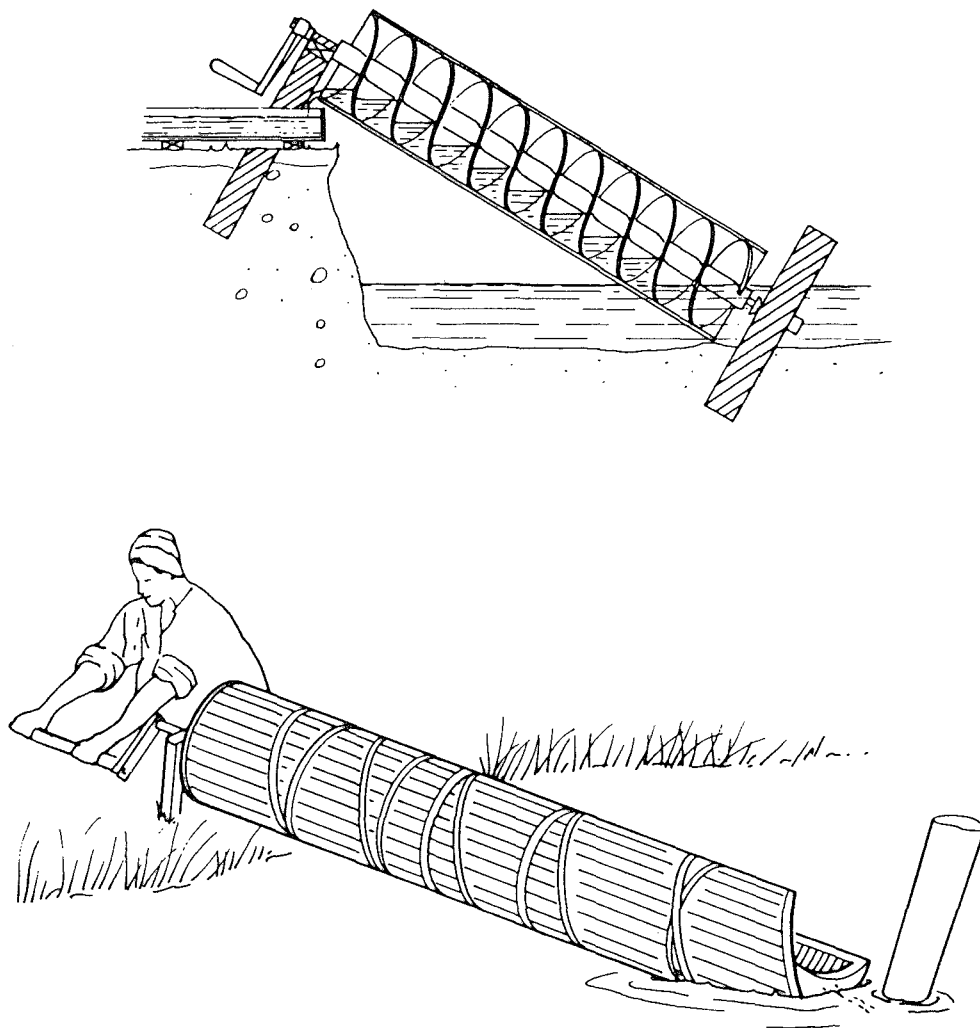
U drugim krajevima svijeta dizanje vode za potrebe natapanja rješavalo se tradicionalno na drugačije načine. Na slici 9-9 prikazana je najjednostavnija verzija koluta lopatica kojima se voda podiže koračanjem. Učinkovitost toga relativno složenog uređaja kreće se od 40 do 70 %.



*Sl. 9-9 Kolut lopatica kojima se voda podiže koračanjem*

Na slici 9-10 prikazan je Arhimedov zavrtanj koji služi kao crpka za dizanje vode. Ako je potrebno dizanje vode na visinu veću od 0,6 m, nužan je rad najmanje dvoje ljudi. Riječ je o vrlo starom postupku dizanja vode čija učinkovitost ne prelazi 30 % ako kao pogon služi ljudski rad. Moderne verzije Arhimedove crpke, koje se za pogon

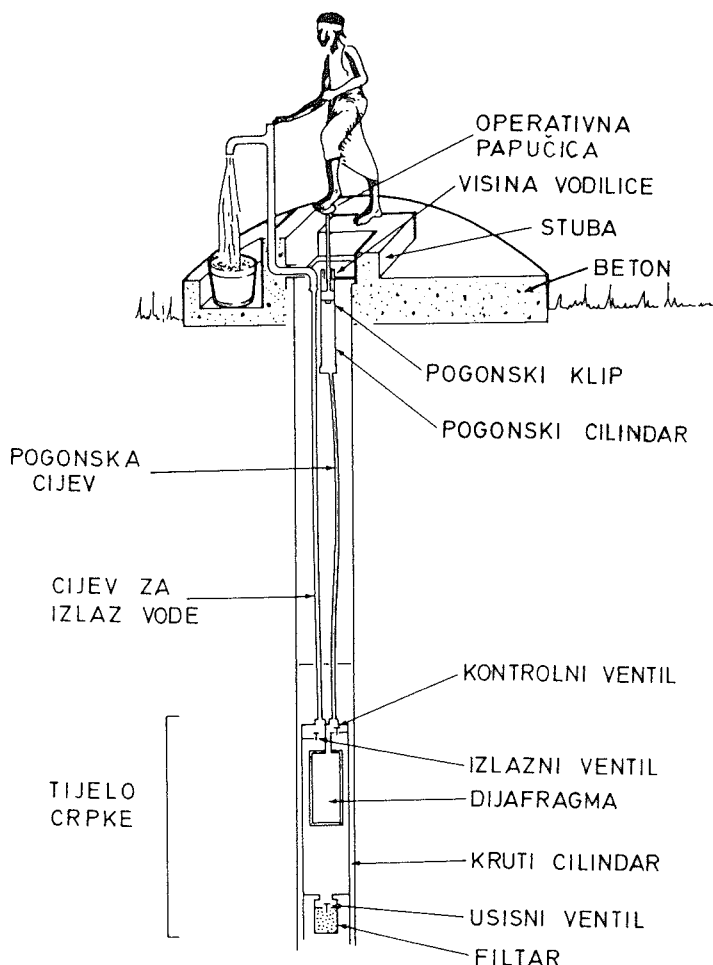
koriste motorima ili električnom energijom, imaju učinkovitost od 60 do 70 %. Optimalni kut nagiba Arhimedove crpke kreće se od 30° do 40°.



Sl. 9-10 Arhimedov zavrtanj

Primjena ljudskog rada za dizanje vode za potrebe natapanja može biti vezana i s relativno savršenijim instrumentima novijeg datuma. Takav je primjer prikazan na slici 9-11, gdje je nacrtana Vergnetova hidraulička crpka na nožni pogon. Tu se rabi voda pod tlakom za guranje vode iz bunara na površinu. Te se crpke uspješno i često upotrebljavaju za snabdijevanje manjim količinama vode u području Zapadne Afrike. Prednost je tog tipa crpke u tome što je podzemna voda koja se crpi, zaštićena od

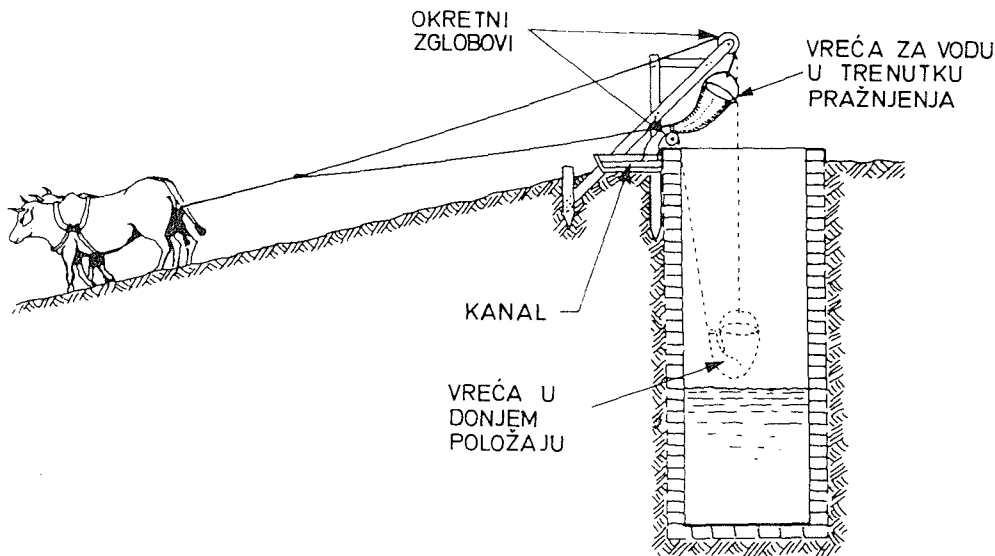
izravnog zagađenja. Cilindar je crpke smješten ispod razine podzemne vode u bunaru ili piezometarskoj bušotini.



Sl. 9-11 Vergnetova hidraulička crpka na nožni pogon

Kada je vodu potrebno dizati na veće visine, a ujedno kada su potrebne veće količine vode, rad čovjeka neće biti dovoljan za izvršavanje takvih zadataka. Ako nema drugih rješenja, kako je to bilo u prapovijesti, korištenje životinja predstavljalo je jedino rješenje problema, ali i njegovo znatno poboljšanje. Na slici 9-12 prikazan je jedan od najjednostavnijih a pretpostavlja se i najstarijih, načina dizanja vode korištenjem rada životinja. Djelotvornost je tog sustava općenito premalena za potrebe natapanja ako se ne primjenjuje paralelno nekoliko parova, najčešće, goveda. Taj se način dizanja vode i danas primjenjuje u Indiji, a voda se diže na visinu od 5 do 10 m.

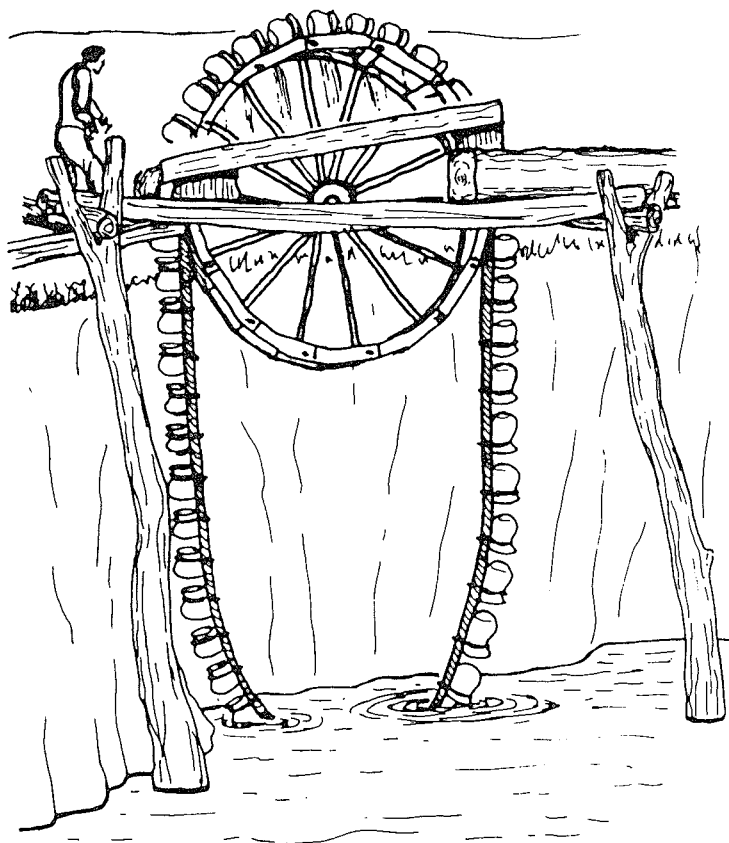




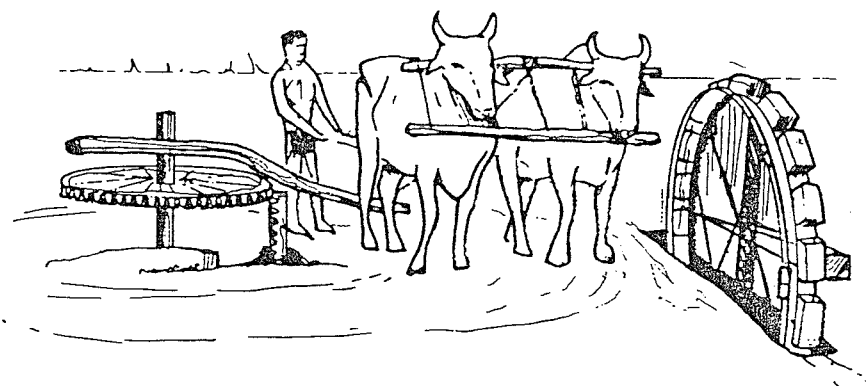
Sl. 9-12 Vreće koje se same prazne

U nastavku će se opisati naprave za izravno dizanje vode, koje rade na principu rotacije. Treba naglasiti da je taj princip, u cijelosti ili barem djelomično, primijenjen i kod uređaja opisanih na slikama 9-7, 9-8 i 9-9. Primjena principa rotacije općenito poboljšava učinkovitost, a time i produktivnost jer se element dignute vode može kretati jednoliko na kružnom putu. Nema prekidanja djelovanja pa je ulaz energije za svaki element dignute vode kontinuiran čak i ako je izlaz elementa volumena vode iz sustava diskontinuiran. Kao primjer jednoga od najstarijih, ali i danas široko upotrebljivanih uređaja, može poslužiti tzv. perzijski kotač nacrtan na slici 9-13. Pogon tom kotaču može davati čovjek (vrlo rijetko), životinje, vjetar, ali i voda, ako se radi o tekućici koja ima dovoljnu brzinu kretanja. Na slici 9-14 nacrtana je verzija perzijskog kotača pokretana parom goveda. I danas se često primjenjuje na Bliskom istoku i u južnoj Aziji. Na slici 9-15 prikazana je druga verzija perzijskog kotača koji pokreću deve.

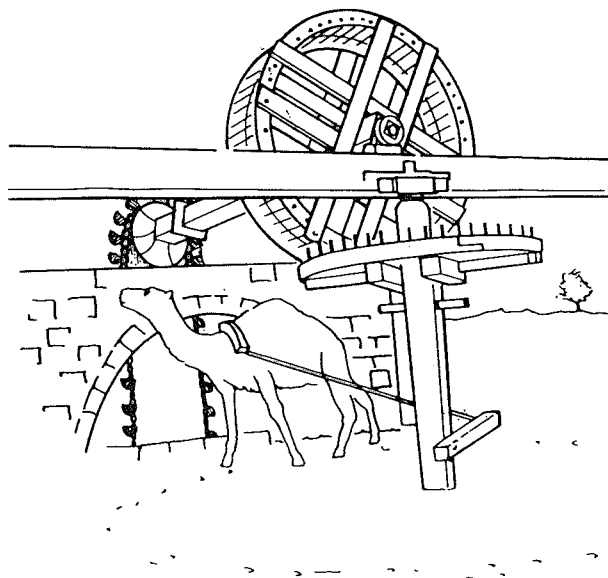
Uređaj prikazan na slici 9-16, spada u skupinu vodenih kotača koji se također mogu pokretati radom životinja, ali i tekućom vodom. Kotač prikazan na slici 9-16, naziva se "noria". Kao posude za dizanje vode služe parovi šupljih bambusovih trski začepljenih na strani vanjskog koluta, a pričvršćenih na dva koluta različita promjera. Oba su koluta kruto vezana i zajedno se kreću oko iste osi. Voda se počne prazniti iz šupljih bambusovih trski u trenutku kada one, prilikom rotacije, dođu u najviši položaj, kako se to može vidjeti na slici 9-16. "Norie" se i danas često primjenjuju u Thailandu, Kini, Vietnamu i Siriji.



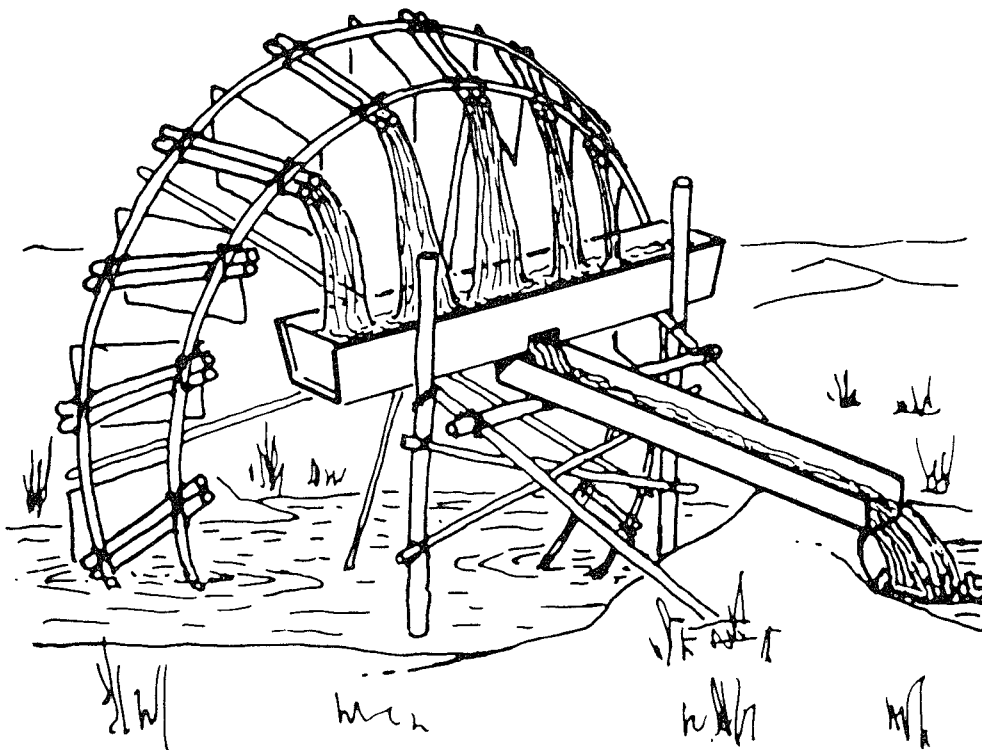
Sl. 9-13 Perzijski kotač



Sl. 9-14 Perzijski kotač pokretan teglećom stokom



Sl. 9-15 Perzijski kotač pokretan devama



Sl. 9-16 Vodeni kotač nazvan "noria" pokretan tekućom vodom

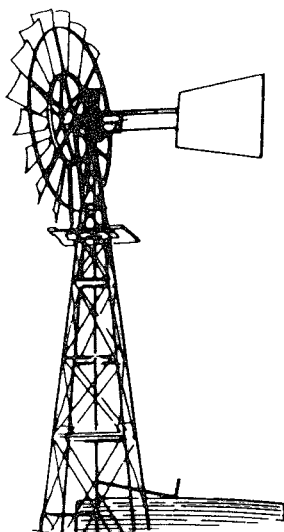
Treba naglasiti da su i perzijski kotači kao i "noria" vrlo djelotvorni mehanizmi. Najčešći problemi u njihovu djelovanju javljaju se zbog gubitaka vode prelijevanjem iz posuda. Uočava se ujedno da je posebno kod perzijskog kotača potrebno vodu dignuti oko 1 m više nego što je visina razvodnoga kanala. Tradicionalni, od drva izrađeni, perzijski kotači svakako zahtijevaju širi promjer posuda za skupljanje vode kako bi se smanjili nepovoljni učinci gubitaka vode prelijevanjem. Ta činjenica zahtijeva veće promjere kotača, a time se diktira i njegova viša cijena izrade. Pri minimalnim visinama dizanja vode od 1,5 m mogu se, primjenom perzijskih kotača uz životinjski pogon, postići protoci vode od 20 do 22 m<sup>3</sup>/h. Za maksimalne visine dizanja vode od 9 m može se postići protok vode od 8 do 10 m<sup>3</sup>/h.

Vjetar od davnina služi za dizanje vode. U Nizozemskoj su se njime koristili još tijekom 13. stoljeća, ponajprije za potrebe odvodnjavanja prostranih područja. Manje crpke na pogon vjetra za dizanje slane morske vode u solanama upotrebljavale su se stoljećima u Europi (Francuska, Španjolska, Portugal), a na Zelenortskom otočju (Cape Verde) upotrebljavaju se i danas.

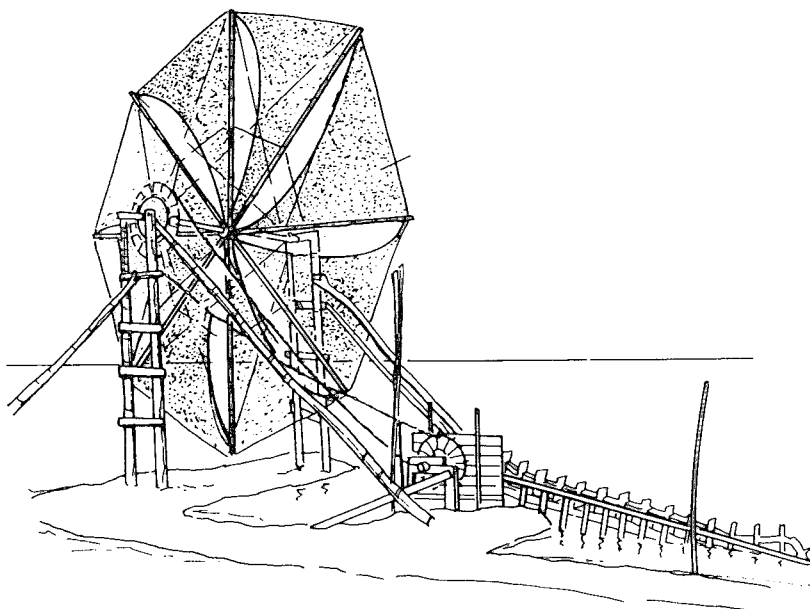
U razdoblju od 1860. do 1900. u SAD-u su se masovno počele primjenjivati crpke za dizanje slane morske vode na pogon vjetra. Na slici 9-17 prikazana je tipična američka crpka koja se i danas upotrebljava na farmama u SAD-u, a uvedena je u području sjevernoameričkih velikih ravnica za potrebe napajanja stoke. Gotovo cjelokupna konstrukcija izrađena je od čelika. Crpke na pogon vjetra primjenjuju se u najrazličitijim verzijama u brojnim drugim regijama kao npr. u Argentini, Australiji i Kini. Na slici 9-18 prikazana je thailandska crpka za dizanje vode, koja se za primanje energije vjetra koristi tkaninom razapetom u obliku jedara. Moderne se verzije crpki na pogon vjetra sve češće i uspješnije primjenjuju u praksi dizanja vode, i to u cijelom svijetu, ako postoje pogodni vjetrovi koji mogu obavljati taj važan posao.

Primjena principa teglice (natege, sifona), tamo gdje dopuštaju terenske prilike, može se apsolutno preporučiti zbog svoje jednostavnosti i jeftinoće, zbog čega je u prednosti pred svima prije spomenutim metodama i svim priborima. Strogo govoreći, sifoni ne spadaju u naprave za dizanje vode jer, nakon protjecanja kroz sifon, voda završava na nižoj razini od one početne. Međutim, nategom se voda prebacuje preko zapreka koje su više od razine vode. Na slici 9-19 A prikazan je čest slučaj upotrebe natege u praksi. Radi se o potrebi raspodjeljivanja vode iz glavnoga dovodnog kanala u brojne odvodne kanale u pojedine dijelove sustava za natapanje. Sifonima se voda ne može podignuti više od 5 m. Glavni problem s teglicama nastaje zbog pojave niskog tlaka u najvišoj točki naprave, što je u početku zapreka jer smanjuje protok vode kroz cijev pa se može stvoriti zračni jastuk i potpuno zaustaviti tečenje. Zbog toga cijev teglice mora biti potpuno nepropusna za zrak. Problem je i puštanje u rad sifona. Najjednostavnije izvedbe sifona izrađene su od plastičnih savitljivih cijevi ili čeličnih profila savijenih otprilike u obliku prikazanome na slici 9-19 B, što ovisi o lokalnim uvjetima. Cijevi se u potpunosti napune vodom i urone jednim krajem u glavni odvodni kanal a drugim krajem u neki od razvodnih kanala. Time započinje istjecanje vode iz glavnog kanala u razvodni kanal. Početak funkcioniranja sifona

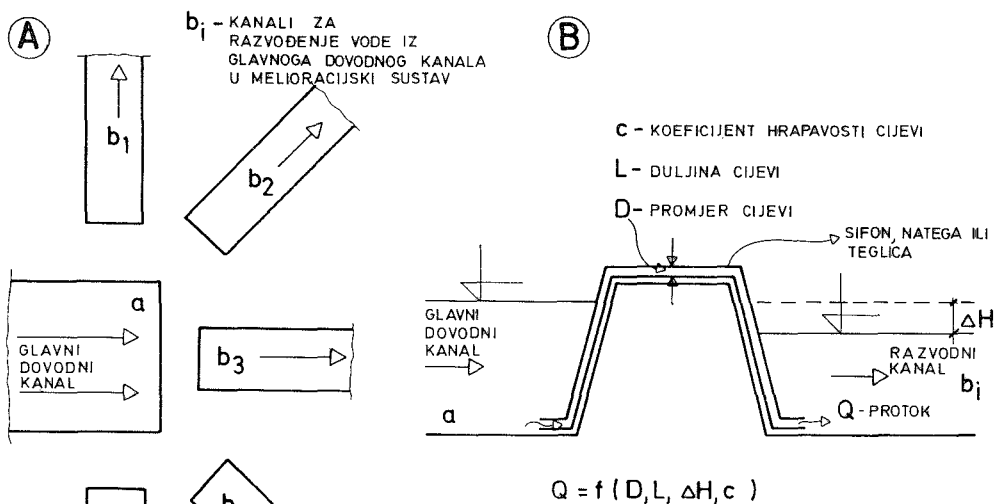
može se ostvariti i na druge, tehnički složenije, načine, i to ulijevanjem vode u najvišim točkama cijevi ili pomoću vakuum pumpe. Protok kroz teglicu  $Q$  izražen u l/s zavisi od promjera cijevi  $D$  izraženog u m, duljine cijevi  $L$  izražene u m, promjenjive razlike razine vode u dovodnom i odvodnom kanalu  $\Delta H$  izražene u m te od bezdimenzionalnoga koeficijenta hrapavosti cijevi  $c$ .



*Sl. 9-17 Američka crpka za vodu koja se koristi energijom vjetra*



*Sl. 9-18 Thailandska crpka za vodu koja se koristi energijom vjetra*



Sl. 9-19 Razvođenje vode iz glavnoga dovodnog kanala u razvodne kanale melioracijskog sustava primjenom principa teglice

Opći izraz za protok  $Q$  kroz teglicu, uz pretpostavku da je koeficijent hrapavosti  $c=1$ , glasi:

$$Q = 3,479 \frac{D^2 \sqrt{\Delta H}}{\sqrt{1,6 + 0,025 \frac{L}{D}}} \quad (9.2)$$

U tablici 9-1 dani su protoci  $Q$  za različite vrijednosti  $D$ ,  $L$  i  $\Delta H$ .

Protoci vode  $Q$  kroz sifon izraženi u l/s u funkciji različitih vrijednosti  $D$ ,  $L$  i  $\Delta H$

Tablica 9-1

Q (l/s)		D=4 cm		D=5 cm	
		L=2 m	L=3 m	L=2 m	L=3 m
$\Delta H$ (m)	0,1	1,04	0,944	1,70	1,56
	0,2	1,47	1,34	2,41	2,21
	0,3	1,81	1,64	2,95	2,71
	0,4	2,08	1,89	3,41	3,12
	0,5	2,33	2,11	3,81	3,50

Osim sifona, čiji je oblik prikazan na slici 9-19, u praksi se nerijetko primjenjuju tzv. preokrenuti (obrnuti) sifoni, koji se mogu ukopati ispod površine tla, čime se omogućuje slobodan prolaz poljoprivrednih strojeva.

## LITERATURA

1. Fraenkel, P.L. 1986. Water Lifting Devices, FAO Irrigation and Drainage Paper 43, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 295 str.





## 10. PROGRAM "CROPWAT" - PRIMJENA U PLANIRANJU I PROJEKTIRANJU NATAPANJA

*Dr. Davor Romić*  
*Agronomski fakultet*  
*Sveučilišta u Zagrebu*

*Mr. Jasna Šoštarić*  
*Poljoprivredni fakultet*  
*Sveučilišta u Osijeku*

*Prof. dr. Frane Tomić*  
*Agronomski fakultet*  
*Sveučilišta u Zagrebu*

*Prof. dr. Stjepan Mađar*  
*Poljoprivredni fakultet*  
*Sveučilišta u Osijeku*

### 10.1. UVOD

Sustavi za natapanje projektiraju se i izvode da bi se nadoknadio nedostatak vode potrebne za optimalan uzgoj biljaka, koji je prouzročen nedostatkom oborina i/ili zaliha vode u tlu.

Doorenbos i Pruitt (1977.) dali su u obliku modela smjernice za određivanje potreba usjeva za vodom i načina njihove primjene u planiranju i projektiranju sustava za natapanje. Razvoj računalskih tehnologija omogućio je ubrzavanje postupaka proračuna i projektiranja u različitim područjima djelatnosti. Tako je i računalški program CROPWAT nastao u svrhu ubrzanja postupka izračunavanja evapotranspiracije i potreba biljaka za vodom, a time i modeliranja u natapanju. Program se temelji na metodama opisanima u FAO publikacijama "Irrigation and Drainage Papers" No. 24 "Crop water requirements" i No. 33 "Yield response to water".

Sam program razradio je Martin Smith (1992.), djelujući pri Water Resources, Development and Management Service/AGLW FAO, Rim, Italija. Ima nekoliko

verzija tog programa, a pokreće ga svako računalo IBM-PC ili kompatibilno, najmanje 360 Kb.

Program omogućuje proračun referentne evapotranspiracije, zahtjeva kulture za vodom, potreba za natapanjem te proračun mjesečnih količina vode koje treba osigurati za natapanje kultura uzimajući u obzir određeni plodored i površine pod pojedinim kulturama. Na temelju tako dobivenih podataka omogućena je izrada rasporeda natapanja u različitim uvjetima gospodarenja te procjena mogućih smanjenja prinosa u uvjetima uzgoja bez natapanja.

Cilj je ovog rada upoznavanje s osnovnim principima rada i mogućnostima programa, na primjeru koji se osniva na podacima s meteorološke stanice Rijeka, uz izbor kultura i opcija natapanja. Pri tome će izbornici koji se ne ispisuju biti prikazani kao originali iz programa i označeni kao slike, a ispis rezultata proračuna u obliku originalnih tablica.

## 10. 2. PRINCIPI RADA I MOGUĆNOSTI PROGRAMA

Nakon instaliranja i pokretanja, program daje osnovne informacije o instituciji i upotrijebljenoj literaturi i autoru koji ga je razvio. Nakon osnovnih informacija nudi se glavni izbornik programa (slika 10-1).

MAIN MENU CROPWAT (5.7)	
PROGRAM OPTIONS:	
1.	ET <sub>o</sub> Penman - Monteith calculations
2.	Crop water requirements
3.	Irrigation scheduling
4.	Scheme water supply
5.	Printer setting
6.	Drive & path setting
9.	Exit CROPWAT
Your Option: -	

Sl. 10-1 Glavni izbornik programa CROPWAT (5.7)

Glavni izbornik programa CROPWAT-a (5.7) nudi opcije proračuna:

- Referentne evapotranspiracije (ET<sub>o</sub>) prema metodi Penman - Monteith
- Potreba biljaka za vodom
- Rasporeda natapanja
- Rasporeda opskrbe vodom

Slijedeći opcije glavnog izbornika, opisat će se najvažniji dijelovi i mogućnosti programa.

### 10.2.1. Izračunavanje referentne evapotranspiracije ( $ET_o$ )

Referentna evapotranspiracija ( $ET_o$ ) definirana je kao vrijednost evapotranspiracije s određene površine od 8 do 15 cm jednolično visokog i aktivno uzgajanoga travnatog pokrivača, koji potpuno zasjenjuje površinu i ne oskudijeva vodom (Doorenbos i Pruitt, 1977). Postupaka za izračunavanje referentne evapotranspiracije ima više. Starije verzije programa (CROPWAT 5.5 i 5.6) izračunavaju  $ET_o$  prema Penmanovoj metodi, dok se u verziji CROPWAT (5.7) primjenjuje Penman-Monteithova metoda.

Za izračunavanje vrijednosti  $ET_o$  u mm/dan potrebne su mjesečne vrijednosti četiriju klimatskih parametara: srednje temperature zraka, relativne vlage zraka, dnevnog sisanja sunca i brzine vjetra.

Osim klimatskih podataka, nužni su i ovi podaci o meteorološkoj stanici: nadmorska visina, zemljopisna dužina i širina.

Primjer izračunate  $ET_o$ , koji se osniva na višegodišnjima prosječnim klimatskim podacima s meteorološke stanice Rijeka, prikazan je u tablici 10-1.

*$ET_o$  izračunata na temelju višegodišnjih prosječnih klimatskih podataka s meteorološke stanice Rijeka*

Tablica 10-1

Reference Evapotranspiration $ET_o$ according to Penman - Monteith						
Country:	Croatia		Meteo Station:	Rijeka	(25 Yr)	
Altitude:	120 meters		Coordinates:	45.20 N.L.	14.40 E.L.	
Month	Avg. Temp. (°C)	Humid. (%)	Wind (km/day)	Sunshine (hours)	Radiation (MJ/m <sup>2</sup> /day)	$ET_o$ Pen.-Mon. (mm/day)
January	5.4	65	156	3.2	5.0	0.9
February	6.2	63	199	4.2	7.8	1.3
March	8.6	62	186	4.6	11.3	1.9
April	11.9	61	168	5.8	15.6	2.6
May	16.4	65	130	7.1	19.3	3.3
June	20.0	63	121	8.1	21.4	4.1
July	22.6	58	130	9.2	22.5	4.6
August	22.0	59	130	8.2	19.3	4.0
September	18.6	65	143	6.5	14.3	2.9
October	14.2	66	168	5.3	9.7	1.9
November	9.8	68	186	3.5	5.7	1.2
December	6.5	66	186	3.1	4.4	1.0
YEAR	13.5	63	158	5.7	13.0	905

Iz rezultata prikazanih u tablici 10-1 prosječna godišnja temperatura zraka iznosi 13.5°C, relativna vlaga zraka 63 %, brzina vjetra 158 km/dan, a insolacija 5.7 sati.

Prosječna godišnja  $ET_0$ , izračunata iz navedenih klimatskih podataka, iznosi 905 mm, a najviša joj je dnevna vrijednost u srpnju i iznosi 4.6 mm.

Program omogućuje modificiranje i pospremanje izračunatih podataka u posebnu datoteku za kasniju upotrebu.

### 10.2.2. Izračunavanje potreba biljaka za vodom

Drugi element glavnog izbornika (Potrebe biljke za vodom), središnji je dio programa CROPWAT, a podijeljen je u tri dijela:

- Unos vrijednosti mjesečne referentne evapotranspiracije ( $ET_0$ ) i količina oborina
- Unos podataka o kulturi i planirani datumi sjetve
- Proračun i prikaz potreba biljke za vodom.

#### 10.2.2.1. Unos klimatskih podataka

Program omogućuje izračunavanje vrijednosti  $ET_0$  prema Penman-Monteithovoj metodi upotrebom elementa programa PENMAN u CROPWAT-u, ali su mogući i odvojeni proračuni primjenom drugih formula za izračunavanje  $ET_0$ , npr. one prema Penmanu, Blaney-Criddeu i druge. To je naročito važno ako se za određeno područje za proračun  $ET_0$  pokazala boljom neka od drugih metoda jer program omogućuje unošenje i tako dobivenih podataka.

Za izračunavanje zahtjeva kulture za vodom, nužni su i podaci o oborinama. Program traži da se unesu ili srednje vrijednosti ili vjerojatnost pojave oborina. Budući da sve izmjerene oborine nisu iskoristive za biljku jer se dio gubi površinskim otjecanjem i perkolacijom u dublje slojeve, a dio zadržava na biljci i izravno isparuje, Dastone (1974) uveo je termin *efektivnih oborina*. Program omogućuje izračunavanje efektivnih oborina pomoću četiriju metoda, što je označeno brojevima od 1 do 4 u izborniku prikazanom na slici 10-2.

EFFECTIVE RAINFALL	
Effective rainfall calculated according to:	
Fixed percentage of rainfall	1
Dependable Rain (empirical form)	2
Empirical formula (locally dev)	3
USDA Soil Conservation Service	4
Rainfall not considered	5
Return to climate data screen	6
INFORMATION on effective rain	0
Your option (0-6): 1	
Give percentage of effective rainfall: ? 80	

Sl. 10-2 Izbornik za izračunavanje efektivnih oborina

Ponuđene metode za izračunavanje efektivnih oborina razlikuju se međusobno:

*Fiksni postotak oborina,*

gdje se efektivne oborine izračunavaju prema formuli

$$P_{eff} = a \cdot P_{tot} ,$$

gdje je  $a$  fiksni postotak, koji određuje korisnik, za obračun gubitaka površinskim otjecanjem i procjeđivanjem izvan rizosfere. Normalni se gubici kreću od 10 do 30 %, odnosno vrijednost  $a=0,7-0,9$ .

*Pouzdana oborina,*

gdje se pouzdane oborine izračunavaju pomoću empirijske formule, izvedene u FAO/AGLW, na temelju analiza za različite aridne i subhumidne klimate. Vrijednosti se izračunavaju prema formulama:

$$P_{ef} = 0,6 \cdot P_{tot} - 10 \text{ za } P_{tot} < 70 \text{ mm}$$

$$P_{ef} = 0,8 \cdot P_{tot} - 24 \text{ za } P_{tot} > 70 \text{ mm}$$

*Empirijska formula*

Parametri se mogu odrediti analizom lokalnih klimatskih mjerenja, a njihovom se analizom, nadalje, mogu procijeniti efektivne oborine. Odnosi se pojednostavljeno mogu prikazati ovim jednadžbama:

$$P_{eff} = a \cdot P_{tot} + b \text{ za } P_{tot} < z \text{ mm}$$

$$P_{eff} = c \cdot P_{tot} + d \text{ za } P_{tot} > z \text{ mm} ,$$

gdje su vrijednosti  $a$ ,  $b$ ,  $c$  i  $z$  korelacijski koeficijenti<sup>1</sup>.

*USDA - metoda Soil Conservation Service*

Efektivne oborine ovom metodom mogu se izračunati po formulama:

$$P_{eff} = \frac{P_{tot} (125 - 0,2 \cdot P_{tot})}{125} \text{ za } P_{tot} < 250 \text{ mm}$$

$$P_{eff} = P_{tot} (125 + 0,1 \cdot P_{tot}) \text{ za } P_{tot} > 250 \text{ mm}$$

Primjer izračunatih efektivnih oborina na temelju višegodišnjih prosječnih klimatskih podataka prikazan je u tablici 10-2. Pri proračunu je primijenjena opcija 1 iz izbornika (fiksni postotak oborina), gdje je uzeta vrijednost parametra  $a=0.8$ .

<sup>1</sup> Detaljne informacije za izračunavanje efektivnih oborina mogu se naći u FAO publikaciji Irrigation and drainage Paper No.25 "Effective rainfall" (1974).

*Efektivne oborine dobivene CROPWAT-om za višegodišnje prosječne oborine izmjerene na stanici Rijeka*

Tablica 10-2

Country : Croatia		Climate Station : Rijeka	
	ET <sub>o</sub> (mm/day)	Rainfall (mm/month)	Eff. Rain (mm/month)
January	0.9	146.0	116.8
February	1.3	133.0	106.4
March	1.9	124.0	99.2
April	2.6	112.0	89.6
May	3.3	118.0	94.4
June	4.1	114.0	91.2
July	4.6	80.0	64.0
August	4.0	122.0	97.6
September	2.9	192.0	153.6
October	1.9	161.0	128.8
November	1.2	167.0	133.6
December	1.0	152.0	121.6
YEAR Total	904.8	1621.0	1296.6
Effective Rainfall: 80 %			

*10.2.2.2. Unos podataka o uzgajanoj kulturi*

Sljedeći je korak u proračunu potreba biljke za vodom unos podataka o kulturi za koju se proračun provodi. Da bi potrebe za vodom bile korektno izračunate, nužno je poznavati stadije razvoja kulture koja će se uzgajati u određenima agroekološkim uvjetima i podatke upisati u izbornik koji je prikazan slikom 10-3.

CROP DATA INPUT						
Crop:		Crop file:				
Growth stage	~	Initial	Devel	Mid	Late	Total
1. Crop stage	days					
2. Crop coefficient	coeff.					
3. Rooting depth	metre					
4. Depletion level	fract.					
5. Yield response f.	coeff.					

*SLIKA 10-3 Izbornik za unos podataka o kulturi*

Podaci o kulturi koje je potrebno upisati u izbornik (slika 10-3) jesu ovi:

1. Stadij razvoja (dana)
2. Koeficijent kulture ( $K_c$ )
3. Dubina zakorjenjivanja (D)
4. Dopušteno opadanje vlage u tlu do kritične razine (p)
5. Faktor utjecaja na prinos ( $K_y$ )

#### *Stadiji razvoja biljke*

Doorenbros i Pruitt (1974.) podijelili su vegetacijsko razdoblje u četiri stadija kako slijedi:

- početni stadij (A)
- razvojni stadij (B)
- središnji stadij (C)
- kasni stadij (D)

Za svaku kulturu za koju se izračunavaju potrebe vode, nužno je poznavati dužinu trajanja pojedinog stadija razvoja i biljne vrste i kultivara za koji se proračun radi. Orijentacijske vrijednosti trajanja vegetacijskog razdoblja i svakog od stadija razvoja kultura u pojedinim područjima dane su u priručniku "CROPWAT" (FAO Irrigation and drainage paper No.46, 1992). Za naša podneblja te vrijednosti svakako treba korigirati.

#### *Koeficijent kulture ( $K_c$ )*

Da bi se referentna evapotranspiracija ( $ET_o$ ) dovela u vezu s evapotranspiracijom uzgajane kulture ( $ET_k$ ), u proračun je uveden koeficijent kulture ( $K_c$ ). Prema tome se evapotranspiracija kulture izračunava prema izrazu:

$$ET_k = ET_o \cdot K_c$$

Potrebno je upisati vrijednosti  $K_c$  za početni (A), središnji (C) i završni stadij (D), dok program interpolira vrijednosti za razvojni (B) stadij. Vrijednosti  $K_c$  za pojedini od stadija razvoja kulture dane su i u priručniku "Cropwat" i u FAO publikaciji "Crop water requirements" (FAO Irrigation and drainage paper No. 24, 1974). Pri izboru koeficijenta kulture potrebno je, osim fizioloških karakteristika kulture i klimatskih pokazatelja područja, poznavati i tehnologiju proizvodnje određene kulture. To se odnosi i na drvenaste kulture, koje se mogu uzgajati u uvjetima biljnog malča ili bez njega, i na krmne kulture, koje se mogu kositi jednom ili više puta ovisno o kulturi i klimatu.

#### *Dubina zakorjenjivanja (D)*

O dubini zakorjenjivanja kulture izravno ovisi količina raspoložive vode u tlu (Readily Available Soil Moisture - RAM) koju kultura može efektivno iskoristiti. Dubina zakorjenjivanja ovisi i o kulturi i o njezinu razvojnom stadiju. I uvjeti u tlu mogu ograničavati dubinu zakorjenjivanja, kao što je pojava nepropusnog sloja, čemu valja posvetiti posebnu pozornost.

U program se unose dvije vrijednosti:

- dubine korijena u početnom stadiju i
- dubine korijena u punom razvojnom stadiju sredinom vegetacije.



Vrijednosti dubine korijena za razvojni (B) i kasni (D) stadij (zrioba), program interpolira i nije ih potrebno unositi.

*Dopušteno opadanje vlage u tlu do kritične razine (p)*

Dopušteno opadanje vlage u tlu jest smanjenje vlažnosti tla do kritične razine, kada se pojavljuje prvi "vodni stres" djelujući štetno na evapotranspiraciju, a time i na biljnu produkciju. Vrijednost p jest dio fiziološki aktivne vode u tlu i iznosi od 0,2 do 0,9. Niže su vrijednosti za osjetljive kulture ograničenoga korijenovoga sustava u uvjetima visoke evaporacije, a više su vrijednosti za duboko i zbijeno korijenje pri smanjenoj evapotranspiraciji. Vrijednosti dopuštenog opadanja vlage u tlu za pojedinu kulturu dane su u priručniku "Cropwat" i u FAO publikaciji "Crop water requirements" (FAO Irrigation and drainage paper No.24, 1974).

*Faktor utjecaja na prinos ( $K_y$ )*

Faktor utjecaja na prinos ( $K_y$ ) jest procjena smanjenja prinosa kao posljedice "vodnog stresa" i treba ga odrediti za svaki od razvojnih stadija. Vrijednosti faktora  $K_y$  za pojedine kulture dane su i u priručniku "Cropwat" i u FAO publikaciji "Yield response to water" (FAO Irrigation and drainage paper No.33, 1979).

Uzimajući kao primjer izračunavanja potreba za vodom za uzgoj lubenice, nakon unosa traženih podataka u izbornik (slika 10-3) može se ispisati u obliku tablice 10-3.

*Izbornik s unesenim podacima o kulturi za koju se čini proračun potreba za vodom*

*Tablica 10-3*

CROP DATA INPUT						
Crop: LUBENICA			Crop file: Lubenica			
Growth stage		Initial	Devel	Mid	Late	Total
1. Crop stage	days	25	35	40	20	120
2. Crop coefficient	coeff.	0.40		1.05	0.85	
3. Rooting depth	metre	0.5		1.00	1.00	
4. Depletion level	fract.	0.35		0.35	0.35	
5. Yield response f.	coeff.	0.7	0.8	0.80	0.30	1.10

Program omogućuje da se tako uneseni podaci o kulturi za koju se čini proračun potreba za vodom, ili ispišu ili pospreme u posebnu datoteku.

*10.2.2.3. Izračunavanje i prikaz rezultata potreba biljaka za vodom*

Nakon proračuna referentne evapotranspiracije po Penman-Monteithovoj metodi iz višegodišnjih podatka s meteorološke stanice Rijeka te unošenja i izračunavanja efektivnih oborina uz podatke o kulturi, nakon izbora datuma sjetve, slijedi završni

dio ovog dijela programa: proračuna potreba za vodom kulture uzgajane u određenima agroekološkim uvjetima.

Datum sjetve/sadnje posebno se unosi, a uvjetovan je zahtjevima kulture, prije svega odgovarajućim klimatskim čimbenicima. Program traži podatak o datumu sjetve/sadnje, a na temelju dužine vegetacije izračunava se datum berbe.

Nakon unošenja podataka i postupka izračunavanja, program daje prikaz ovih podataka po dekadama za razdoblje vegetacije:

- Koeficijent kulture ( $K_c$ )
  - ET kulture (mm/dan), (mm/dekadi) i ukupnu za vegetaciju
  - Efektivne oborine (mm/dekadi) i ukupne za vegetaciju
  - Potrebe biljke za vodom (mm/dan), (mm/dekadi) i ukupnu za vegetaciju.
- Prosječna dnevna evapotranspiracija (ET kulture) određuje se

$$ET_{kulture} = K_c \cdot ET_o$$

Evapotranspiracija po dekadama izračunava se množenjem brojem efektivnih dana. Uobičajeno je to 10 dana, osim za prvu i posljednju dekadu kada se datumi sjetve i berbe ne moraju poklapati s početkom ili krajem dekade.

Potreba za natapanjem ( $I_n$ ) određuje se prema izrazu:

$$IRReq = ET_{crop} \cdot P_{eff} \quad ,$$

gdje je  $IRReq$  nedostatak vode koji treba nadoknaditi natapanjem,  $ET_{crop}$  evapotranspiracija biljke i  $P_{eff}$  efektivne oborine.

Vrijednost se računa jednako kao ET kulture, kao prosjek po danu, dekadi i za vegetaciju.

Iz primjera se vidi da za uzgoj lubenice sadene 20. travnja na području meteorološke stanice Rijeka u prosječnim klimatskim uvjetima, maksimalna evapotranspiracija kulture ( $ET_{crop}$ ) iznosi 4.95 mm/dan u drugoj dekadi kolovoza. Ukupna evapotranspiracija lubenice iznosi 394.2 mm, dok ukupne efektivne oborine iznose 339.2 mm. Ukupni nedostatak vode koji bi trebalo osigurati natapanjem ( $IRReq$ ) da bi se postigao puni proizvodni potencijal ove kulture, iznosi 121.1 mm. Ukupni je nedostatak vode zbroj dekadnih razlika između dekadnih evapotranspiracija kulture i efektivnih oborina.

Ta tablica čini završni dio dijela programa koji definira zahtjev biljke za vodom. Dobiveni podaci mogu se ispisati, pospremiti u odgovarajuću datoteku za kasniju obradu teksta ili se mogu pospremiti za daljne korištenje pri proračunu rasporeda potreba za vodom u posebnu datoteku naziva "Field" (:FLD).

Program nastavlja radom prikazom izbornika na slici 10-4.

## Potrebe lubenice za vodom izračunate primjenom CROPWAT-a

Tablica 10-4

Crop Evapotranspiration and Irrigation Requirements								
Climate File: Rijeka				Climate Station: RIJEKA				
Crop: LUBENICA				Planting Date: 20 April				
Month	Dec	Stage	Coeff K <sub>c</sub>	ET <sub>crop</sub> mm/day	ET <sub>crop</sub> mm/dec	Eff.Rain mm/dec	IRReq mm/day	IRReq mm/dec
Apr	3	init	0.40	1.14	11.4	30.4	0.00	0.00
May	1	init	0.40	1.23	12.3	30.9	0.00	0.00
May	2	in/de	0.45	1.48	14.8	31.5	0.00	0.00
May	3	deve	0.59	2.08	20.8	31.1	0.00	0.00
Jun	1	deve	0.77	2.93	29.3	30.8	0.00	0.00
Jun	2	deve	0.96	3.88	38.8	30.4	0.84	8.4
Jun	3	mid	1.05	4.45	44.5	27.4	1.71	17.1
Jul	1	mid	1.05	4.71	47.1	23.0	2.41	24.1
Jul	2	mid	1.05	4.95	49.5	19.3	3.01	30.1
Jul	3	mid	1.05	4.71	47.1	23.7	2.34	23.4
Aug	1	late	1.00	4.23	42.3	21.8	1.42	14.2
Aug	2	late	0.90	3.64	36.4	32.5	0.38	3.8
TOTA					394.2	339.2	121.1	

CONTINUE CALCULATIONS			
Climate File: Rijeka		Cl. Station: RIJEKA	
Crop file: LUBENICA		Plant date: 20 April	
To continue the program you have the following Options:			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proceed to irr. scheduling of LUBENICA</li> <li>2. Revise PLANTING date of LUBENICA</li> <li>3. Take another CROP</li> <li>4. Take NEW set of CLIMATIC data</li> <li>5. Return to MAIN MENU</li> </ol>			
Give your option (1 - 5) : 3			

## Sl. 10-4 Izbornik za nastavak proračuna

Program time nudi ove opcije:

1. Nastavak s rasporedom natapanja za lubenicu
2. Promjena datuma sjetve za lubenicu
3. Uzimanje druge kulture
4. Uzimanje drugih klimatskih podataka
5. Vraćanje u glavni izbornik

### 10.2.3. Raspored natapanja

Iako u glavnom izborniku programa postoji opcija *Raspored natapanja* (slika 10-1), ona se može pokrenuti tek nakon proračuna potreba za vodom odabirom prve opcije izbornika iz slike 10-4.

Program rasporeda natapanja ima velik broj mogućnosti. To su: izrada rasporeda natapanja u različitim uvjetima gospodarenja, vrednovanje programa natapanja glede efikasnosti iskorištenja vode i biljne produkcije, zatim simuliranje programa natapanja u uvjetima nedostatka vode, dopunskog natapanja i procjena mogućih smanjenja prinosa u uvjetima uzgoja bez natapanja i dr.

Izračunavanje rasporeda natapanja temelji se na dnevnoj bilanci vode, u kojoj se uzimaju u obzir svi elementi prihoda i potrošnje vode (evapotranspiracija, kiša, natapanje) u rizosferi. Stoga, za proračun rasporeda natapanja program se koristi podacima o:

- evapotranspiraciji
- oborinama
- kulturi i
- tlu.

Prva tri zahtjeva obrađena su u prethodnim koracima programa te se u sljedećem unose samo podaci o tlu. Izgled izbornika koji program nudi, prikazan je slikom 10-5.

INPUT SOIL DATA
1. Soil type description (max. 15 char):
2. Total Available Soil Moisture (mm/m):
3. Maximum Rain Infiltration Rate:
4. Maximum Rooting Depth:
5. Initial Soil Moisture Depletion (% TAM):
6. Initial Available Soil Moisture:
Any changes in Input Soil Data (Y/N):

Sl. 10-5 Izgled izbornika za podatke o tlu u nastavku dijela programa "Raspored natapanja"

Opcije su iz izbornika na slici 10-5 ove:

*Tip tla*

Definira se pedološkim istraživanjima.

*Ukupni sadržaj fiziološki aktivne vode u tlu (TAM)*

Definiran je kao sadržaj vode u tlu između vrijednosti poljskoga vodnog kapaciteta i vlažnosti venuća. To je ujedno voda pristupačna biljci, a njena količina

ovisi prije svega o teksturi tla, strukturi i sadržaju organske tvari. Vrijednosti sadržaja pristupačne vode u tlu izražavaju se, i u program unose, u mm/metar. U datoteci (SOIL \*.SOL) program nudi orijentacijske vrijednosti TAM za tla različite teksture:

- krupni pijesak 60 mm/metar
- pijesak 100 mm/metar
- humusno ilovasto, pjeskovito 140 mm/metar
- glinasto ilovasto 180 mm/metar

Za definirano područje za koje se radi plan natapanja, potrebno je hidropedološkim istraživanjima utvrditi, između ostalih parametara, i stvarne vrijednosti sadržaja fiziološki aktivne vode u tlu.

*Maksimalna količina oborina koja se može infiltrirati u tlo*

Ovaj podatak ima značaj pri procjeni površinskog otjecanja u postupku izračunavanja efektivnih oborina i izražava se u mm/dan. Maksimalna količina oborina koja se može infiltrirati u tlo, u funkciji je inteziteta oborina, tipa tla i nagiba terena.

*Maksimalna dubina zakorjenjivanja*

Dubina je korijena genetska karakteristika biljke, ali u određenim slučajevima tip tla i raspored horizonata mogu utjecati na smanjenje dubine zakorjenjivanja. Vrijednost od 900 cm unesena u izbornik, znači da nema ograničenja za razvoj korjenova sustava.

*Početni sadržaj vode u tlu (% od TAM)*

To je stanje vlažnosti tla na početku vegetacije. Početni sadržaj vode u tlu izražen je kao smanjenje u % od vrijednosti poljskoga vodnog kapaciteta. Vrijednost 0 % znači da je tlo zasićeno do poljskog kapaciteta, dok vrijednost 100 % označuje sadržaj vode u tlu na točki venuća. U većini se slučajeva samo procjenom može odrediti početno stanje vlažnosti tla.

*Početna raspoloživa količina vlage u tlu*

To je količinski izraz iz točke 5.

*Primjer popunjenog izbornika podataka o tlu za definiranje rasporeda natapanja*

*Tablica 10-5*

INPUT SOIL DATA	
1. Soil type description (max. 15 char):	CRVENICA
2. Total Available Soil Moisture (mm/m):	140 mm/day
3. Maximum Rain Infiltration Rate:	40 mm/day
4. Maximum Rooting Depth:	900 centimetres
5. Initial Soil Moisture Depletion (% TAM):	50 percent
6. Initial Available Soil Moisture:	70 mm/metre
Any changes in Input Soil Data (Y/N):	N

Kao primjer tipa tla u proračunu odabrana je crvenica koja može akumulirati 140 mm fiziološki aktivne vode do 1 m dubine tla, a s obzirom na dubinu, nema ograničenja za razvoj korijenova sustava kulture, u ovom slučaju lubenice (tablica 10-5). Početkom razvoja biljke tlo je sadržavalo 50 % od fiziološki aktivne vode ili 70 mm za metar dubine.

"Cropwat" nadalje u dijelu *Raspored natapanja* uzima u obzir nekoliko opcija, ovisno o zadatku, uvjetima i ograničenjima natapanja te nudi dvije različite kategorije:

*Vrijeme početka natapanja* - određuje kada treba primijeniti natapanje (*Timing option*)

*Obrok natapanja* - određuje koliko vode treba dodati jednim natapanjem (*Application option*).

### 10.2.3.1. Vrijeme početka natapanja

U izborniku na slici 10-6 prikazane su opcije vremena početka natapanja, kojima se nudi nekoliko mogućnosti određivanja početka natapanja.

Options Irrigation Timing	
Objective	Timing Option
Eval. & Simul.	1. Each irrigation defined by user
Optimal Irrigation	2. Irrigation at CRITICAL depletion (100% RAM) 3. Irr. below or above critical depl. (%RAM)
Practical Irrig.	4. Irrigation at fixed intervals per stage 5. Irrigation at fixed depletion (mm)
Deficit Irrigation	6. Irrigation at given ETcrop reduction (%) 7. Irrigation at given YIELD reduction (%)
Rainfed	8. No irrigation, only rainfall
	0. Revise data input
	Give your option: <u>1</u>

Sl. 10-6 Izgled izbornika "Vremena početka natapanja" u programu CROPWAT

U praksi se korisnik susreće s različitim uvjetima gospodarenja, koji izravno utječu na način odabira vremena početka natapanja. Program "Cropwat" nudi mogućnost odabira između nekoliko takvih uvjeta, a između njih eventualno i više opcija:

#### *Procjena i simulacija*

*Opcija 1* : turnuse natapanja određuje korisnik tako da datumi mogu biti iskustveno određeni iz prakse natapanja u određenim agroekološkim uvjetima ili

mogu biti simulirani. Korisnik unosi vrijeme početka natapanja kao *dane nakon sjetve/sadnje* i *količinu vode u mm*.

#### *Optimalno natapanje*

- kada nema ograničenja s obzirom na vrijeme natapanja i količine raspoložive vode:

*Opcija 2* : natapanje započinje kada vlažnost tla dostigne kritičnu razinu, odnosno njezino smanjenje dostigne 100 %-tnu vrijednost od sadržaja raspoložive vode u tlu (Readily Available Soil Moisture - RAM). Ta opcija rezultira minimumom natapanja, u nepravilnim razmacima između natapanja, što ponekad može biti nepraktično.

*Opcija 3* : početak natapanja pri određenom sadržaju vlage u tlu definiranom kao % od RAM, nižem (npr. 80 %) ili višem (npr. 120 %) od kritične razine.

#### *Praktično natapanje*

- gdje je raspored prilagođen metodama natapanja u polju i uvjetima opskrbe vodom:

*Opcija 4* : natapanje u fiksnim turnusima, koje, unatoč mogućem predoziranju vode, u početnim stadijima razvoja, ili poddoziranju, tijekom stadija najviših potreba biljke za vodom, ima znatne praktične prednosti. Pogodan za gravitacijske sustave natapanja s rotacijskom distribucijom vode.

*Opcija 5* : natapanjem se započinje prema unaprijed određenoj potrošnji vode, uzimajući u obzir smanjenje vlažnosti tla do kritične razine. Raspored natapanja prilagođen je metodama natapanja, uz fiksne količine vode za svaki turnus. U izbornik se unosi fiksna vrijednost smanjenja vlažnosti tla u mm.

#### *Deficitarno natapanje*

- kada se u uvjetima ograničene ili nedostatne opskrbe vodom želi minimalizirati smanjenje prinosa.

*Opcija 6* : natapanje se primjenjuje kada dođe do kritičnog smanjenja evapotranspiracije, a vrijednost određuje korisnik za svaki stadij razvoja u postotku od smanjenja evaporacije, prema izrazu:

$$Deficit = 100 \cdot \frac{1 - ET_a}{ET_{max}}$$

gdje je:

$ET_a$  - stvarna evapotranspiracija

$ET_{max} = ET_{kulture}$  - evapotranspiracija kulture

*Opcija 7* : natapanje se primjenjuje kada dolazi do kritične razine smanjenja prinosa, definirane osjetljivošću određenoga razvojnog stadija biljke, prema izrazu:

$$\frac{1 - Y_a}{Y_{max}} = K_y \cdot \left( \frac{1 - ET_a}{ET_{max}} \right)$$

gdje je:

$Y_a$  - prinos kulture u određenim uvjetima

$Y_{max}$  - maksimalno ostvariv prinos kulture

$K_y$  - faktor utjecaja na prinos (vrijednost u tablici 10-3)

*Uzgoj bez natapanja (samo oborine)*

*Opcija 8* : ne primjenjuje se natapanje, već se u obzir uzimaju samo mjesečne oborine, koje program raspoređuje u šest količina.

### 10.2.3.2. Obrok natapanja

U obliku izbornika sa slike 10-7 program nudi nekoliko mogućnosti:

Irrigation Application Options	
Objective	Application Options
EVAL. & STIMUL.	1. Each irrigation depth defined by user
OPTIMAL IRRIG.	2. Refill soil to FIELD CAPACITY
	3. Refill below or above field capacity
PRACTICAL IRRIG.	4. Irrigation depth fixed acc. to irr. method
	0. BACK TO TIMING OPTIONS

Sl. 10-7 Izgled izbornika "Obrok Natapanja" u programu CROPWAT

#### *Procjena i simulacija*

*Opcija 1* : obrok natapanja određuje korisnik za svako natapanje ili iz podataka o tlu ili iz simuliranih. Obrok natapanja povezan je s opcijom 1 iz izbornika vremena početka natapanja (slika 10-6).

#### *Optimalno natapanje*

*Opcija 2* : obrok natapanja nadomjestit će sadržaj vode u tlu do poljskoga vodnog kapaciteta (PVK), a ta količina odgovara razlici od PVK do kritične razine sadržaja vlage u rizosferi (definirano u tablici 10-3). Obroci natapanja mijenjat će se tijekom vegetacije s promjenom dubine zakorjenjivanja i promjenom dopuštenog opadanja vlažnosti tla do kritične razine.

*Opcija 3* : obrok natapanja nadomjestit će sadržaj vode u tlu do fiksne vrijednosti iznad ili ispod poljskoga vodnog kapaciteta. Količina iznad PVK može se primijeniti pri natapanju zaslanjenim vodama ili zaslanjenih tala kada treba uzeti u obzir dodatnu količinu vode koja će se upotrijebiti za ispiranje soli. Količina ispod PVK može se primijeniti kada se očekuju i dodatne količine vode od oborina.

#### *Praktično natapanje*

- primjenjuje se kada je ograničenje uvjetovano sustavom za natapanje.



*Opcija 4* : obrok natapanja fiksira korisnik, a prilagođen je načinu natapanja. Može se primijeniti kod gravitacijskih sustava, gdje nema većih variranja obroka natapanja. Orijentacijske vrijednosti fiksnih obroka za pojedine sustave natapanja jesu:

Površinsko natapanje:	natapanje kasetama:	50-150 mm
	natapanje brazdama:	30-60 mm
	natapanje prelijevanjem:	40-80 mm
Natapanje kišenjem:		30-80 mm
Natapanje kapanjem:		10-30 mm

#### *Učinkovitost natapanja u polju*

Gore navedene vrijednosti jesu neto obrok natapanja koji bi se mogao definirati kao količina vode koja će se infiltrirati u zonu korijenova sustava. Međutim, zbog gubitaka prouzročenih ili sustavom ili uvjetima na terenu (neravan teren i dr.), program traži njihovu procjenu. Pri normalnom upravljanju gravitacijskim sustavima, preporučena učinkovitost iznosi 70 %.

#### *10.2.3.3. Izračunavanje rasporeda natapanja*

Izračunavanje rasporeda natapanja temelji se na dnevnoj bilanci vode u tlu u kojoj se uzimaju u obzir svi elementi prihoda i potrošnje vode u rizosferi, a prema izrazu:

$$SMD_i = SMD_{i-1} + ET_a - P_{tot} - Irr. Appl. + RO + DP \quad ,$$

gdje je:

SMD <sub>i</sub>	- smanjenje vode u danu i
ET <sub>a</sub>	- stvarna evapotranspiracija biljke
P <sub>tot</sub>	- ukupne oborine
Irr. Appl.	- obrok natapanja
RO	- površinsko otjecanje
DP	- procjeđivanje izvan rizosfere

Pri izračunavanju u programu CROPWAT pretpostavlja se da je u vrijeme sjetve sadržaj vode kod vrijednosti poljskoga vodnog kapaciteta, osim ako nije unesena posebna vrijednost pri unosu podataka za tlo.

#### *10.2.3.4. Prikaz rasporeda natapanja*

Rezultati proračuna rasporeda natapanja mogu se ispisati na pisaču ili pospremiti u odgovarajuću datoteku. Prikaz uključuje podatke o kalendaru natapanja, ukupnoj količini utrošene vode i eventualnom smanjenju prinosa, te procjenu učinkovitosti rasporeda natapanja.

a) *Kalendar natapanja*

Pri proračunu kalendara natapanja primjenjuju se podaci o kulturi (tablica 10-3), datumu sjetve/sadnje (tablica 10-4), podaci o tlu (tablica 10-5) te odabrane opcije vremena početka natapanja i obroka natapanja.

U prikazu rezultata daju se podaci o broju natapanja (*No.Irr.*), intervalima (*Int*) i datumima natapanja (*Date*). Nadalje, daju se rezultati o razvojnoj fazi u kojoj se natapa (*Stage*) i smanjenju sadržaja vlage u tlu (*Depl*) (% od TAM). Podaci o stvarnoj evapotranspiraciji dan prije natapanja (*TX*) i podaci o prosječnoj stvarnoj evapotranspiraciji (*ET<sub>a</sub>*) izraženi su u postotku od potencijalne evapotranspiracije kulture. Deficit (*Deficit*) ukazuje na stanje vlažnosti tla nakon natapanja:

- nulta vrijednost ukazuje da je sadržaj vlage tla popunjen do poljskoga vodnog kapaciteta;

- pozitivna vrijednost ukazuje na deficit natapanja, izražen razlikom količine vode do vrijednosti poljskoga vodnog kapaciteta.

Kao gubitak (*loss*) prikazuje se količina vode u mm koja se gubi procjeđivanjem izvan rizosfere ili obroka natapanja ili suvišnih oborina. Neto i bruto obroci natapanja (*Net Depth and Gross Depth*) te hidromodul prikazuju se također (*Flow*).

Kalendar natapanja za primjer uzgoja lubenice na crvenici u prosječnim klimatskim uvjetima područja stanice Rijeka prikazan je u tablici 10-6.

*Izgled ispisa kalendara natapanja u programu CROPWAT*

Tablica 10-6

IRRIGATION SCHEDULING				LUBENICA				20 April			
Climate station:		RIJEKA		Climate File:		Rijeka					
Crop:		LUBENICA		Planting date:		20. April					
Soil:		crvenica		Available Soil moisture:		140 mm/m					
				Initial Soil moisture:		70 mm/m					
Irrigation Options selected:											
Timing:		Irrigation applied at 100 % Readily Available Moist.									
Application:		Irrigation up to Field Capacity									
Field Application Efficiency 85 %											
No. Irr	Int days	Date	Stage	Deplet (%)	TX (%)	ETA (%)	Net Depth (mm)	Deficit	Loss (mm)	Gr. depth (mm)	Flow (l/s/ha)
1	1	21 Apr	A	51	77	77	36.5	0.0	0.0	42.9	4.97
2	81	12 Jul	C	35	100	100	49.5	0.0	0.0	58.2	0.08
3	20	2 Aug	D	35	100	100	49.0	0.0	0.0	57.7	0.33
END	19	21 Aug	D	8	100	100					

Kao vrijeme početka natapanja odabrana je opcija 2 (slika 10-6), a za obrok natapanja opcija 2 iz izbornika sa slike 10-7. Učinkovitost natapanja u polju procijenjena je 85 %.

Iz tablice 10-6 vidi se da su ukupno potrebna tri natapanja: prvo odmah nakon sadnje (budući da je uzet nizak sadržaj vlage u tlu pri sadnji), drugo 81, a treći 101 dan nakon sadnje. Prvo natapanje bit će u početnom stadiju razvoja biljke (A), drugo u središnjem stadiju (C), a treće u kasnom stadiju razvoja (D). Vrijednosti smanjenja sadržaja vlage u tlu u prvom natapanju iznosi 51 % od TAM, a u drugom i trećem 35 %. Izračunata stvarna evapotranspiracija dan prije prvog natapanja ( $TX$ ) iznosi 77 %, a dan prije drugog i trećeg natapanja 100 % od potencijalne evapotranspiracije. Jednake su vrijednosti izračunate i za  $ET_a$ . Slijedom odabira opcija vremena početka i obroka natapanja neće doći do deficita ni gubitaka vode iz rizosfere. Neto i bruto obroci natapanja (*Net Depth and Gross Depth*) kreću se od 36,5 do 58,2 mm.

*b) Ukupna količina utrošene vode i smanjenje prinosa*

Ispis završava prikazom ukupne količine utrošene vode i smanjenja prinosa (tablica 10-7).

*Izgled ispisa količina utrošene vode i smanjenja prinosa u programu CROPWAT*

*Tablica 10-7*

Total Gross Irrigation	158.8 mm	Total Rainfall	425.3 mm				
Total Net Irrigation	135.0 mm	Effective Rain	318.1 mm				
Total Irrigation Losses	0.0 mm	Total Rain Loss	107.2 mm				
Moist Deficit at harvest	10.9 mm						
Net Supply + Soil retention	145.9 mm						
Actual Water Use by Crop	394.0 mm	Actual Irrig. Req.	75.9 mm				
Potential Water Use by Crop	394.2 mm						
Efficiency Irr. Schedule	100.0 %	Efficiency Rain	74.8 %				
Deficiency Irr. Schedule	0.1 %						
YIELD REDUCTIONS	Stage	A	B	C	D	Season	
Reductions in ETC		0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	%
Yield Response factor		0.70	0.80	0.80	0.30	1.10	
Reductions in Yield		0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	%
Cumulative Yield reduct.		0.6	0.6	0.6	0.6		%

Iz parametara prikazanih u tablici 10-7, može se procijeniti i učinkovitost opskrbe vodom natapanjem i učinkovitost iskorištenja oborina te eventualna redukcija prinosa kao posljedica nedostatka vode u tlu izražena za ukupno vegetacijsko razdoblje i po pojedinim stadijima razvoja kulture.

Slijedom ulaznih podataka, počevši od izračunavanja referentne evapotranspiracije, efektivnih oborina iz višegodišnjih prosječnih podataka te izborom lubenice kao predstavnika koji će se uzgajati na crvenici određenih karakteristika, došlo se do rezultata koji se mogu ispisati kako je prikazano u tablici 10-7. Iz tablice 10-7 vidi se da su neto potrebe za natapanjem 135 mm te da neće biti gubitaka od

natapanja zbog procjeđivanja vode izvan rizosfere. Nadalje, rezultati pokazuju da je učinkovitost rasporeda natapanja 100 %.

Tijekom vegetacije lubenice palo bi u prosjeku 425,3 mm oborina, od čega su 318,1 mm efektivne oborine. Gubitak oborina zbog procjeđivanja izvan rizosfere bio bi 107,2 mm. Prema tome efektivno iskorištene oborine bile bi 74,8 %.

S obzirom na već navedene ulazne parametre redukcija evapotranspiracije kulture očekuje se samo u početnom stadiju razvoja (A) pa bi, na odabrane faktore utjecaja na prinos (tablica 10-3), redukcija prinosa bila 0,1 %.

#### 10.2.4. Raspored opskrbe vodom

Za izračunavanje rasporeda opskrbe vodom potrebno je odabrati opciju 4 u glavnom izborniku (slika 10-1). Svrha je ovog dijela programa određivanje mjesečnih količina vode potrebnih za natapanje kultura koje će, prema odabranom sustavu proizvodnje, biti sadene/sijane različitih datuma na površinama različitih veličina (% od ukupne). Za ovaj dio programa potrebni su podaci o zahtjevu biljke za vodom (opcija 2 u glavnom izborniku) i postotna zastupljenost svake od kultura u ukupnoj površini.

Dekadne vrijednosti potrebe biljke za vodom preračunavaju se u mjesečne, a množenjem tih vrijednosti s postotkom površine na kojoj će se uzgajati, dobiva se "relativna" potreba za natapanjem, izražena u mm/dan. Zbrajanjem tih vrijednosti za sve kulture dobiva se raspored potreba za vodom i raspored opskrbe vodom, a može se izraziti u l/s/ha i l/s.

Uzimajući u obzir učinkovitost natapanja i odabrani sustav proizvodnje, bruto opskrba vodom može se odrediti prema izrazu:

$$Q_{gross} = \frac{I}{e_p} \cdot \frac{I}{t_i} \cdot A_{scheme} + 0,116 \cdot \sum (ET_{crop} - P_{eff}) \cdot \frac{A_{crop}}{A_{scheme}},$$

gdje je:

- $Q_{gross}$  - bruto opskrba vodom (l/s)
- $e_p$  - učinkovitost rasporeda natapanja ( $\leq 1$ )
- $t_i$  - operativni vremenski faktor ( $\leq 1$ )
- $A_{crop}$  - površina pod pojedinom kulturom
- $A_{scheme}$  - ukupna površina
- $ET_{crop} - P_{eff}$  - neto norma natapanja

#### Prikaz rezultata

Program daje prikaz odabranog sustava proizvodnje, uključujući pojedinu kulturu, veličinu površine koju zauzima, datume sjetve/sadnje i berbe te ukupne podatke o natapanju.

Rezultati neto potreba za natapanjem prikazani su u tablici 10-9 kao mjesečne vrijednosti:

- potreba kulture za natapanjem
- neto norme natapanja u mm/dan, l/s/ha i l/s
- natapane površine u postotku od ukupne
- potrebe za natapanjem u l/s za natapanu površinu.

*Izgled ispisa sustava biljne proizvodnje za koji se radi raspored opskrbe vodom u programu CROPWAT*

Tablica 10-8

CROPPING PATTERN									
Project: Priručnik				Climatic Station: RIJEKA					
No.	CROP	Area (%)	Plant date	Harvest date	ET <sub>Crop</sub> (mm)	EffRain (mm)	S.Eff. (%)	Yld. (%)	Red. (%)
1	LUBENICA	100	20 8	20 8	394.2	339.2	100	0	

Iako se pod sustavom biljne proizvodnje podrazumijeva izmjena više kultura na određenoj površini, radi racionalnijeg gospodarenja, u ovom je slučaju kao primjer uzeta samo jedna.

*Izgled ispisa mjesečnih rasporeda opskrbe vodom u programu CROPWAT*

Tablica 10-9

SCHEME IRRIGATION REQUIREMENTS												
Project: Priručnik				Climatic Station: Rijeka								
No.	Jan	Feb	Mar	Apr	Ma	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	2.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
SQ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	2.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0 mm/d
SQ	0	0	0	0	0	26	78	18	0	0	0	0 mm/m
SQ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.30	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00l/s/ha
Ar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
AQ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.30	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00l/s/ha

Za određeni sustav biljne proizvodnje program daje, kako je prikazano u tablici 10-9, raspored opskrbe vodom, koji se iznosi u mm/dan, mm/m i l/ha i pokrivenost ukupne natapane površine kulturama u pojedinom mjesecu. Iz tih se podataka, nadalje, mogu izračunati, osim neto, i ostali hidromoduli natapanja.

### 10.3. UMJESTO ZAKLJUČKA

Program "Cropwat" najčešće se primjenjuje u planiranju i projektiranju sustava za natapanje. Primjenom ovog programa FAO organizacija izradila je mnoge projekte diljem svijeta. Stoga smatramo da ovaj program mora naći, kako i nalazi, primjenu i u našoj praksi projektiranja sustava za natapanje.

Iako program "Cropwat" nudi daleko više mogućnosti od onih koje su u ovom radu prikazane, nisu sve uzete u razmatranje budući da neke od njih ne nalaze primjenu u našim agroekološkim uvjetima. To se prije svega odnosi na izračunavanje potreba riže za vodom.

## LITERATURA

1. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24 "Crop water requirements" (rev.), 1977.
2. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 25 "Effective rainfall", 1974.
3. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33 "Yield response to water", 1979.
4. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46 "CROPWAT - a computer program for irrigation planning and management", 1992.

## 11. DIMENZIONIRANJE TLAČNIH VODOOPSKRBNIH MREŽA - PROGRAMI ZA DIMENZIONIRANJE

*Mr. Ivica Plišić  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci*

### 11.1. UVOD

Zatvoreni profili pod tlakom u praksi se često primjenjuju. Tako se vodovodna mreža u naseljima i gradovima sastoji od takvog sustava cijevi, stvarajući tlačnu vodoopskrbnu mrežu. Kod hidroelektrana cjevovodima i tunelima pod tlakom dovodi se voda na turbine. Isto tako često u sustavima za natapanje dovod vode do mjesta natapanja koristi se tlačnim sustavom, a i sama je mreža natapanja tlačna.

Tlačne su mreže sustavi kod kojih je čitav profil cjevovoda ispunjen vodom. U takvim je sustavima prisutan tlak u svim dijelovima mreže, koji je u slučaju zatvaranja mreže jednak najvećem hidrostatičkom tlaku (najvišoj postojećoj razini vode u mreži). Pri tečenju vode u sustavu, zbog potrošnje vode dolazi do promjene tlakova u mreži zbog gubitka energije nastaloga trenjem vode sa stijenkama cijevi.

Tlačni cjevovodi za dovod vode do mjesta potrošnje mogu biti gravitacijski tlačni cjevovodi, ali i s prisilnim tečenjem. Ti sustavi mogu biti jednostavni, ali povezivanjem više jednostavnih nastaju kompliciraniji i veći sustavi.

Relativno je jednostavno za te sustave odrediti neko trenutno stanje. To stanje može biti stanje maksimalog protoka, minimalnog ili nekoga drugog protoka ili neke veličine koja je mjerodavna. Da li je to stanje mjerodavno za sve objekte često se ne mora znati. Da bi se to doznalo, potrebno je načiniti čitav niz proračuna za različita stanja u sustavu. Kako to iziskuje puno vremena i napora, takve se analize rada sustava ne rade.

Razvojem tehnologije i pojavom PC računala omogućene su potrebne analize. Za to su izrađeni različiti programi s različitim dometima. Suvremene metode koje omogućuju PC računari, matematički su modeli koji na malim PC računalima mogu simulirati rad vodovodnih sustava.

Simulacija je rada realnog sustava potrebna u različite svrhe. Njome detaljnije upoznajemo tlačne sustave i rad sustava u realnom vremenu. Također možemo



simulirati rad takvog sustava s nekom rekonstrukcijom u sustavu ili s nekim novim zahtjevom za taj sustav (novi potrošači i sl.).

## 11.2. HIDRAULIČKI PRORAČUN

Za dimenzioniranje tlačnih mreža treba znati količinu vode koja će se transportirati. Na osnovi toga i uvjeta u mreži, dimenzionira se sustav.

Za dimenzioniranje tlačnih mreža treba definirati sustav s osnovnim karakteristikama terena, vrstu cijevi i njihovu hrapavost te lokalne uvjete pri istjecanju i karakteristične lokalne uvjete kod većih gubitaka tlaka.

Za jednostavne poteze cjevovoda sustav se može dimenzionirati iz tih elemenata.

Na mjestu je istjecanja vode potreban određeni tlak ovisno o vrsti potrošača (izljev na sanitarnom uređaju, kapalice ili prskalice određene vrste). Taj tlak treba osigurati dovodom potrebne količine vode do mjesta potrošnje.

Početni tlak ovisi o energiji koju voda ima ili ju je dobila na početku tečenja. Tečenjem voda gubi energiju na trenje sa stijenkama cijevi. Osim tih gubitaka energije koje najčešće nazivamo linijski gubici, javljaju se i lokalni gubici energije. Lokalni gubici nastaju pri naglim promjenama u tečenju vode, pri čemu dolazi do većih gubitaka energije na jednome mjestu.

Taj opis tečenja prikazao je Bernoulli u svojoj jednadžbi, koja za realnu tekućinu pri stacionarnom tečenju, glasi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{gub}$$

U toj je jednadžbi  $z$  geodetska visina, tj. visina težišta površine presjeka strujnog snopa od neke referentne ravnine,  $p/\gamma$  je pijeziometarska visina tj. veličina pijeziometarskog tlaka koji pokazuje visina tekućine u pijeziometarskoj cijevi.  $v^2/2g$  je brzinska visina, tj. neka visina pri kojoj bi tijelo koje s nje pada dobilo brzinu  $v$ ,  $h$  je ukupni gubitak energije na svladavanje sile trenja na promatranom dijelu strujnog snopa.

Kod cijevi konstantnog promjera i konstantnog protoka, gdje je  $v_1=v_2$  Bernoullijeva jednadžba izgleda ovako:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + h_{gub}$$

a to znači da je za horizontalnu cijev gdje je  $z_1=z_2$ , gubitak pritiska zbog hidrauličkih otpora jednak razlici pijeziometarskih visina u dvama promatranima presjecima.

$$h_{gub} = \left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \quad h_{gub} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$$

Iz toga se zaključuje da za proračun strujanja realne tekućine treba znati odrediti hidrauličke gubitke. Taj gubitak energije djeli se na linijske i lokalne.

Linijski gubitak energije javlja se duž cijelog cjevovoda i posljedica je svladavanja hidrauličkih otpora, odnosno otpora strujanju. Taj je otpor posljedica stvaranja graničnog sloja. Na ovome mjestu neće se posebno razmatrati teorija graničnog sloja, već se o tome može konzultirati literatura.

Osnovno što treba reći jest da stijenka cijevi ima hrapavost koja je mjerljiva. Tečenje tekućine možemo promatrati u lamelama koje klize jedne preko drugih, a to se zaista događa u tzv. laminarnom tečenju. U tom tečenju, zbog male brzine toka, nema miješanja pojedinih slojeva tekućine. Manji dio tekućine miruje u izbočinama koje formiraju hrapavost stijenke, a glavina toka klizi iznad tako formiranog sloja.

Povećanjem brzine toka dolazi do veće razlike u brzini gibanja pojedinih slojeva pa strujanje postaje nestabilno i razvija se turbulencija, tj. miješanje među pojedinim slojevima tekućine. Dio tekućine koji i dalje miruje uz stijenku cijevi (viskozni podsloj), u takvom slučaju može biti deblji ili tanji od hrapavosti stijenke cijevi. Viskozni podsloj ponaša se zapravo kao laminarni sloj.

Zato, kada je viskozni podsloj deblji od hrapavosti stijenke cijevi, imamo strujanje preostalog dijela tekućine preko laminarnog sloja pa kažemo da se radi o hidraulički glatkoj površini ili turbulentno glatkom režimu.

Ako je hrapavost stijenke cijevi veća od debljine viskoznog podsloja, tada će vrhovi hrapavosti stijenke zadirati u tok tekućine pa govorimo o hidraulički hrapavoj površini ili turbulentno hrapavom režimu.

Između tih dvaju graničnih slučajeva ima prijelazno područje koje se zove turbulentno prijelazni režim.

Ekperimentalnim ispitivanjima utvrdile su se granice između pojedinih režima tečenja.

Dovođenje u izravnu vezu hidrauličkih otpora s hidrauličkim gubicima pri ustaljenom strujanju stvarne i nestišljive tekućine u cijevima može se promatrati analizom ravnoteže sila na konačnom volumenu tekućine prema slici 11-1.

Razmak između promatranih presjeka 1-1 i 2-2 mora biti dovoljno malen tako da su promjene parametara toka između presjeka linearnog karaktera.

Na osnovi zakona održanja količine gibanja, možemo za slučaj ravnoteže sila u smjeru strujanja pisati:

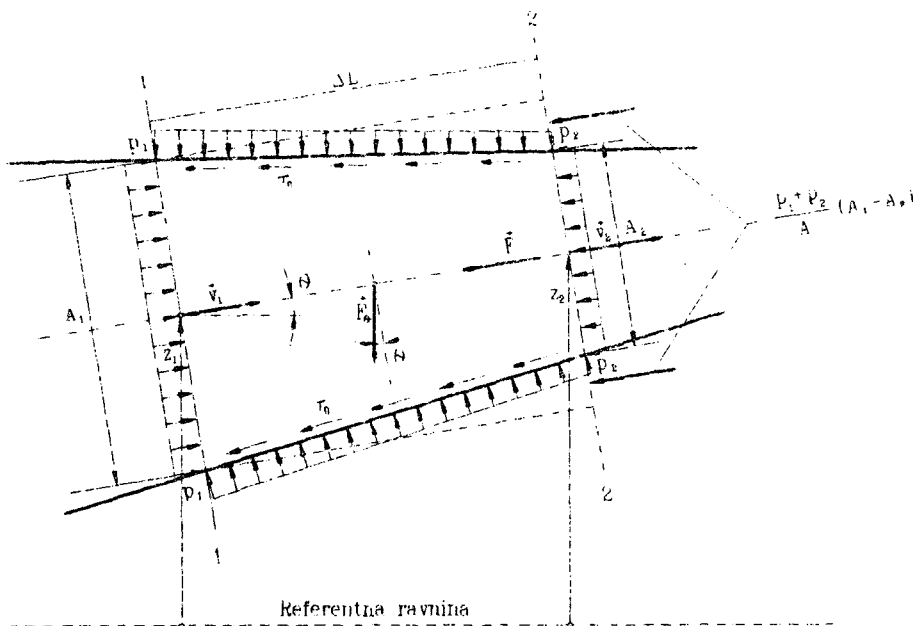
$$p_1 A_1 + \rho Q v_1 - p_2 A_2 - \rho Q v_2 - (A_1 - A_2) \cdot \frac{(p_1 + p_2)}{2} - F_G \sin \theta - F = 0$$

Simbolom F označena je općenita sila otpora koja nastaje zbog unutarnjeg trenja tekućine, trenja po stijenka cijevi i otpora oblika uz koji kapljevina struji. Peti je član komponenta sile tlaka po oplošju cijevi između dvaju presjeka u smjeru strujanja, dok se komponente sile tlaka okomito na tok poništavaju. Nakon supstituiranja i sređivanja gornjeg izraza, dobije se visinski oblik Bernoullijeve jednadžbe:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{F}{\rho g A}$$

gdje je:

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$



Sl. 11-1 Ravnoteža sila na konačnom volumenu stvarne i nestišljive kapljevine

Posljednji član na desnoj strani jednadžbe također ima linearnu dimenziju i predstavlja pad energetske linije zbog otpora trenja ili gubitak (disipaciju) mehaničke energije realne tekućine u strujanju i može se pisati:

$$\Delta H = \frac{F}{\rho g A}$$

Taj se izraz može transformirati uz pretpostavku  $\tau_0 = \text{konst.}$ , kako slijedi:

$$\Delta H_{tr} = \frac{F_t}{\rho g A} = \frac{c_f \bar{O} \Delta L \rho \bar{v}^2 / 2}{\rho g A} = c_f \frac{\Delta L}{R} \frac{\bar{v}^2}{2g}$$

gdje je:

$$F_T = \int_A \tau_o dA \quad ; \quad c_f = \frac{\tau_o}{\rho v_o^2 / 2}$$

$$A = O \cdot x \cdot \Delta L$$

gdje su:

$$\bar{O} = \frac{O_1 + O_2}{2} \quad ; \quad \bar{R} = \frac{\bar{A}}{\bar{O}} \quad ; \quad \bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

pa izraz za okrugle cijevi konstantnog promjera D i duljine L poprima oblik:

$$\Delta H_{tr} = 4c_f \frac{L v^2}{D 2g} = \lambda \frac{L v^2}{D 2g}$$

Taj je izraz poznat kao Darcy - Weisbachova jednadžba za proračun pada energetske linije ili gubitaka tlačne visine (hidrauličkih gubitaka) po dužini cjevovoda zbog otpora površine zbog trenja. Ti su gubici proporcionalni dužinama pojedinih dionica cjevovoda i zovu se linijski gubici pa se najčešće označavaju sa  $\Delta H_{lin}$ .

Pad energetske linije zbog otpora oblika može se prikazati relacijom:

$$\Delta H_{ob} = \frac{F_o}{\rho g \bar{A}} = \frac{C_D \bar{A} \rho \bar{v}^2 / 2}{\rho g \bar{A}} = C_D \frac{\bar{v}^2}{2g},$$

odnosno:

$$\Delta H_{ob} = C_D \frac{v^2}{2g}$$

Koeficijent otpora oblika označuje se najčešće u hidrauličkoj praksi kao K i naziva se koeficijent lokalnih gubitaka. Zbog toga se i hidraulički gubici, kao posljedica lokalnih otpora oblika (npr. zasuna, nagle promjene trase, poprečnog presjeka i sl.) nazivaju lokalni gubici i označavaju s  $\Delta H_{lok}$  pa izraz prelazi u oblik:

$$\Delta H_{lok} = \xi \frac{v^2}{2g}$$

U izrazu za linijski gubitak ima koeficijent otpora tečenju  $\lambda$ . Taj je koeficijent ovisan o relativnoj hrapavosti i Reynoldsovu broju. Ovisno o Reynoldsovu broju formiraju se različiti režimi tečenja (laminarni, turbulentni i prijelazno turbulentni). Za svaki od tih režima tečenja postoje jednadžbe koje definiraju koeficijent otpora tečenju. Te jednadžbe glase:

$$\lambda = 0,316 Re^{-1/4}$$

$$\frac{I}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{\varepsilon}{D} + 1,14$$

$$\frac{I}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

Radi lakšega korištenja tim jednadžbama i proračuna koeficijenta otpora tečenju, izrađen je dijagram koji se zove Moodyjev dijagram. U tom dijagramu povučena je granica između turbulentno prijelaznog i turbulentno glatkog režima.

Vidimo da koeficijent trenja  $\lambda$  ovisi o više parametara, i to o:

- promjeru cijevi D
- brzini toka vode v
- kinematičkom koeficijentu viskoznosti  $\varepsilon$
- hrapavosti cijevi k

### 11.2.1. Hidraulički proračun na klasičan način

Za hidraulički proračun cjevovoda treba definirati protoke u pojedinim dionicama cjevovoda. To ovisi o potrošnji duž mreže. Nakon definiranja protoka odabiru se profili cjevovoda. Oni se odabiru u principu tako da je u njima brzina tečenja oko 1 m/s. Ta brzina daje ekonomične gubitke energije pri tečenju, jer gubici energije ovise o kvadratu brzine.

Nakon odabira profila i proračuna brzine tečenja vode, iz protoka i površine poprečnog presjeka cijevi, proračunavaju se gubici energije vode pri tečenju kroz cijevi.

Tečenje vode u cijevima odvija se najčešće u prijelazno turbulentnom režimu. U tom režimu koeficijent trenja  $\lambda$  iz jednadžbe treba odrediti iterativno. To otežava proračun. Nakon što se odredi  $\lambda$ , potrebno je odrediti ukupni gubitak energije "I" pri tečenju. Ako se ustanovi da proračunati gubici ne zadovoljavaju uvjete u mreži potrebno je promijeniti profile cjevovoda i ponoviti proračun. Olakšanje u proračunu pružaju tabele i nomogrami koji za različite hrapavosti cijevi "k" daju rezultate gubitka energije "I", koji se izravno očitaju.

Tim načinom dobiva se hidraulički proračun za određeni protok. Pri promjeni protoka treba provjeriti tečenje vode u definiranom sustavu. Takva je provjera hidrauličkog proračuna potrebna za svaku promjenu stanja u sustavu. Te promjene stanja mogu biti česte u većem sustavu. Tada takav način proračuna nije racionalan.

Zbog toga se sve češće rade simulacije rada tlačnih sustava dovoda vode putem matematičkih modela na računalima.

### *11.2.2. Hidraulički proračun pomoću simulacije rada sustava*

Simulacija je rada tlačnih sustava dovoda vode putem matematičkih modela na računalima sve češća.

Prve takve aktivnosti bilježe se pojavom novih tehnologija početkom 70-ih godina. Međutim, zbog raznih objektivnih teškoća, npr. nedostatka odgovarajućih računara, u to su vrijeme te aktivnosti često ostajale na razini teoretskih radova.

Sljedeći korak bio je razvoj metoda za kontinuiranu simulaciju rada vodovodnog sustava. One su u početku obuhvaćale simulaciju pojedinačnih normalnih i izvanrednih situacija. Modeli su se najčešće razvijali za neke analize sustava koji su se projektirali. U daljnjim fazama rađeni su i modeli za simulaciju rada postojećih sustava, ali u skladu s potrebama tekućih projekata. Kod nas je tako napravljen matematički model Istarskog vodovoda 1983. god., i to na osnovi programa WESNET. Rezultati rada simuliranog vodovoda sasvim dobro su se slagali s radom realnog sustava. Tako izrađen model mogao se osim za svrhe projekta upotrebljavati i nadalje za druge svrhe. Kasnije se, 1987. god., isti program primjenjivao za potrebe vodovoda Krk i izradu simulacije rada glavnoga dovodnog sustava i simulaciju pojedinih mjesnih mreža.

U Građevinskom je institutu 1990. god., na osnovi tog programa, izrađena simulacija rada glavnoga dovodnog sustava vodovoda tadašnje općine Crikvenica. Taj je model primijenjen i ove 1995. god. pri izradi rješenja povećanja protočnosti sustava pomoću buster stanica ili rekonstrukcije cjevovoda te u izradi kratkoročnih planova razvoja vodoopskrbnog sustava.

Isto tako 1992. god. izrađen je model i provedene su simulacije rada sustava dizanja vode vodovoda grada Rijeke, za potrebe izrade planova razvoja grada.

Na osnovi nove verzije programa WESNET izrađen je model sadašnjeg stanja vodoopskrbnog sustava otoka Krka i buduće stanje obrađeno vodoopskrbnim planom. To je rađeno za potrebe noveliranja vodoopskrbnog plana otoka Krka iz 1994., a napravljeno je tako da se može primijeniti za svakodnevne potrebe vodovoda. Da bi se to omogućilo, bilo je potrebno izraditi takve matematičke modele koji će prerasti potrebe projektiranja i simulacije pojedinih karakterističnih stanja.

Shvaćajući te potrebe, razvili su se modeli za primjenu u samim tlačnim sustavima koji su morali zadovoljiti zahtjeve tlačnih sustava, a to su:

1. Svi se poznati podaci o tlačnom sustavu moraju uzeti u obzir.
2. Podaci moraju biti smješteni u više datoteka jer spadaju u područje djelovanja različitih odjela u sustavu.
3. Početni i granični uvjeti moraju se za svaku pojedinu simulaciju utvrditi na interaktivan način u obliku dijaloga između korisnika i računala.
4. Program mora upozoriti korisnika ako su uneseni podaci i zahtjevi pogrešni ili nelogični.
5. Program uvijek mora dati nekakve rezultate, a ne smije stati uz neku nejasnu poruku ili, još gore, bez objašnjenja.

6. Korisniku treba omogućiti da rezultate proučava na interaktivan način, bez ograničenja, tako da sam odluči što će odštampati.

7. Program mora biti uslužen tako da uočene pogreške objavi i objasni korisniku što treba činiti ili da ga postavi na odgovarajući "meni" u programu.

Vodovod koji je preuzeo model na daljnje korištenje mogao je simulirati različite dogradnje i rekonstrukcije u svom sustavu i na osnovi simuliranih rezultata odabrati najbolja rješenja. Na takvom modelu može se analizirati postojeći način upravljanja vodovodnim sustavom i analizirati druge načine upravljanja.

Takvi programi nove generacije omogućuju simulaciju rada vodovodnih i kanalizacijskih sustava u realnom vremenu, tj. tijekom cjelokupnog vremena rada sa svim promjenama koje se u tom razdoblju javljaju.

Iz onoga što je navedeno o konvencionalnom dimenzioniranju i kontroli rada vodovodnih i kanalizacijskih sustava i o matematičkom modeliranju vide se bitne razlike.

Matematičkom se simulacijom mogu proračunati vodovodni i kanalizacijski sustavi na sličan način kao i klasičnim načinom. Tako se klasičnim načinom proračun uobičajeno daje za maksimalna opterećenja. To je uglavnom dobro, ali nije uvijek dovoljno. Zbog toga se u klasičnim proračunima ponekad daju srednja ili najmanja opterećenja. Ponavljanje proračuna klasičnim načinom zahtijeva puno vremena i truda pa se često ne rade provjere već samo proračun na maksimalna opterećenja.

Pri radu s računalom mogu se vrlo brzo proračunati rezultati rada sustava s manjim promjenama u sustavu. Tako se mogu brzo analizirati različiti promijenjeni uvjeti u sustavu. To se klasičnim načinom ne može brzo napraviti, tj. zahtijeva puno vremena pa se od toga obično odustaje.

Na osnovi takvih mogućnosti računala i matematičkih modela može se kontrolirati upravljanje sustavima. Mijenjanjem uvjeta upravljanja sustavima dobivaju se različiti rezultati čijom se analizom može zaključiti koji način upravljanja daje najbolje rezultate.

Matematičkom simulacijom može se napraviti ono što se ne može klasičnim načinom, a to je proračun s promjenjivim uvjetima tijekom vremena. On daje rezultate stanja u sustavu u realnom vremenu. Takvim se modelima može pratiti rad postojećeg sustava i, pri promjenama u realnom sustavu u odnosu prema simulaciji, mogu se otkriti kvarovi u realnom sustavu. Pri nekim ekscesnim promjenama u sustavu, može se provjeriti neko buduće stanje u sustavu putem simulacije na matematičkom modelu. Na osnovu tih rezultata mogu se naći najpovoljniji trenutni uvjeti.

Razvoj modela u realnom vremenu ići će k tome da se matematički modeli povežu s realnim sustavom i mjerenjima na njemu pa će računalo pomoću tih alata upravljati tlačnim sustavima.

Iz svega što je navedeno vidimo kako napretkom tehnologije napreduje i njena primjena u tlačnim sustavima, i to u ovom slučaju utječe na kvalitetu rada sustava.

### 11.3. PRIKAZ RADA PROGRAMA WESNET

Program WESNET rađen je u prvom redu za primjenu u vodoopskrbnim sustavima i u njihovu projektiranju i razvijanju. Taj se program naravno može primijeniti i u drugim područjima koja rabe tlačne sustave dovoda vode kao što je natapanje.

Program radi prema blok dijagramu prikazanom na slici 11-2.

Moderni sustavi dovoda vode postali su jako složeni, veliki i značajni. Uglavnom se sastoje od:

- sustava za dovod vode
- sustava za raspodjelu vode

Osnovni elementi sustava za dovod i raspodjelu vode jesu:

- izvor vode
- uređaj za kondicioniranje vode
- crpne stanice
- rezervoari i vodotornevi
- cjevovodi
- priključci na mjestima potrošnje
- uređaji za kontrolu rada sustava (ventili, mjerači protoka, i sl.)

Suvremeni sustavi dovoda vode mogu se sastojati od svih tih elemenata ili dijela tih elemenata, raspoređenih na različite načine.

Svi ti elementi mogu se u cijelosti opisati matematičkim sredstvima i mogu se uključiti u jednu cjelinu "matematički model". Osnovna je ideja da stvarne sustave dovoda vode čine čvorovi (točke) i linije (cijevi).

Čvor je točka u sustavu dovoda vode u kojoj se zna ili pijeometarska visina ili dotok/potrošnja. Takve su točke, dakle:

- izvor vode s razinom koja se ne mijenja tijekom vremena;
- rezervoar ili vodotoranj, gdje se razina vode mijenja u skladu sa zakonom kontinuiteta;

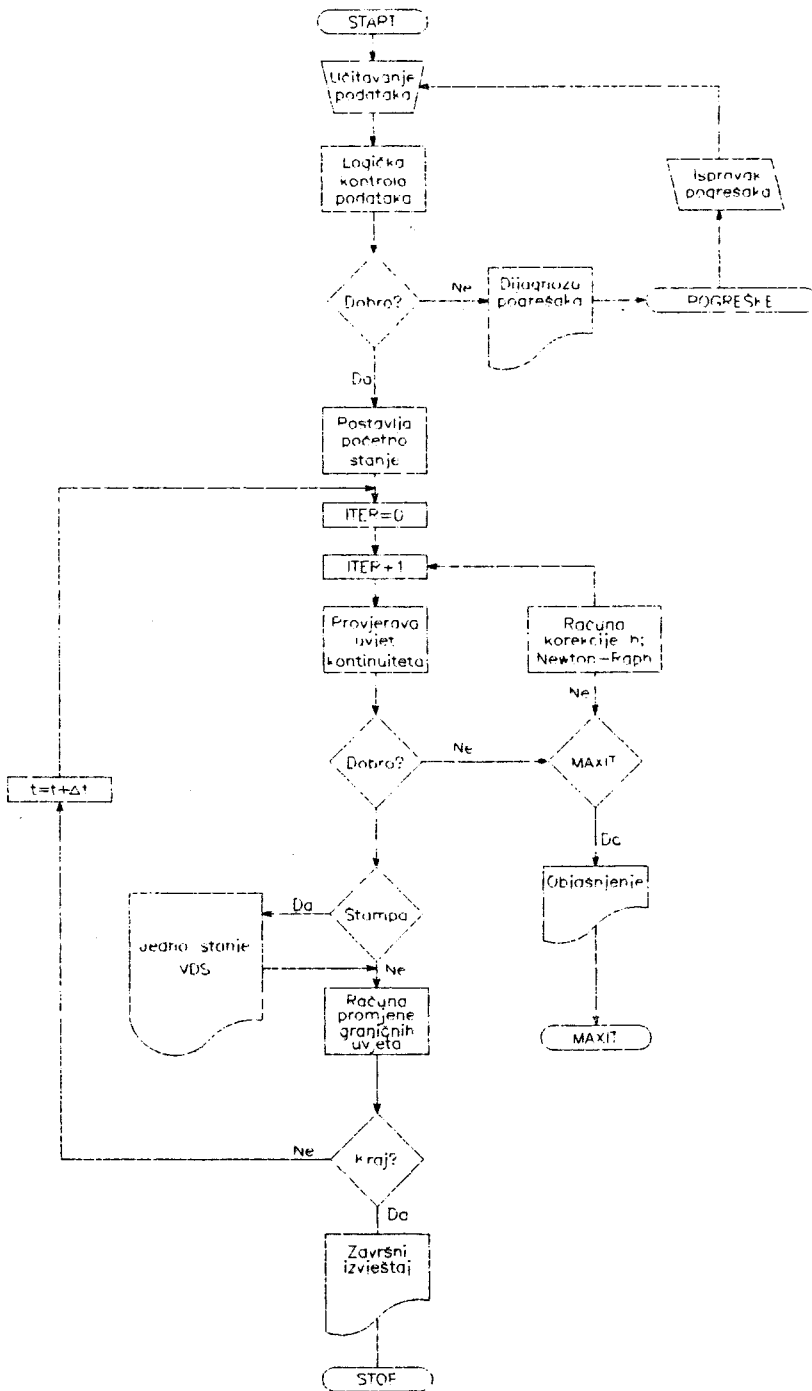
- spoj/račvanje dviju ili više cijevi, pri čemu dotok/potrošnja vode mogu postojati ili ne;

- priključak značajnog potrošača na mrežu, gdje se potrošnja vode unaprijed zna.

Linija (cijev) jest veza između dvaju čvorova, pa prema tome može biti:

- cjevovod, koji samo provodi vodu iz jednog čvora u drugi;
- crpna stanica, koja povisuje energiju vode koja struji kroz cijev;
- ventil (bilo kojeg tipa), koji kontrolira protok vode kroz tu vezu.





Sl. 11-2 Blok dijagram programa

### *11.3.1. Analiza potrebe za vodom*

Matematičko modeliranje počinje od analize potreba za vodom. Potreba za vodom sastoji se u osnovi iz:

- stvarne potrošnje vode
- gubitka vode

Ta je analiza potpuno poseban zadatak koji se mora obaviti prije izrade matematičkog modela. Ta analiza osigurava nužne ulazne podatke za simulaciju rada sustava za dovod vode.

#### *11.3.1.1. Potrošnja vode*

Potrošnja je vode po definiciji sva količina vode koja se preuzima iz dovoda vode, a može se mjeriti vodomjerom ili se može procijeniti. Pri tome je bitno da korisnik matematičkog modala zna kolika je potrošnja ili da je izračuna. Mjerenja su potrošnje najbolji izvor informacija.

Na potrošnju vode utječu deterministički faktori, ali i slučajni faktori. Deterministički su faktori oni koji se mogu točno definirati, npr. sezona (zima, ljeto), vrsta potrošača, promjena potrošnje tijekom dana, meteorološke prilike, tlak na izljevnom mjestu i sl.

U matematičkom modelu potrošnja vode priključuje se najbližem čvoru, a opisuje se prosječnom potrošnjom i kategorijom potrošača ili nekim stvarnim protokom na mjestu potrošnje. Potrošnja može biti promjenjiva na izljevnim mjestima, a to se rješava putem ovih dijagrama:

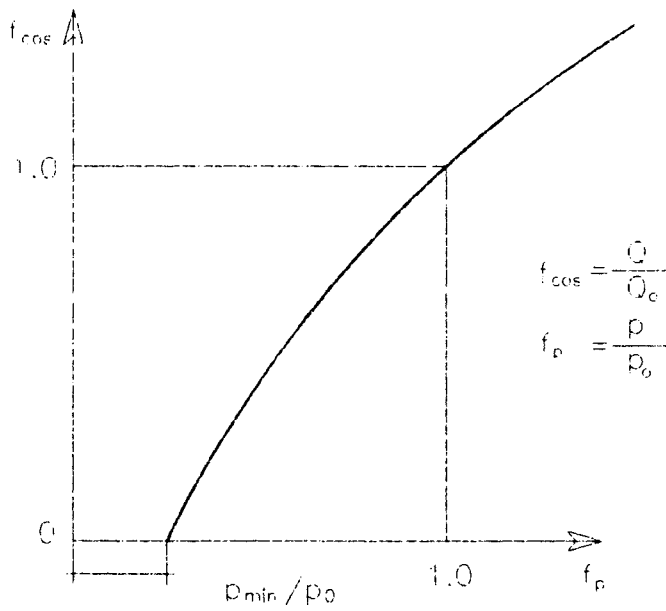
- dijagram sezonskih promjena potrošnje
- dijagram promjena potrošnje tijekom tjedna i
- dijagram promjena potrošnje tijekom dana.

Promjenom tlaka na izljevnom mjestu također dolazi do promjena u potrošnji. To se opisuje u matematičkom modelu funkcijom kojom je za određeni tlak potrošnja jednaka očekivanoj vrijednosti. Pri većim će trenutnim tlakovima potrošnja biti veća, a kod manjih manja.

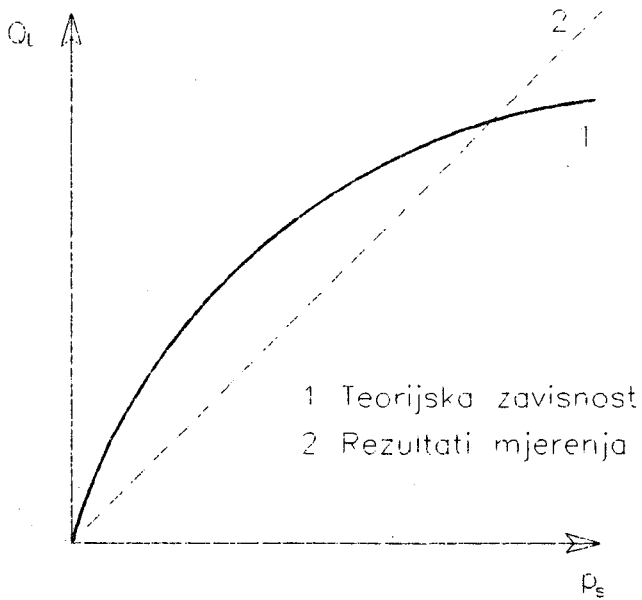
Prosječna potrošnja u nekoj točki može se unijeti kao broj potrošača s njihovom specifičnom potrošnjom ili neposredno u l/s.

#### *11.3.1.2. Gubici vode*

Standardna je praksa projektanata pri uzimanju u obzir gubitaka vode takva da se gubici uzimaju kroz povećanu potrošnju vode (10 do 30 %). Na taj se način nadoknađuje ono što se zapravo izgubi. Međutim, gubici nisu potrošnja vode i ne ponašaju se na jednak način. Kada se potrošnja vode smanjuje, gubici se povećavaju i obrnuto. To se javlja zbog toga što se smanjenjem potrošnje vode povećavaju tlakovi pa, zbog povećanja tlakova, na mjestima gubitaka vode kroz iste otvore istječe više vode i obrnuto. Uz to su gubici vode konstantni, odnosno ovise, kako je prije rečeno, o pritisku, a potrošnja se mijenja tijekom vremena.



Sl 11-3 Veza potrošnje vode i radnog tlaka (jedinični dijagram)



Sl. 11-4 Zavisnost gubitaka ( $Q_L$ ) od radnog tlaka ( $p_s$ )

### *11.3.1.3. Izuzetna potrošnja*

U WESNET programu potrošnja vode može se uključiti i na treći način. To je izuzetna potrošnja. Korisnik matematičkog modela može izabrati mjesto (jedno ili više) gdje dolazi do izuzetne potrošnje, zatim početak i kraj takve potrošnje te intenzitet potrošnje tijekom vremena. Pretpostavlja se da je izuzetna potrošnja konstantna tijekom nekog vremena.

### *11.3.1.4. Slučajna potrošnja*

Nakon što se uključe svi deterministički utjecaji na potrošnju vode, ostaje slučajna potrošnja. Ona postoji i može iznositi 4 - 6 % od ukupnih potreba. WESNET, međutim, ne pruža posebne mogućnosti za simulaciju slučajnih oscilacija potrošnje. U skladu s vlastitim iskustvom, korisnik može napraviti više proračuna s različitim uvjetima potrošnje vode, čime se mogu vrlo brzo dobiti rezultati za različite uvjete potrošnje iz čega se mogu izvući zaključci za slučajnu potrošnju.

## *11.3.2. Čvorovi sustava*

WESNET razlikuje dvije vrste čvorova:

- obične čvorove, u kojima je poznat protok, a potrebno je izračunati tlak;
- rezervoare, točke u kojima se zna tlak (razina vode), a treba naći dotok ili otljecanje vode i
- posebne čvorove (transfer čvor, čvorovi s konstantnim tlakom)

### *11.3.2.1. Obični čvorovi*

Obični čvorovi uključuju:

- spoj dviju ili više cijevi
- kraj cijevi
- značajne potrošače
- bilo koje drugo mjesto koje korisnik želi za čvor (npr. da bi pratio tlak)

### *11.3.2.2. Rezervoari*

Rezervoari su čvorovi s promjenjivim tlakom ili promjenjivom razinom vode. U takvim je čvorovima u svakom trenutku poznat tlak odnosno razina vode tako da se može utvrditi dotok/otjecanje vode. Na osnovi toga u sljedećem koraku određuje se novi tlak ili razina vode na osnovi uvjeta kontinuiteta.

Za potrebe matematičkog modeliranja za rezervoare, potrebno je uvesti podatke o:

- kruni preljeva
- dnu rezervoara
- obliku rezervoara danome kroz promjenu volumena ovisno o dubini
- trenutnoj razini na početku simulacije

- načinu ulaska vode u rezervoar (odozdo, s nepovratnim zatvaračem ili bez, odozgo)

- načinu izlaska vode iz rezervoara (kroz istu cijev, kroz posebnu cijev)

Pri simulaciji različitih situacija kod rezervoara mogu nastati neke poteškoće:

- prelijevanje vode jer je rezervoar pun;

- zrak ulazi u cjevovodnu mrežu jer se rezervoar ispraznio

U prvom slučaju WESNET zadržava maksimalnu razinu vode u rezervoaru iz kojega se prelijeva, a izgubljenju količinu vode zbraja i prikazuje u izvještaju. U drugom slučaju WESNET zadržava lokalnu pijezometarsku visinu na koti dna rezervoara i računa koliko je vode potrebno da se to ostvari. To je približna slika onoga što se događa, ali pomaže korisniku da utvrdi približan nedostatak vode u sustavu i okonča simulaciju. U oba slučaja program upozorava korisnika na takva stanja u rezervoaru tako da se može prekinuti daljnji proračun radi promjene početnih uvjeta ili se sačeka kraj simulacije.

### 11.3.2.3. Posebni čvorovi

#### 11.3.2.3.1. Transfer čvor

Transfer čvor jest ona točka u kojoj se određena količina vode uzima iz sustava ili se u njega uključuje. U takvom čvoru nema potrošnje, a omogućuje vezu s nekim drugim dijelom sustava koji se posebno simulira.

#### 11.3.2.3.2. Čvorovi s konstantnim tlakom

Čvorovi s konstantnim tlakom jesu npr. izvorišta, jezera i sl. Te točke WESNET tretira na jednak način kao i rezervoare, ali ne proračunava promjenu tlaka.

### 11.3.3. Strujanje u cijevima

Cijevi se u matematičkom modelu označuju ovako:

- oznaka "i" lijevog čvora

- oznaka "j" desnog čvora

- dužina "l" u metrima

- unutrašnji promjer cijevi ili "d" u mm

- koeficijent trenja  $\lambda$  ili prirodna hrapavost "k"

- koeficijent lokalnih otpora  $\xi$

Gubitak energije pri tečanju kroz cijevi u WESNETU računa se preko Darcy-Weisbachove jednadžbe, gdje se  $\lambda$  računa Colebrookovom formulom.

### 11.3.4. Crpne stanice

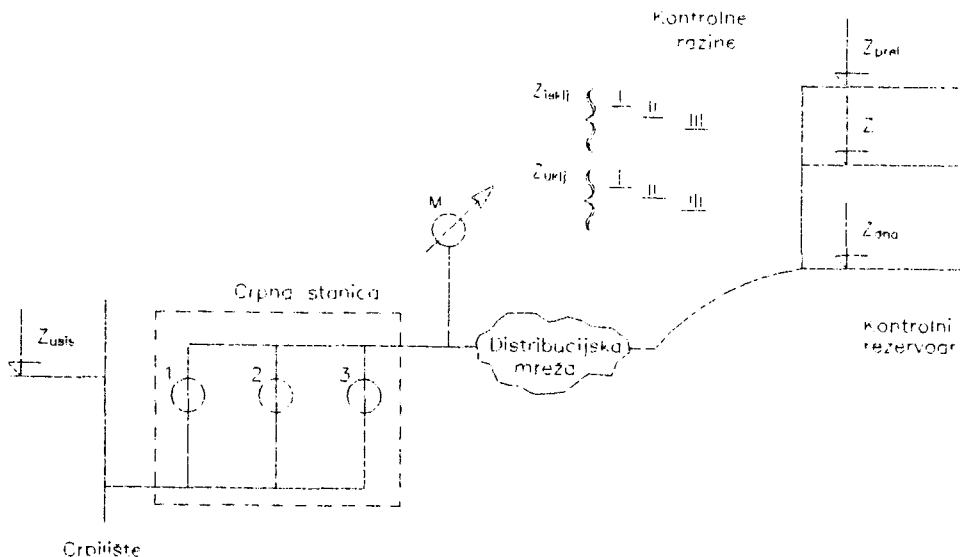
Crpne stanice sastoje se iz većeg broja crpki. Dio je crpki u tijeku simulacije u radu, a dio u rezervi. U matematički model za svaku crpku treba unijeti ove podatke:

- oznaku crpke
- kapacitet crpke  $Q$  (l/s)
- broj okretaja crpke  $n$  (o/min)
- promjer usisa i tlaka crpke,  $d_u$  i  $d_p$  (mm)
- broj stupnjeva crpke
- radnu krivulju crpke  $Q - H - P$  (protok - visina dizanja - snaga)

Dana radna karakteristika crpke treba da predstavlja jedan stupanj crpke, a program prema prijašnjem navodu sam preračunava ako postoji više stupnjeva crpke.

Crpna stanica može imati obilaznu cijev oko crpki (bypass) od usisne do tlačne cijevi s nepovratnim ventilom. Taj se obilazni vod obvezno ugrađuje kod buster stanica, a kod običnih crpnih stanica mogu se ublažiti moguće posljedice pri naglom ispadu crpke zbog nestanka struje (hidraulički udar).

U crpnoj stanici mogu biti ugrađene crpke s konstantnim brojem okretaja, ali i s promjenjivim brojem okretaja. Broj okretaja može se mijenjati od 70 do 100 % od konstantnog broja okretaja.

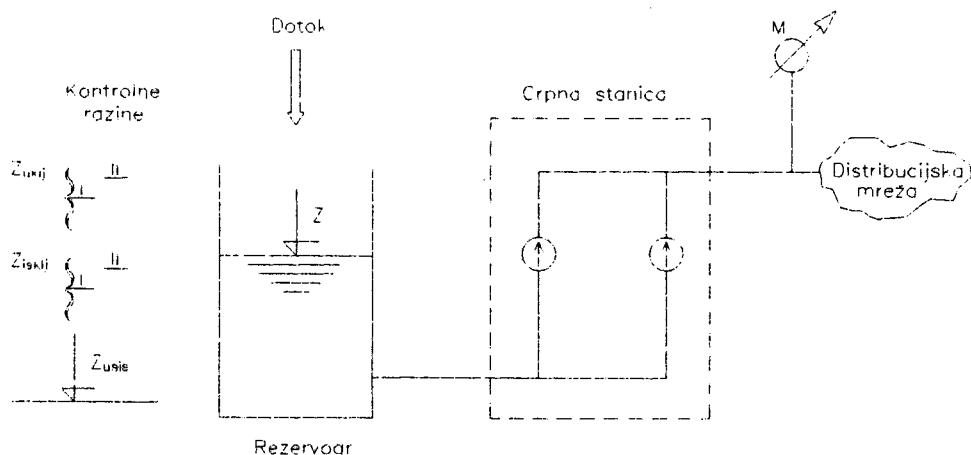


Sl. 11-5 CST dopunjava određeni rezervoar

#### 11.3.4.1. Upravljanje s radom crpne stanice

Crpna stanica radi pod ovim mogućim nadzorima:

- lokalno upravljanje
- daljinsko upravljanje
- automatski rad



Sl. 11-6 CST prazni određeni rezervoar

U prvima dvama slučajevima mora radnik uključiti ili isključiti pojedinu crpku prema utvrđenom planu ili po vlastitom mišljenju. U trećem je slučaju crpna stanica povezana s određenom točkom u vodovodnom sustavu. Ako tlak u toj točki počne rasti, aktivne crpke počinju se isključivati jedna po jedna, i obrnuto, ako tlak u toj točki pada, uključuju se jedna po jedna crpka. Kontrolna je točka najčešće rezervoar. Crpke se uključuju i isključuju ovisno o razini vode u rezervoaru. Time se razina vode u rezervoaru drži na željenoj razini. Pri tome je taj rezervoar najčešće na tlačnoj strani crpke, ali se rad crpki može kontrolirati i u odnosu prema razini vode u rezervoaru na usisnoj strani crpki (to je najčešće u odvodnim sustavima). Sa crpkama se može održavati tlak u nekoj običnoj točki radi održavanja lokalnog tlaka u mreži.

Pri tome se način kontrole odnosi na cijelu crpnu stanicu. Ako u jednoj crpnoj stanici crpke rade na različite načine, onda se crpke grupira u odgovarajuće fiktivne crpne stanice, s jedinstvenom kontrolom.

#### 11.3.4.2. Zaštita od usisavanja zraka

Kada tlak na usisnom cjevovodu padne ispod zadane kote, tada se crpke trenutno isključuju zbog mogućnosti uvlačenja zraka u crpku, stvaranja vakuuma na usisu, pojačane kavitacije i dr. Taj je uvjet najvišeg prioriteta i trenutno se izvršava. Kada tlak poraste, crpke se ponovno uključuju.

#### 11.3.4.3. Zaštita cjevovoda od visokog tlaka

Tlak se u tlačnom cjevovodu crpne stanice stalno mjeri. Ako taj tlak prijeđe zadanu granicu, sve se crpke odmah automatski isključuju kao i u prijašnjem slučaju. Crpke se ponovno uključuju tek kada tlak padne ispod zadane veličine prema jednakom režimu kao i prije ispadanja.

#### 11.3.4.4. Troškovi za utrošenu električnu energiju

WESNET proračunava troškove električne energije. Ti troškovi ovise o tarifnom sustavu elektroprivrede, ali i o mrežnom naponu (visoki ili niski napon na priključku). Električna energija plaća se po količini energije koja je potrošena, ali cijena ovisi o dijelu dana kada se energija troši (tarife), pa se plaća maksimalna snaga koja se stvarno koristi. Također se plaća mjesečni paušal, te raspoloživa odnosno rezervirana snaga.

#### 11.3.4.5. WESNET pristup matematičkom modeliranju crpne stanice

WESNET omogućuje modeliranje crpne stanice na dva načina, i to:

- svaku crpku posebno, tako da se uvedu dodatne cijevi i čvorovi za protupovratni ventil-zasun i regulacijski zatvarač i ostale veze unutar crpne stanice
- cijelu crpnu stanicu sadržanu u jednoj liniji

Drugi je način modeliranja mnogo praktičniji i najčešće se primjenjuje.

Ako tijekom simulacije crpke nemaju dovoljan kapacitet koji je potreban za rad sustava, WESNET će na to upozoriti korisnika. Ako je već jedna crpka prejaka pa je potreban broj okretaja ispod 70 % od radne vrijednosti, program će također signalizirati korisniku. I u jednom i u drugom slučaju simulacija ne staje, a sam korisnik može prekinuti simulaciju.

#### 11.3.5. Ventili

U tlačnim sustavima za dovod vode ugrađuju se redovno različiti ventili. Glavni su im zadaci:

- ventil s plovkom koji sprečava prelijevanje vode iz rezervoara;
- nepovratni ventili koji sprečavaju povratno strujanje vode u cijevima;
- regulacijski ventili koji prigušuju (reguliraju) protok kroz određenu cijev djelujući na lokalni otpor pri tečenju;
- reducir ventili, koji održavaju konstantan tlak u nizvodnom dijelu cjevovoda ili u nekoj udaljenoj zadanoj točki;
- ventili koji djeluju ovisno o kretanju tlaka u određenom kontrolnom čvoru sustava, odnosno prema kretanju razine vode u rezervoaru;
- ventili koji djeluju u određenim vremenskim trenucima, prema utvrđenom planu rada;
- ventili koji djeluju ovisno o protoku u cijevi ili na nekom mjestu u sustavu.

Za svaki od tih ventila potrebno je prikupiti određene podatke. Za sve ventile treba znati:

- profil ventila
- koeficijent otpora ventila kada je potpuno otvoren

Drugi potrebni podaci ovise o vrsti ventila.



Korisnik u matematičkom modelu mora opisati način rada svih onih ventila koji reaguju na neke promjene tijekom vremena. Ventili koji imaju konstantan otvor tijekom cijele simulacije, uzimaju se kao lokalni otpor u cijevima.

U tlačnim sustavima za dovod vode često se događa da se pojedine cijevi u potpunosti zatvore. WESNET omogućuje da se pojedine cijevi zatvore a da se na njih ne dodaju ventili. Na taj se način model pojednostavljuje.

### *11.3.6. Kalibracija matematičkog modela*

Matematički model postojećega tlačnog sustava za dovod vode sadrži određena pojednostavljenja. Ta pojednostavljenja mogu utjecati na rezultate simulacije više nego što je to prihvatljivo. Zbog toga se za postojeće sustave obavlja kalibracija, tj. usporedba rada stvarnog sustava i simulacije istog sustava na matematičkom modelu. Tijekom kalibracije provjeravaju se ključni parametri sustava koji se modelira. Tijekom kalibracije mogu se pojedini parametri korigirati, npr. hrapavost cijevi ili koeficijenti trenja i sl.

## 11.4. RAČUNSKI PRIMJER

Primjera za korištenje matematičkog modeliranja ima puno, s obzirom na cijeli niz primjera u kojima se koristi.

### *11.4.1. Zalijevanje rasadnika*

Primjer koji je dan odnosi se na zalijevanje rasadnika koji je podijeljen u nekoliko polja za zalijevanje. Voda se crpi iz kopanog bunara pomoću crpke i puni se rezervoar koji se nalazi izdignut iznad terena (vodotoranj). Iz vodotoranja voda gravitacijski odlazi na polje. Kako dolazi do promjene načina natapanja polja od onog u brazdama na zalijevanje prskalicama, potrebno je povećati pritisak na prskalicama. To će se učiniti ugradnjom crpke na gravitacijski cjevovod (buster crpka), te promjenom glavnih profila cjevovoda. Promjena profila cjevovoda potrebna je i zbog povećanja površine koja će se koristiti u rasadniku. Zbog povećane potrebe za vodom predviđeno je priključenje mreže i na postojeći vodoopskrbni sustav.

Koristeći matematički model izvršeno je više simulacija rada sustava u različitim uvjetima i s različitim zahtjevima. Rezultati svih simulacija ne mogu se dati u ovom primjeru. Dani su rezultati jedne simulacije iz koje se mogu vidjeti mogućnosti korištenja simulacije putem matematičkog modeliranja na računalu.

Ispis rezultata dobiva se grafički i tabelarno, te na crtežu distribucijske mreže.

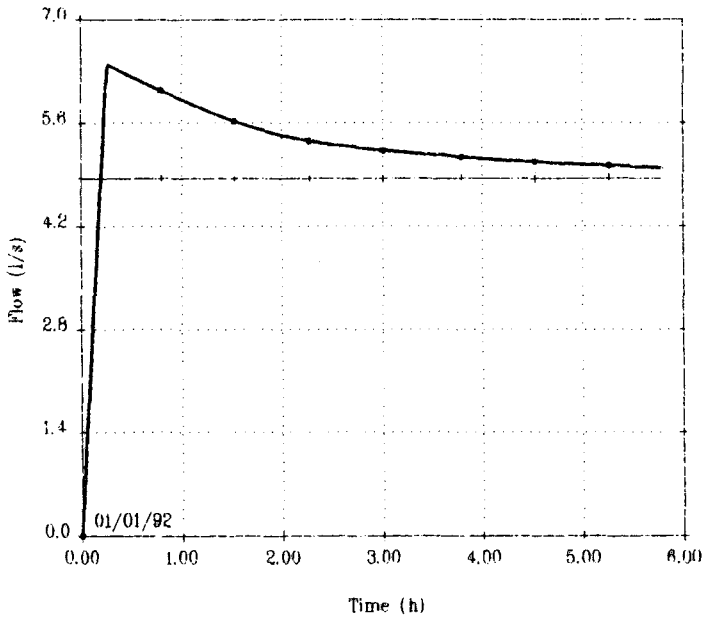
WESNET: dva polja u konačnoj verziji								
SNAPSHOT Report for LINKS date: 01/01/92 Time: 05:45								
Label/Name			Flow	Length	Diameter	Friction	Head	Veloc./
From	To	Type	(l/s)	(m)	(mm)	coeff.	loss	PStatus
						(-)	(m)	(m/s)
P2	-P3	PIP	1.62	70.0	75	0.02	0.1	0.37
P2	-R	PIP	3.34	22.0	75	0.02	0.2	0.76
Bunarska pumpa		PST	4.98	0.0	0	0.02	9.4	11
P3	-R	PIP	1.59	20.0	75	0.02	0.0	0.36
R	-V1	PIP	4.86	8.0	70	0.02	0.2	1.26
Nova pumpa		VAL	4.86	2.0	50	0.02	1.8	2.48
Tlačna pumpa		PST	4.86	0.0	0	0.02	33.1	10
V3	-V4	PIP	4.86	20.0	70	0.02	0.5	1.26
V4	-B1	PIP	2.72	55.0	70	0.02	0.4	0.71
B1	-A3	PIP	2.72	26.0	70	0.02	0.2	0.71
A3	-A4	PIP	2.72	31.0	70	0.02	0.2	0.71
A4	-B2	PIP	2.72	21.0	70	0.02	0.2	0.71
B2	-B3	PIP	2.72	19.0	70	0.02	0.3	0.71
B3-B33		VAL	2.72	1.0	40	0.02	5.1	2.17
B33	-C2	PIP	2.72	21.0	40	0.02	3.6	2.17
C2	-C21	PIP	1.36	2.0	40	0.02	0.1	1.08
C21	-C22	PIP	1.17	2.0	40	0.02	0.1	0.93
C22	-C23	PIP	0.97	2.0	40	0.02	0.0	0.77
C23	-C24	PIP	0.78	2.0	40	0.02	0.0	0.62
C24	-C25	PIP	0.58	2.0	40	0.02	0.0	0.46
C25	-C26	PIP	0.39	2.0	40	0.02	0.0	0.31
C26	-D2	PIP	0.19	2.0	40	0.02	0.0	0.15
C1	-D1	PIP	0.00	15.0	40	0.02	0.0	0.00
V4-O1		VAL	2.14	2.0	40	0.02	3.2	1.70
D2	-i1	PIP	0.19	3.0	20	0.03	0.1	0.62
i1	-i2	PIP	0.18	3.0	20	0.03	0.1	0.56
i2	-i3	PIP	0.16	3.0	20	0.03	0.1	0.50
i3	-i4	PIP	0.14	3.0	20	0.03	0.0	0.43
i4	-i5	PIP	0.12	3.0	20	0.03	0.0	0.37
i5	-i6	PIP	0.10	3.0	20	0.03	0.0	0.31
i6	-i7	PIP	0.08	3.0	20	0.03	0.0	0.25
i7	-i8	PIP	0.06	3.0	20	0.03	0.0	0.19
i8	-i9	PIP	0.04	3.0	20	0.03	0.0	0.12
i9	-i10	PIP	0.02	3.0	20	0.03	0.0	0.06
O1	-O2	PIP	0.97	3.0	40	0.02	0.1	0.77
O2	-O3	PIP	0.78	3.0	40	0.02	0.0	0.62
O3	-O4	PIP	0.58	3.0	40	0.02	0.0	0.46
O4	-O5	PIP	0.39	3.0	40	0.02	0.0	0.31
O5	-O6	PIP	0.19	3.0	40	0.02	0.0	0.15
O6	-z1	PIP	0.19	3.0	20	0.03	0.1	0.62
z1	-z2	PIP	0.18	3.0	20	0.03	0.1	0.56
z2	-z3	PIP	0.16	3.0	20	0.03	0.1	0.50
z3	-z4	PIP	0.14	3.0	20	0.03	0.0	0.43
z4	-z5	PIP	0.12	3.0	20	0.03	0.0	0.37
z5	-z6	PIP	0.10	3.0	20	0.03	0.0	0.31
z6	-z7	PIP	0.08	3.0	20	0.03	0.0	0.25
z7	-z8	PIP	0.06	3.0	20	0.03	0.0	0.19

Sl. 11-7 Rezultati protoka u cjevovodima

WESNET: dva polja u konačnoj verziji							
SNAPSHOT Report for NODES date: 01/01/92 Time: 05:45							
Label/Name	Type	Demand/ Flow (l/s)	Ground Level (mAOD)	Total Head (mAOD)	Pressure (m)	Chlor	
						Decay (1/day)	Conc. (mg/l)
i2	NOD	-0.02	0.0	29.4	29.4	0.00	0.00
i3	NOD	-0.02	0.0	29.3	29.3	0.00	0.00
i4	NOD	-0.02	0.0	29.3	29.3	0.00	0.00
i5	NOD	-0.02	0.0	29.2	29.2	0.00	0.00
i6	NOD	-0.02	0.0	29.2	29.2	0.00	0.00
i7	NOD	-0.02	0.0	29.2	29.2	0.00	0.00
i8	NOD	-0.02	0.0	29.2	29.2	0.00	0.00
i9	NOD	-0.02	0.0	29.2	29.2	0.00	0.00
i10	NOD	-0.02	0.0	29.2	29.2	0.00	0.00
Vod	NOD	0.00	0.0	38.4	38.4	0.00	0.00
O2	NOD	-0.19	0.0	36.5	36.5	0.00	0.00
O3	NOD	-0.19	0.0	36.4	36.4	0.00	0.00
O4	NOD	-0.19	0.0	36.4	36.4	0.00	0.00
O5	NOD	-0.19	0.0	36.4	36.4	0.00	0.00
O6	NOD	0.00	0.0	36.4	36.4	0.00	0.00
z1	NOD	-0.02	0.0	36.3	36.3	0.00	0.00
z2	NOD	-0.02	0.0	36.2	36.2	0.00	0.00
z3	NOD	-0.02	0.0	36.2	36.2	0.00	0.00
z4	NOD	-0.02	0.0	36.1	36.1	0.00	0.00
z5	NOD	-0.02	0.0	36.1	36.1	0.00	0.00
z6	NOD	-0.02	0.0	36.1	36.1	0.00	0.00
z7	NOD	-0.02	0.0	36.1	36.1	0.00	0.00
z8	NOD	-0.02	0.0	36.1	36.1	0.00	0.00
P2	NOD	0.00	0.0	9.4	9.4	0.00	0.00
P3	NOD	0.00	0.0	9.3	9.3	0.00	0.00
Rezervar	RES	0.07	6.5	9.2	2.7	0.00	0.00
Vodomjer	HFX	0.00	0.0	40.0	40.0	0.00	0.00
V1	NOD	0.00	0.0	9.0	9.0	0.00	0.00
V2	NOD	0.00	0.0	7.2	7.2	0.00	0.00
V3	NOD	0.00	0.0	40.3	40.3	0.00	0.00
V4	NOD	0.00	0.0	39.8	39.8	0.00	0.00
B1	NOD	0.00	0.0	39.3	39.3	0.00	0.00
A3	NOD	0.00	0.0	39.1	39.1	0.00	0.00
A4	NOD	0.00	0.0	38.9	38.9	0.00	0.00
B2	NOD	0.00	0.0	38.7	38.7	0.00	0.00
B3	NOD	0.00	0.0	38.4	38.4	0.00	0.00
B33	NOD	0.00	0.0	33.3	33.3	0.00	0.00
C2	NOD	-1.36	0.0	29.7	29.7	0.00	0.00
C21	NOD	-0.19	0.0	29.6	29.6	0.00	0.00
C22	NOD	-0.19	0.0	29.6	29.6	0.00	0.00
C23	NOD	-0.19	0.0	29.6	29.6	0.00	0.00
C24	NOD	-0.19	0.0	29.5	29.5	0.00	0.00
C25	NOD	-0.19	0.0	29.5	29.5	0.00	0.00
C26	NOD	-0.19	0.0	29.5	29.5	0.00	0.00
D2	NOD	0.00	0.0	29.5	29.5	0.00	0.00
O1	NOD	-1.17	0.0	36.5	36.5	0.00	0.00
i1	NOD	-0.02	0.0	29.4	29.4	0.00	0.00

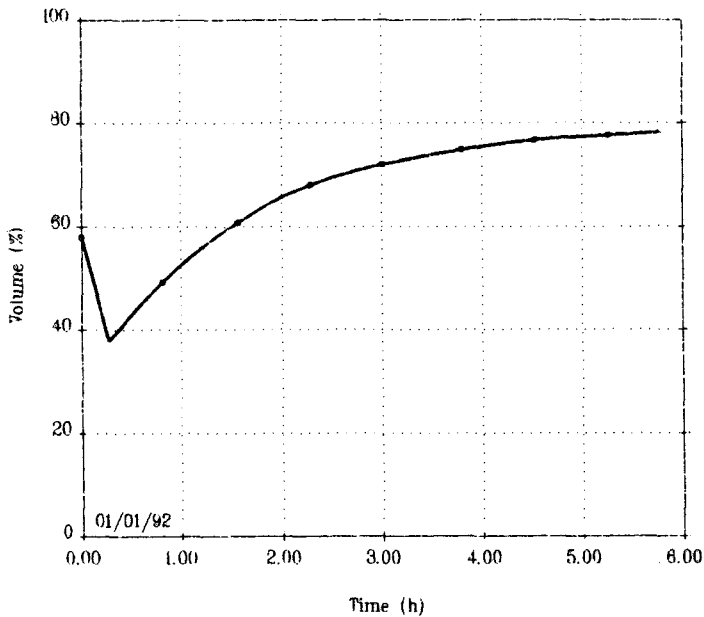
Sl. 11-8 Rezultati tlakova u čvorovima

dva polja u konačnoj verziji



Sl. 11-9 Crpne stanice - protok tokom vremena

dva polja u konačnoj verziji



Sl. 11-10 Rezervoar - razina vode tokom vremena

01/01/92 05:45

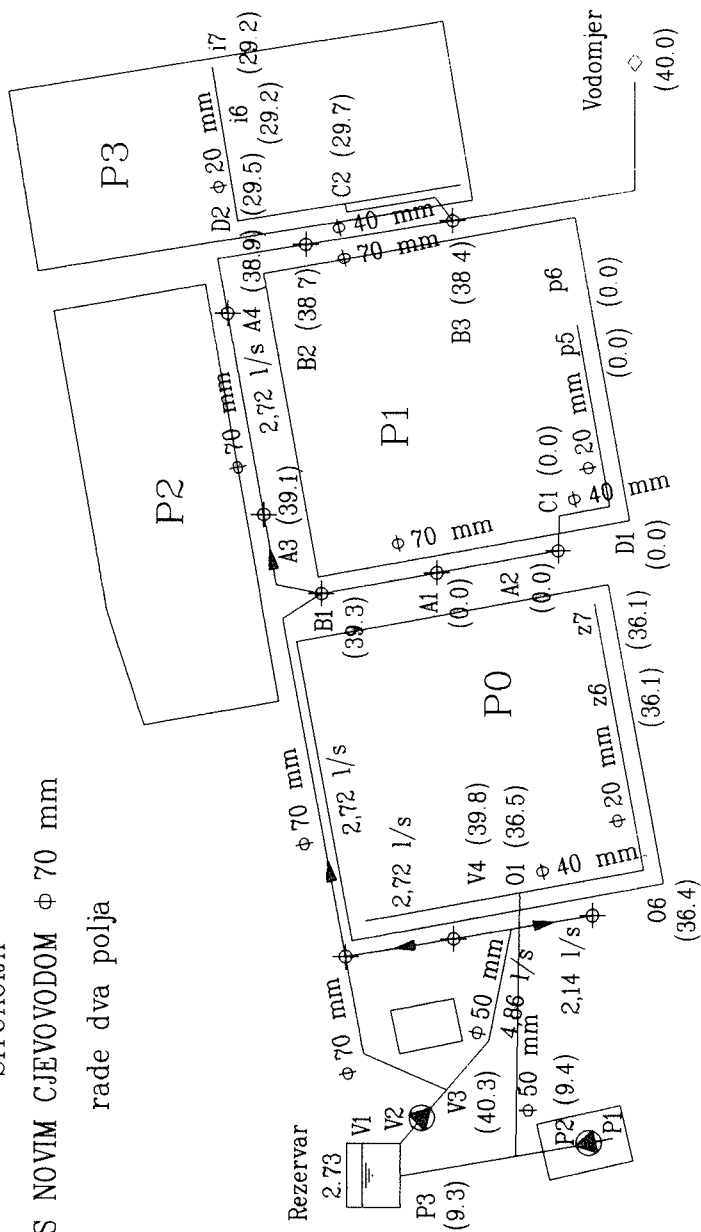
dva polja u konačnoj verziji

Note: Pressure / Reservoir: Depth / Pipe: Flow

SITUACIJA

S NOVIM CJEVODOM  $\phi$  70 mm

rade dva polja



Sl. 11-11 Shema s trenutnim tlakovima i protocima

## LITERATURA

1. Dr. sc. Živko Vuković, dipl. inž. građ.: Osnove hidrotehnike - prvi dio. Akvamarine 1994., Zagreb
2. xxx WESNET - uputstva za upotrebu
3. Dr. sc. Dušan Obradović, dipl. inž. str.: Matematičko modeliranje vodovodnih sistema - interaktivni modeli. Udruženje za tehnologiju vode, Suvremene metode primjene računara u komunalnim radnim organizacijama; zbornik referata, str. 39 - 53, 1989.







definiranje ciljeva razvoja i organizacijske strukture, što će se, ukratko, u nastavku i izložiti.

## 12.2. CILJEVI

U vodoprivredi se često primjenjuje teorija ciljeva. U ovom će se slučaju to primijeniti na međudjelovanje koje može nastupiti u organizacijskoj strukturi nekoga natapnog sustava.

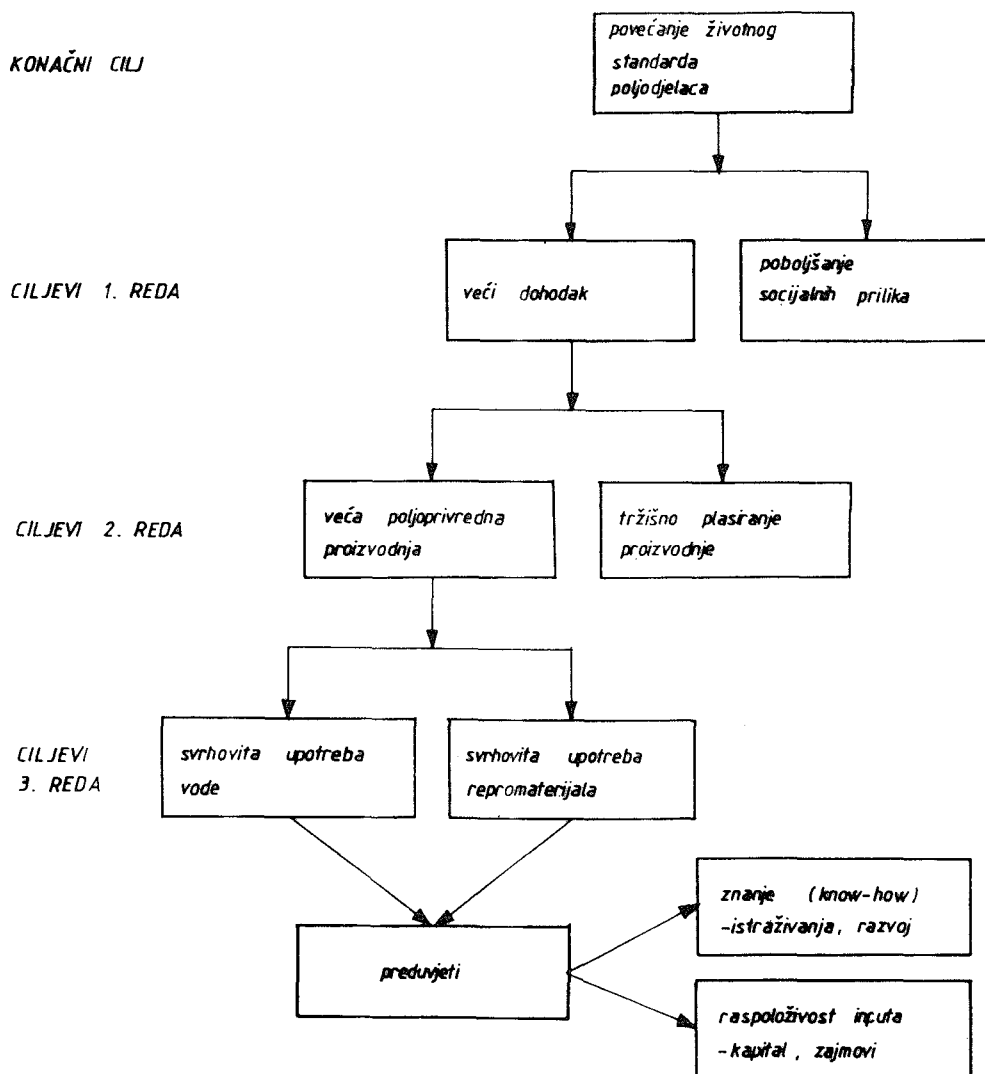
U općem slučaju, udruženjem (udruga, asocijacija) nazivamo dogovor pojedinaca radi postizanja nekoga zajedničkog cilja. Taj skup pojedinaca potom ovlašćuje jednu ili više grupa članova skupa za brigu o ostvarenju dogovorenoga. Time dolazimo i do pojma izvršnih organa udruženja. S druge pak strane, kada vlada namjerava ostvariti neki cilj, onda grupu pojedinaca koju formira i koja je za to zadužena, nazivamo ustanovom (institucijom). Treba, međutim, odmah istaknuti da se ti pojmovi često isprepliću i miješaju i najčešće primjenjuju na bilo koji skup udruženih pojedinaca za realizaciju nekog cilja. Naziv organizacija, koji se mnogo upotrebljava, jest mnogo kompleksniji i najčešće označava bilo koji oblik društvenog ustrojstva pojedinaca radi realizacije nekog cilja, bez obzira na to da li se radi o poljodjeljcima, vladi ili nekome trećemu.

Cilj možemo definirati kao nastojanje da se postignu pozitivna stremjenja ili značajke pojedinaca ili grupe. To je veoma uopćena definicija koja u pojedinim granama, područjima i oblastima poprma različite - određene - značajke. Tako npr. kod natapanja ciljeve obično razvrstavamo po hijerarhijskom načelu tako da su ciljevi najvišeg reda najopćenitiji, dok su ciljevi nižih rangova detaljnije specificirani.

Iz priložene je sheme očito da su ciljevi najvišeg ranga (poboljšanje životnog standarda) najopćenitiji i jako neodređeni pa ih je potrebno razdijeliti u podciljeve (ciljeve nižeg reda), koji se mogu i kvantitativno izraziti. U konkretnom je slučaju to učinjeno na dva dijela, i to:

- povećanje dohotka
- poboljšanje socijalne sfere (zdravstvo, obrazovanje, stanovanje, rekreacija, itd.).

Dakle, nije toliko značajno kako će se razdijeliti glavni ciljevi, već više kako će se dobiti elementi koji su eksplicitniji i lakše mjerljivi. Nema nikakve dvojbe da se povećanje dohotka može postići samo povećanjem poljoprivredne proizvodnje i prodajom proizvoda pod poznatima, relativno konstantnim cijenama. To je, dakako, moguće samo ako je dovoljno vode i drugih "repromaterijala" raspoloživo u pravo vrijeme i upotrijebljeno na svrsishodan način. Prema tome, može se zaključiti (vidi sl. 12-1) da su ciljevi višeg reda hijerarhijski ovisni o ciljevima nižeg reda te se ne mogu postići bez prethodnog ispunjenja ciljeva neposredno nižeg reda. Dakako, da bi se to postiglo, moraju biti raspoloživi i neki drugi uvjeti (znanje, zajmovi - kapital - itd.).

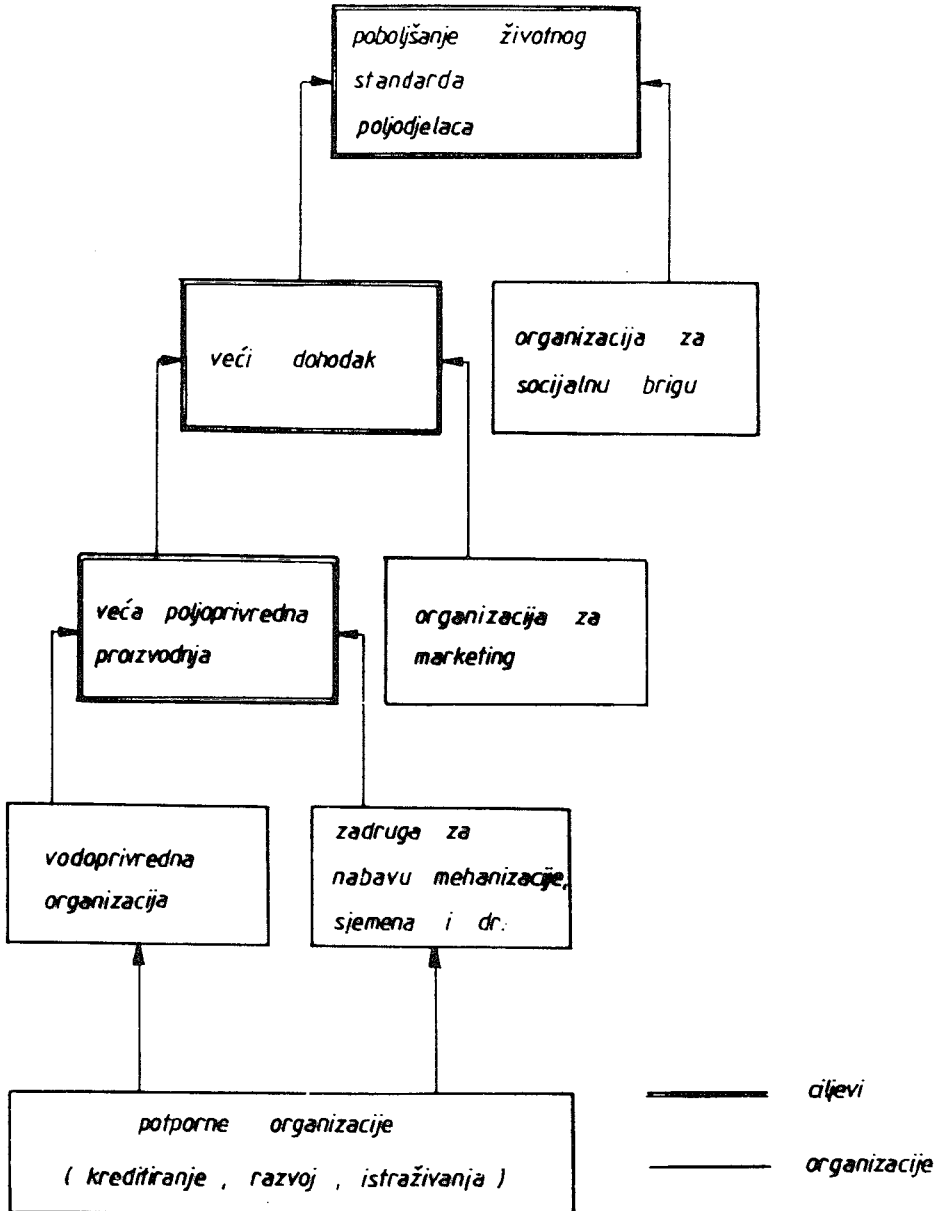


Sl. 12-1 Hijerarhijska struktura ciljeva kod natapnih sustava

### 12.3. ORGANIZACIJSKE STRUKTURE

Oživotvorenje ciljeva - na svim razinama - koji su navedeni na slici 12-1, moguće je provesti na dva odvojena načina. Ako se organizacijska struktura sastoji od

neovisnih organizacijskih jedinica ujedinjenih u određenome koordiniranom sustavu, govorimo o segregiranoj organizacijskoj strukturi. Ako pak takvu organizaciju vodi neka središnja institucija, vođena iz jednog centra, a sa zadatkom postizanja ciljeva nižeg reda, riječ je o integriranoj organizacijskoj strukturi.



Sl. 12-2 Tip segregirane organizacijske strukture

### *12.3.1. Segregirana organizacijska struktura*

Kao što je navedeno, segregirana organizacijska struktura djeluje odozdo prema gore, ima svoje upravne jedinice po hijerarhijskom redu ciljeva te združeno djeluje na postizanje konačnog cilja planiranoga natapnog projekta (povećanje životnog standarda).

Prema tome, za svaku vrstu aktivnosti, kao što je korištenje vode, mehanizacija, otkup, marketing i dr., osnivaju se jedna ili više neovisnih organizacija, ali čitav je splet podređen postizanju konačnog cilja. Iako je, teorijski gledano, to idealno rješenje, u praksi se obično rješava malo drugačije. Naime, cilj "svrhovita upotreba vode", tj. gradnja i pogon natapnog sustava, redovito se provodi "po planu", dok je sve ostalo (opskrba mehanizacijom, repromaterijalom, marketing i dr.) izloženo brojnim mogućnostima izbora rješenja, što se u praksi najčešće i događa. Prema tome, rijetki su natapni sustavi koji su se u praksi realizirali, odnosno funkcioniraju upravo po toj shemi. Dakle, da bi se takav tip organizacijske strukture mogao konstituirati i adekvatno djelovati, treba pomagati i poticati osnivanje organizacija (tvrtki) koje osiguravaju ostale uslužne djelatnosti, a to najčešće mora obaviti državna vlast.

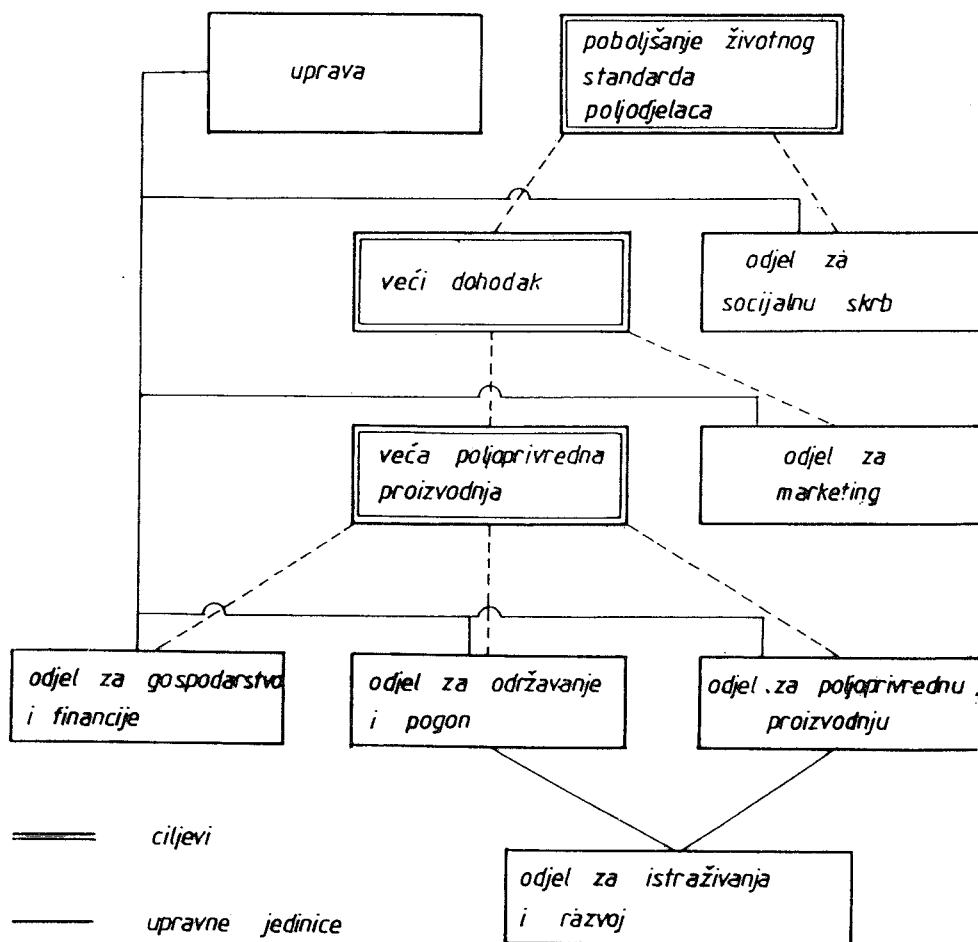
### *12.3.2. Integrirana organizacijska struktura*

Za razliku od prethodnog slučaja, ako se konačni cilj postiže organiziranim djelovanjem većeg broja institucija radi postizanja ciljeva nižeg reda, a vođen je iz jedinstvenoga upravljačkog centra, govorimo o integriranoj organizacijskoj strukturi. Takva se organizacijska struktura obično naziva "uprava natapnog projekta", a osnovni joj je zadatak da vodi brigu o društveno-gospodarskim problemima za vrijeme i poslije izgradnje određenoga natapnog sustava, osobito o međudjelovanju pojedinih čimbenika u integralnoj strukturi privređivanja.

Da bi takva organizacija mogla obavljati sve poslove i zadatke u sklopu natapne poljoprivrede, posebno marketinga i u području socijalno-ekonomske sfere, mora imati odgovarajući sustav koji je u stanju suočiti se s tako kompleksnim problemima. Kako je problematika u takvim slučajevima veoma raznorodna i složena, neće uvijek biti moguće postići planirane ciljeve pa se postavlja i pitanje da li je u takvim slučajevima treba i osnivati. Da bi uspjeh bio koliko-toliko osiguran, mora postojati - na razmatranom području - izvjestan stupanj homogenosti u društveno-gospodarskom stanju poljodjelaca. Zato se takve organizacije najčešće osnivaju u projektima naseljavanja (kolonizacija) državnih poljoprivrednih dobara, zadruga i sl.

Prednost je integrirane organizacijske strukture ponajprije u tome što su na taj način ujedinjene na jednome mjestu sve službe (servisi) koje su vezane za proces poljoprivredne proizvodnje. To se posebno odnosi na kreditiranje proizvodnje, primjenu modernih dostignuća znanosti i tehnologije te službe zaštite od štetnika i bolesti. U mnogim je zemljama uobičajeno da uprava projekta dostavlja

poljodjelicima sve potrebne resurse (inpute) tijekom sezone na kredit, a plaća se nakon prodane žetve. Na taj je način ujedno osigurana ravnopravnost sudionika u procesu proizvodnje u korištenju pomoći javnih službi te sredstava i dostignuća specijaliziranih organizacija (zajmovi, znanost).



Sl. 12-3 Primjer integrirane organizacijske strukture

## 12.4. PLANIRANJE ORGANIZACIJE PROJEKTA

Uspjeh organizacije natapnog sustava ovisi, u prvom redu, o njenoj strukturi, tj. o načinu kako su zadaci i odgovornosti raspoređeni među članovima, te o procesu

upravljanja, odnosno o načinu kako se u takvoj strukturi donose odluke. Ovdje će se kratko obraditi problem organizacijske strukture, i to samo u okviru natapnog projekta.

Organizacijska se struktura sastoji od dviju komponenata, i to horizontalne i vertikalne. Horizontalna se komponenta odnosi na način kako određene aktivnosti, bitne za postizanje ciljeva organizacije, mogu biti razvrstane (sistemizirane), a potom realizirane koordiniranom akcijom specijaliziranih grupa djelatnika. Vertikalna se pak dimenzija odnosi na način kako su podijeljene odgovornosti između članova koji se nalaze na različitim razinama rukovođenja pojedinih jedinica organizacije (od najniže do najviše).

Izbor tipa horizontalne organizacije u prvom redu ovisi o veličini natapnog (hidromelioracijskog) područja i o stupnju razvoja regije u kojoj se projekt nalazi. Kod većih natapnih sustava (s više od 500 korisnika, odnosno natapnih hektara) bit će nužno osnovati organizaciju sa značajnim stručnim i upravnim osobljem, čiji će glavni zadatak biti briga o adekvatnoj raspodjeli rada i održavanju sustava, eventualno razrez i ubiranje vodnog doprinosa ili drugih oblika naknada, a ponekad i tehnička pomoć poljodjelicima u unapređenju načina korištenja vode i drugih oblika tehničke pomoći. Pri osnivanju novih naselja (kolonizacija), tim se organizacijama dodaju i neke druge - specifične zadaće, kao npr. poljoprivredne (stručni savjeti, istraživanja i sl.), gospodarske (opskrba repromaterijalima, kreditiranje, marketing), socijalne (stanovanje, zdravstvo i sl.) te održavanje drugih infrastrukture (npr. ceste). O vrsti i veličini natapnog projekta (da li za postojeće naselje ili novo) te o društvenom uređenju i stupnju razvoja zemlje ovisi da li će se vodoprivredne, poljoprivredne i druge službe ujediniti u jedinstvenu organizaciju ili će se za svaku granu (službu) osnivati posebna organizacija.

Kod srednjih i malih projekata treba dobro analizirati da li i u kojoj mjeri formirati stručne službe s obzirom na relativno velike administrativne troškove održavanja takvih organizacija. U svakom slučaju, za osrednje natapne sustave (100-500 ha) bit će nužno formirati bar neku ispostavu ili odjel specijaliziranih radnika i stručnjaka za upravljanje sustavom i održavanje mreže. Mali natapni sustavi ne mogu održavati (plaćati) takve specijalizirane službe ili im čak i ne trebaju jer korisnici sami obavljaju funkciju uprave i pogona (npr. na manjim poljoprivrednim imanjima), i to u sklopu ostalih poslova.

## 12.5. VRSTE ORGANIZACIJA ZA NATAPANJE

Razmatranje vrsta upravnih organizacija u vodoprivredi općenito, a kod natapanja posebno, može se ograničiti na činjenicu da li ta organizacija obavlja funkciju upravljanja samo u području vodoprivrede ili pak i u drugim granama (razvoj u poljoprivredi, istraživanja, kreditiranja, marketing i dr.). Druga je podjela provedena

ovisno o tome u kojoj je mjeri zastupljeno upravljanje poljodjelaca i/ili vlasti. Prema tom je kriteriju osnovna podjela ova:

- integrirane upravne organizacije
- specijalizirane vodoprivredne organizacije
- višenamjenske vodoprivredne organizacije

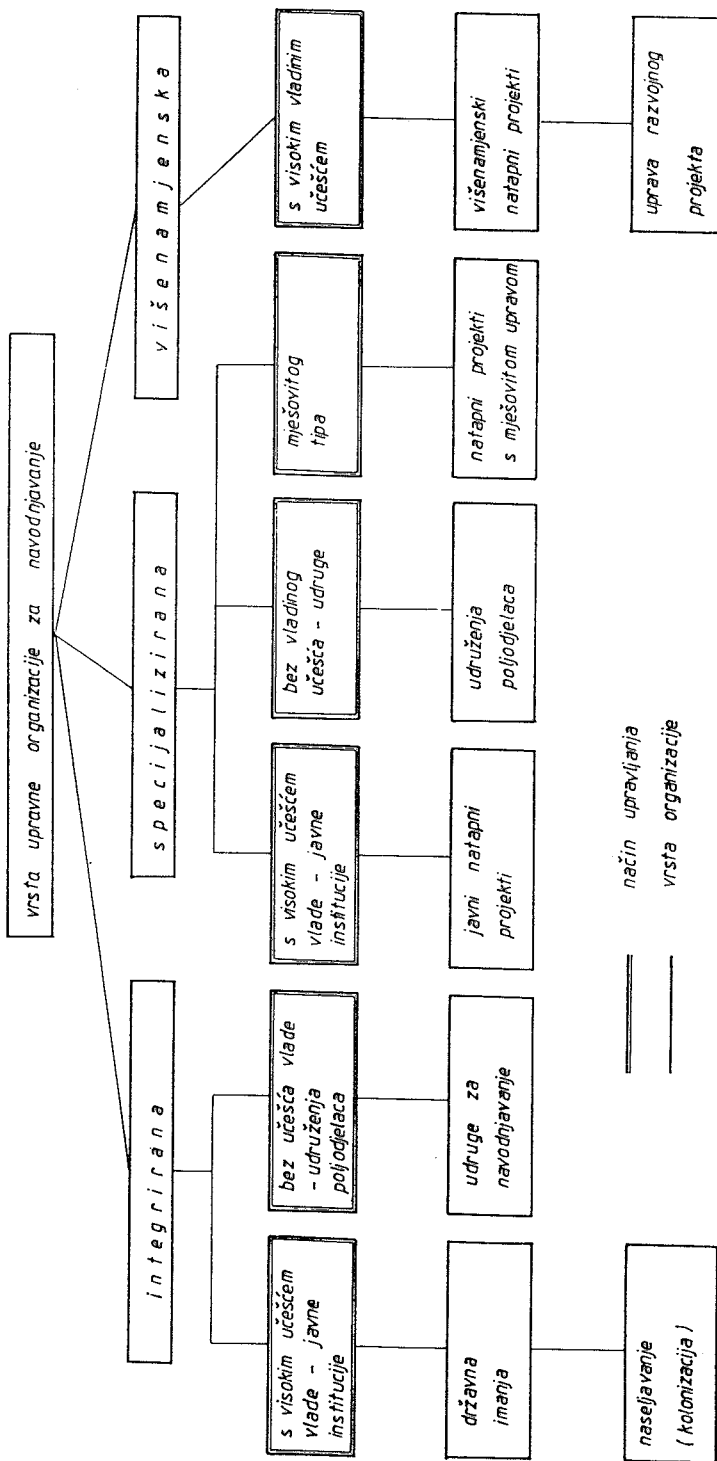
### *12.5.1. Integrirane upravne organizacije*

Te organizacije pokrivaju sve aktivnosti na razvoju područja za koje su osnovane, koje se provode putem specijaliziranih upravnih jedinica neposredno podređenih jednoj osobi (upravitelju) ili tijelu (upravni odbor).

Državne se farme najčešće osnivaju samo u određenim specifičnim uvjetima i s jasno naznačenim ciljem. Obično je to kod nacionaliziranog tla, i to u postupku pripreme toga tla za naseljavanje u sklopu agrarne reforme. U takvim slučajevima državna farma može poslužiti kao poligon za primjenu najnovijih znanstvenih dostignuća i u natapanju i u gospodarstvu općenito. Dakle, neka vrsta oglednog dobra za izobrazbu novodoseljenih poljodjelaca. Ponekad se mislilo da bi državna dobra, s obzirom na sve preduvjete i sigurnost, morala biti učinkovitija od privatnih, ali su mnogi primjeri to demantirali. Naime, najčešće se događa da se upravni aparat birokratizira i da nije u stanju pratiti nove trendove u upravi i gospodarstvu kao što to može u privatnom vlasništvu.

Kao što je poznato, projekti naseljavanja organiziraju se radi stalnog zbrinjavanja bezemljaša i siromašnih obitelji. Osnovni problem, koji se u tom procesu pojavljuje, jest u tome što mnogi doseljenici imaju nisku obrazovnu razinu, zapravo su bez financijskih sredstava i često bez osnovnog znanja o poljoprivredi. Da bi se oni osposobili za samostalan rad i život uz visoki standard, treba mnogo truda i vremena. Ključ rješenja leži u tome da osnovnu brigu o obavljanju glavnih poslova i odgovornosti za to u prvim godinama rada mora snositi državna uprava projekta. Poljodjelac može samostalno obavljati sve poslove i zadatke tek kada se stručno osposobi i financijski oslobodi tuđe pomoći. Od trenutka kada se poljodjelac s obitelji doseli na novo imanje pa dok on postane potpuni vlasnik i samostalni gospodarski čimbenik, obično prolazi više godina (najčešće između 10 i 20). Kroz to vrijeme bitnu ulogu u svim područjima aktivnosti igra državna uprava projekta, a taj prijelazni rok prolazi kroz više faza razvoja.

Za natapanje, ili općenito u vodoprivredi, ima veći broj udruženja korisnika (udruga, zadruga, vodnih zajednica i sl.). U domeni natapanja razvijene su naročito vodne zajednice u svrhu planiranja, građenja, održavanja i pogona natapnih sustava na manjim hidromelioracijskim područjima, i to posebno u razvijenijim zemljama. U nekim od tih zajednica obavljaju se zajednički izvjesne poljoprivredne operacije obrade tla, i to ponajprije iz ekonomskih razloga (oslobađanje od poreza, specifični strojevi velikog učinka i sl.).



Sl. 12-4 Glavne vrste organizacija za natapanje



### 12.5.2. *Specijalizirane vodoprivredne organizacije*

U osnovi, specijalizirane vodoprivredne organizacije osnivaju se za svrhovitu upotrebu vode za natapanje u nekoj zajednici poljodjelaca. U pravilu je to dio segregirane organizacijske strukture. Njihov je zadatak upravljanje i održavanje odvodnim i natapnim sustavom te razrez i prikupljanje vodnog doprinosa.

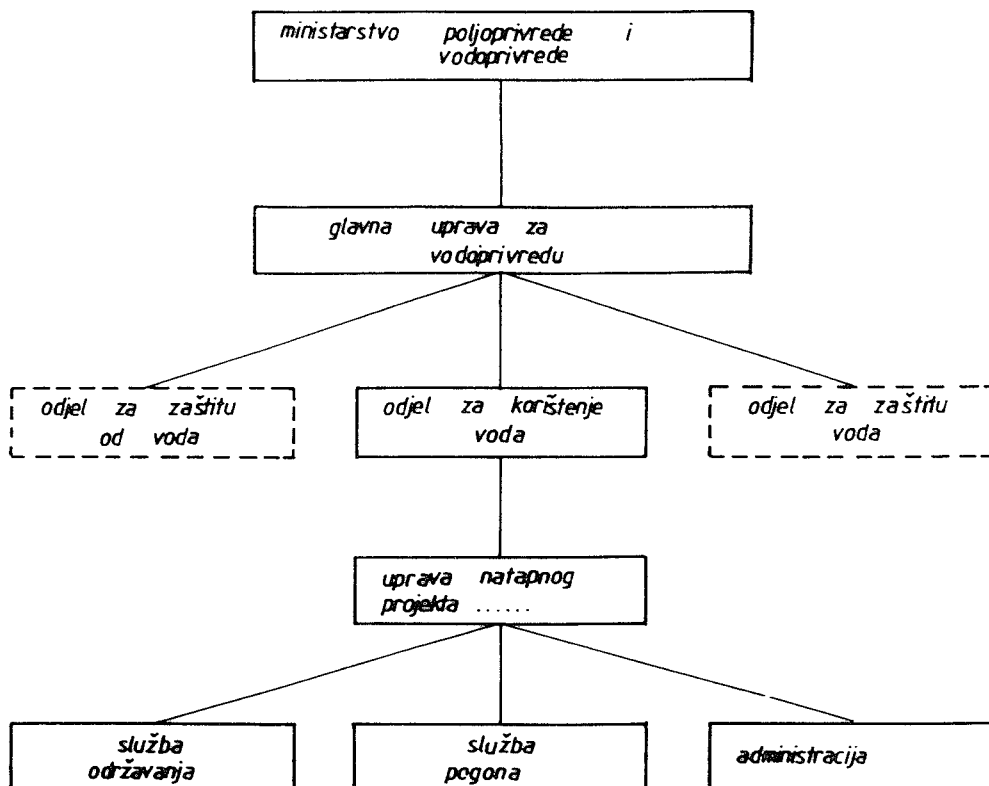
U nekim zemljama te organizacije imaju i druge funkcije osim natapanja poljoprivrednog tla. Tako npr. u SAD-u, Mađarskoj i Italiji te organizacije mogu imati i druge djelatnosti kao što su proizvodnja električne energije, opskrba vodom naselja, plovidba i sl. To je poželjno samo ako natapanje ostane osnovna i ključna djelatnost jer se time ostvaruju dopunski prihodi.

Javni natapni projekti (sustavi) mogu biti privremenoga (dok se poljoprivrednici ne srede i organiziraju) značaja, ali i trajnoga, što ovisi o stupnju razvoja i politici zemlje. Najčešće se formiraju tako da određeni dio upravnog aparata nakon dovršenja sustava ostaje radi upravljanja i održavanja u pogonu. Organizacija je takvog tijela vrlo jasna i jednostavna, ide ravno odozgo prema dolje, a tipičan primjer prikazan je na slici 12-5. Kod specifičnih zahtjeva koji se pojavljuju u pogonu, kao što su dinamička regulacija razine vode u kanalima, raspodjela vode na zahtjev i drugi složeni poslovi, takva je organizacija nužna. Isto tako za upravljanje kompleksnim pogonom velikih natapnih kanala, naročito višenamjenskog tipa, također je nužna takva organizacija, posebno i zbog čestih konfliktnih situacija. Takve se institucije mogu vrlo lako i brzo organizirati (odluka državnog organa).

Osnovna značajka udruženja poljodjelaca sastoji se u tome da su to organizacije korisnika sustava sa svrhom da svojim članovima doprinose određenu korist. Iako vlada, u pravilu, nema udjela u upravljanju takvom organizacijom, treba istaknuti da se veći dio njih ne bi nikada osnovala bez potpore vlade. Te organizacije osiguravaju demokratske metode upravljanja projektom i nisu političkog karaktera. Često im se pokušavalo u pojedinim zemljama dati politički karakter, ali je to u pravilu završilo kobno za takvu organizaciju. Iz većeg broja primjera širom svijeta proizlazi da su one djelotvornije i jeftinije negoli državna uprava, kojoj uvijek visi za vratom opasnost od birokratizacije. Što se tiče plaćanja vodnog doprinosa, također ima primjera da one imaju osiguranu bolju službu naplate te postižu više cijene doprinosa. Da bi udruga adekvatno funkcionirala, ona ne smije biti ni prevelika ni premalena. Kod malih jedinica nije moguće organizirati kvalitetnu i stručnu službu održavanja i pogona, a kod prevelikih pojavljuju se poteškoće komunikacije. Smatra se da optimalna veličina ne bi smjela prelaziti 10.000 ha ili oko 2-3.000 korisnika.

Natapni su projekti s mješovitom upravom takvi da je dio mreže (obično osnovna), pod upravom državnih službenika, a ostalo poljoprivrednika. Taj je sustav upravljanja veoma raširen u Aziji i na Dalekom Istoku, gdje ima veliki broj malih posjednika (imanje u prosjeku iznosi od 0,5 do 1,0 ha). U takvim je slučajevima za državni organ veoma skupo i neprikladno upravljati cijelim sustavom pa se državni organ ograničava na upravljanje glavnim i sekundarnim kanalima ili većim vodotocima, a ostala mreža prepuštena je na upravljanje samim poljoprivrednicima.

Prema tome, za svaki manji vodotok ili tercijarni kanal, osniva se udruga korisnika vode koji samostalno upravljaju pogonom i održavanjem odnosno mreže. Dosadašnje iskustvo pokazuje da takav sustav upravljanja postiže pozitivne rezultate.



Sl. 12-5 Tipičan primjer organizacije javnoga natapnog projekta

### 12.5.3. Višenamjenske vodoprivredne organizacije

Osnovne su značajke višenamjenske vodoprivredne organizacije u tome što osim osnovne zadaće - natapanje poljoprivrednih tala - ima i neke druge funkcije vezane za korištenje tla, a to mogu biti istraživanja, razvoj, marketing i sl. To se može dopustiti samo kada su odgovarajuće analize pokazale da će takav oblik organizacije biti najdjelotvorniji u praksi i ujedno najjeftiniji.

U manjim slučajevima, neka opća upravna organizacija pokazat će se kao jako složena i nedjelotvorna, dok će ustrojba specijaliziranih vodoprivrednih organizacija biti preskupa i neadekvatna. U takvim će se slučajevima ukazati potreba primjene višenamjenske vodoprivredne organizacije, koja svojoj osnovnoj organizacijskoj strukturi dodaje samo one funkcije koje su nužne i za koje nema druge alternative.

Prema tome, višenamjenska vodoprivredna organizacija zapravo obavlja funkciju javnoga natapnog projekta, uz neke pridodane poslove. Ti su pridodani poslovi najčešće: tehnička pomoć poljodjelicima (pri natapanju), primijenjena istraživanja kod natapanja, usavršavanje tehnike natapanja, kontrola kakvoće vode i dr. Dakako, moguće su i druge funkcije koje nisu u uskoj vezi s natapanjem, kao što je nabava repromaterijala (gnojiva, sjemena, zaštitnih sredstava i sl.), marketing i sl.

Iz izloženoga je jasno da nije moguće unaprijed propisati djelokrug rada i poslovne aktivnosti koje neko višenamjensko vodoprivredno poduzeće obavlja, već se to utvrdi za svaki slučaj posebno, vodeći ponajprije računa o specifičnostima konkretnog slučaja i lokalnim uvjetima, ali u prvom redu o potrebi razvoja vodoprivredne službe.

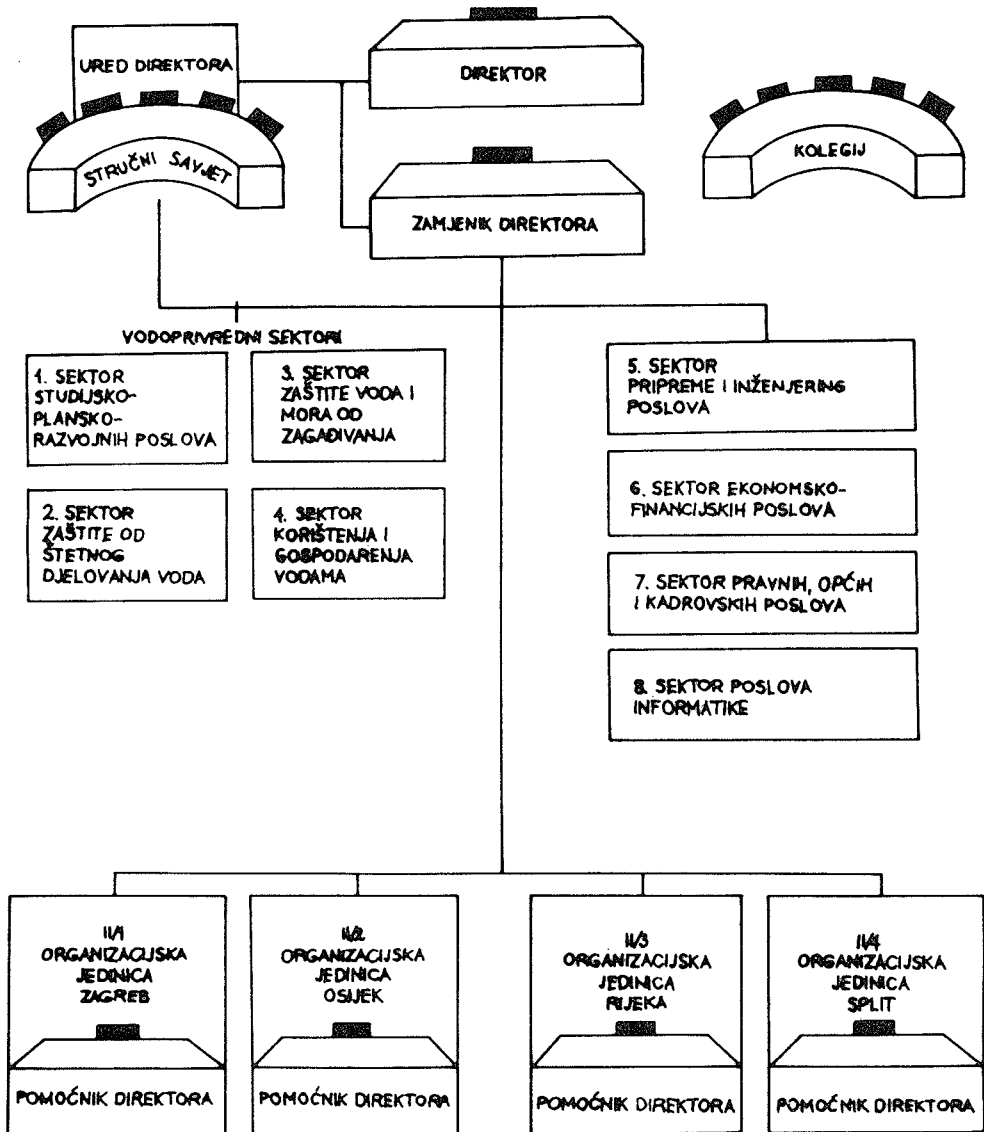
#### *12.5.4. Moguća rješenja organizacija natapanja u Hrvatskoj*

Današnju organizacijsku strukturu hrvatske vodoprivrede karakterizira neki specifični model integrirane organizacije koja je ustrojena uglavnom na dvije razine: po subordinaciji nadležnosti i po teritorijalnom načelu. Javno vodoprivredno poduzeće "Hrvatska vodoprivreda" organizirano je kao jedinstveno poduzeće za cijelu državu, s time što teritorijalno ima razgranate ispostave (organizacijske jedinice) u Zagrebu, Rijeci, Splitu i Osijeku, odnosno u sjedištima nekadašnjih samostalnih poduzeća (opća vodoprivredna poduzeća).

U nas je znakovito da se nacionalna vodoprivredna organizacija bavi svim problemima vodoprivrede (zaštita od voda, zaštita voda i korištenje voda) te da nema specijaliziranih vodoprivrednih organizacija, izuzev za komunalnu privredu i na razini pojedinih slivnih područja (za građenje i održavanje). S tim u vezi problematika natapanja poljoprivrednog tla spada u organizacijsku jedinicu korištenja voda i upravno je centralizirana, odnosno vertikalno subordinirana središnjici (veza područnih jedinica i uprave). Kod nas nije bilo, a nema ni sada organizacijskih struktura sličnih kao na prikazanim shemama sa sl. 12-1 i 12-2, ali su takve strukture u mnogim zemljama i danas dosta popularne. One su nužne kod vodeće državne intervencije (sredstvima državnog proračuna) ne samo na građenje osnovne infrastrukture u poljoprivredi (odvodnja, natapanje) već naročito kod osvajanja novih površina, odnosno privođenja poljoprivredi nepoljoprivrednog tla (močvare, pustinje), i to ponajprije u fazi planiranja i građenja, ali i održavanja pogona. U svijetu ima veliki broj primjera gdje su na taj način privedene poljoprivrednoj proizvodnji velike površine neplodnog tla, odnosno najbliži takav primjer je Italija, gdje je politikom "kolonizacije" i prije i poslije Drugoga svjetskog rata učinjen veliki skok naprijed u razvoju poljoprivrede.

Imajući na umu dosadašnju tradiciju i sadašnje stanje, u Hrvatskoj se ne mogu očekivati neke korijenite promjene u organizacijskoj strukturi vodoprivrede, ali neke bi promjene, odnosno "dotjerivanja", bila poželjna i korisna. S tim u vezi bilo bi nužno da se bitno povećaju sredstva za investicijske intervencije u poljoprivredi

(drenaže, natapanje, dugogodišnji nasadi, gospodarske zgrade i sl.), a tome bi zadatku trebalo podrediti i organizacijsku strukturu.



Sl. 12-6 Shema organizacije JVP "Hrvatska vodoprivreda"

Budući da natapanje u Hrvatskoj, u iole spomena vrijednom opsegu, praktički ne postoji, pa je naša zemlja u tom pogledu više-manje na zadnjem mjestu u svijetu (uzimajući u obzir fizičke značajke okoline), bilo bi nužno da se tu što prije učini bitan korak naprijed kako bismo se koliko-toliko približili razvijenom svijetu. S tim u

vezi bilo bi nužno i u organizacijskoj strukturi temeljne hrvatske vodoprivredne organizacije ("Hrvatske vodoprivrede") učiniti izvjesne promjene kako bi se organizacijska shema uskladila s novim zadacima i novim ciljevima. Najmanje što bi se u tom pogledu moglo učiniti jeste formirati poseban sektor (odjel) za razvoj natapanja u središnjoj upravi i u odgovarajućim ispostavama u svima (terenskim) organizacijskim jedinicama.

Na taj bi način sektor natapanja dobio odgovarajuće mjesto u strukturi upravnih jedinica, pa i nešto "privilegiranije", što bi utjecalo da površine pod natapanjem nešto ubrzanije rastu i da u primjerenom roku dostignu stupanj razvoja ostalih vodoprivrednih grana. Iz državnog proračuna morala bi se ta grana obilno alimentirati za istraživanja, studije i projekte, ali i za razne druge oblike pomoći (zajmovi, učešća) koji bi osigurali brži razvoj. Upravljanje bi se provodilo po vertikali kao i sada, tj. iz uprave prema terenskim jedinicama, koje bi imale uglavnom ulogu i zadaće investitora, dok bi radove mogla izvoditi vodoprivredna poduzeća slivnih područja i ostala poduzeća iz te djelatnosti.

Iz izloženoga se može zaključiti da bi ubrzaniji rast natapanja u našoj zemlji višestruko pridonio sveopćemu gospodarskom razvoju i napretku, i to naročito u:

- intenziviranju i povećanju gospodarske aktivnosti u gotovo svim granama nacionalnog gospodarstva;
- osiguranju dovoljnih količina poljoprivrednih proizvoda za vlastite potrebe te izvjesne količine za izvoz;
- učinkovitoj upotrebi raspoloživog fonda vodnog bogatstva i njegovom gospodarskom korištenju;
- održivom razvoju ne samo vodnog gospodarstva već i svih ostalih gospodarskih aktivnosti koje su s tim povezane.

## 12.6. UPRAVLJANJE NATAPNIM SUSTAVIMA

Upravljanje natapnim sustavima može se, u općem smislu, podijeliti na dvije glavne skupine aktivnosti. Prva se skupina odnosi na poslove više-manje jednake ili bar slične onima koje susrećemo u svakoj organizaciji, dok je druga specifična i primjerena samo natapnim projektima. Zbog toga čelnici takvih organizacija moraju u izvjesnoj mjeri imati obrazovanje i sposobnosti prilagođene za funkcije takve vrste.

### *12.6.1. Osnove funkcije upravljanja*

Osnovna funkcija svakog procesa upravljanja nije samo administriranje već sustavno i neprekidno planiranje. Ono se u prvom redu odnosi na realizaciju planskih ciljeva, ali isto tako na pripremu i formuliranje planova, izradu proračuna prihoda i

rashoda, mjera za njihovu realizaciju, praćenje realizacije proračuna, reformuliranje planova, itd.

Glavni zadaci i dužnosti upravitelja projekta jesu:

- izrada kratkoročnih, srednjoročnih i dugoročnih planova, posebno u odnosu prema realizaciji ciljeva i prioriteta projekta;
- briga za realizaciju godišnjeg programa radova i proračuna;
- izrada detaljnoga godišnjeg programa radova za svaku radnu jedinicu te svakoga zaposlenog službenika;
- nadzor nad zaposlenim radnicima i službenicima te pridruženim poljodjelicima u cilju adekvatnog izvršenja godišnjeg plana. Briga za njihovo odgovarajuće osposobljavanje (doškovanje) za povjerene im poslove;
- pribavljanje mišljenja korisnika usluga projekta (poljodjelaca) u vezi s kvalitetom rada službi ustanove;
- upoznavanje i adekvatno rješavanje ostalih tekućih pitanja i problema koji svakodnevno iskrsavaju u procesu upravljanja.

Dakako, dužnost je upravitelja, odnosno upravnih djelatnika, da neprekidno pronalaze i vode brigu za otklanjanje loših (slabih) mjesta u upravljačkoj strukturi projekta. Da bi se takav problem mogao primjereno riješiti, nužno je da se organizira odgovarajući sustav praćenja pojedinih parametara poslovnog procesa. To se posebno odnosi na raspoloživa sredstva (oprema, novac, radna snaga), osposobljenost osoblja za obavljanje svojih poslova i zadataka te motiviranost za rad (plaće, napredovanja, pohvale i nagrade, društveni život i sl.).

Nema nikakve sumnje da je od triju ključnih zadataka upravljanja natapnim projektom, a to su raspodjela vode, održavanje sustava i razvoj površina pod natapanjem, u početnoj fazi rada natapnog sustava najvažniji razvoj (povećanje) površina pod natapanjem, a u završnoj raspodjela vode korisnicima. Dakako, održavanje natapne mreže mora kroz čitavo trajanje projekta biti na zavidnoj visini pažnje upravljačkog tima projekta.

U početnoj fazi razvoja natapanja na području natapnog projekta treba posvetiti posebnu brigu osposobljavanju poljodjelaca da primjenjuju sustave i opremu za natapnje te da se uvjere u korist što im natapna poljoprivreda donosi. Osnovna je briga upravljačke strukture i ostaloga tehničkog osoblja zaposlenog u natapnom projektu u prvoj fazi stvaranje uvjeta da se korisnici sustava prilagode novom načinu obrade svojih posjeda u uvjetima natapne poljoprivrede. S tim u vezi bit će ponekad potrebno organizirati i neke pomoćne službe kao što su nabava repromaterijala, marketing i sl., te kraće tečajeve za obuku.

U kasnijoj fazi pogona natapnog sustava (kada će se veći dio područja koristiti natapnom vodom) ključni problem upravljanja sustavom odnosit će se na raspodjelu vode. U to vrijeme najveći zahtjevi u pogledu kvalificiranosti i osposobljenosti upravljača da udovolje svojim obvezama odnosit će se na ove poslove:

a) Planiranje. Da bi se planiranje moglo obaviti na zadovoljavajući način, bit će nužno prikupiti i analizirati sve relevantne podatke o raspoloživim i potrebnim količinama vode, i to za cijeli vegetacijski ciklus. S tim u vezi potrebno je izraditi

odgovarajuće proračune vjerojatnosti osiguranja potreba i procjene rizika. Kod toga, s planskim proporcijama i nalazima, moraju se upoznati svi zainteresirani, od poljoprivrednika do najviših državnih dužnosnika.

b) Realizacija. Prilagođenje sezonskog plana pogona stvarnom stanju raspoloživih i potrebnih količina vode. Rezultate tog stanja treba priopćiti korisnicima. Da bi se taj dio posla mogao adekvatno realizirati, treba službenike natapnog projekta i korisnike sustava (poljodjelce) motivirati (putem nagrada i kazni).

c) Nadzor. Da bi se nadzor u radu sustava mogao adekvatno provesti, nužno je razviti jednostavan i učinkovit mehanizam prikupljanja informacija o svima bitnim parametrima pogona (gubici vode u mreži, potreba bilja za vodom itd.). Treba razviti kontrolni sustav rada osoblja na terenu (npr. točnost njihova prisustva na terenu, pouzdanost njihovih izvješća itd.).

### 12.6.2. Upravitelji

Upravljačka struktura natapnog projekta bitno ovisi o vrsti organizacije koja upravlja sustavom. Tako, ako natapnim projektom upravlja neki tip organizacije udruženih korisnika (vodna zadruga, vodna zajednica i sl.), upravljačka će struktura biti primjerena tom tipu upravljanja, ali će stručni tim (na čelu s tehničkim direktorom) biti specijaliziran za obavljanje određenih svakodnevnih stručnih poslova. Nasuprot tome, kod državnih natapnih projekata, rukovodstvo organizacije bit će prilagođeno i osposobljeno za realizaciju državnih ciljeva u toj domeni uz stalnu suradnju i vezu sa zainteresiranim poljodjelicima.

Prilikom izbora profesionalnih upravitelja pojavljuje se pitanje da li oni moraju biti kvalificirani u općoj administraciji ili pak uski specijalisti u području u kome rukovode. Ako su kvalificirani za usko područje djelatnosti, postavlja se pitanje: U kojem? - Hidrotehnici općenito, melioracijama, strojarstvu, ekonomici itd. Na to je pitanje obično dosta teško odgovoriti. Općenito uzevši, može se konstatirati da će u velikim poduzećima, posebno tamo gdje se obavlja veći broj aktivnosti (natapanje, odvodnja, ribničarstvo, proizvodnja električne energije, rekreacija, itd.) više odgovarati stručnjaci širokog spektra znanja i općenitije naobrazbe. Dakako u tom će slučaju takva osoba na čelu pojedinih poslovnih jedinica imati stručnjake koji su usko kvalificirani za te neke segmente vodoprivrednih djelatnosti. S druge pak strane kod manjih organizacija koje su uglavnom ograničene na dobavu i raspodjelu vode samo za potrebe natapanja poljoprivrednih površina, primjereni tip upravitelja trebao bi imati odgovarajuća znanja i kvalifikacije iz vodnog gospodarstva prilagođenoga natapanju, te odnosa sa korisnicima vode (poljodjelicima) te njihovim društvenim i gospodarskim problemima.

Velika vjerovatnost uspjeha osobe na položaju upravitelja ovisi o tome u kojoj je mjeri ona sposobna na primjeren način donositi odgovarajuće odluke. Najznačajniji preduvjeti za dobro upravljanje jesu:

- svrsishodno planiran i izgrađen natapni sustav;

- organizacijska struktura primjerena opsegu poslovanja i ciljevima projekta;
- jasno definirani i dobro planirani (razrađeni) ciljevi natapnog projekta;
- ciljevima primjeren i gospodarskoj aktivnosti prilagođen sustav upravljanja (struktura upravljanja, opis poslova i odgovornosti, informacijski sustav);
- politika zapošljavanja, princip nagrađivanja prema radu i doprinosa uspjeha poduzeća;
- adekvatan sustav financiranja bilo iz državnog proračuna bilo iz vodnog doprinosa ili kombinirano;
- učinkovita zakonska i pravna regulativa.

U procesu upravljanja veoma se često pojavljuje problem dokazivanja potrebe osiguranja odgovarajućih (dovoljnih) količina sredstava za adekvatno održavanje i razvoj natapnog sustava. Pod utjecajem korisnika tla, najčešće se nastoje osigurati sredstva koja za to nisu zadovoljavajuća i ne osiguravaju zahtijevani stupanj razvoja (modernizacije) koji je primjeren vremenu i tehnološku razvoju u kome se događaji razvijaju. Zato je jedan od ključnih zadataka upravitelja da uvjeri i državne organe i korisnike sustava (ovisno o tome o kojem obliku upravljanja je riječ) da se moraju osigurati sredstva primjerena realnim potrebama.

### *12.6.3. Značaj i sadržaj sustava upravljanja*

Nema nikakve dvojbe da je adekvatan upravljački sustav nužan za donošenje odluke u svakoj organizaciji. Posebno se to odnosi na organizacije koje se bave natapanjem poljoprivrednih tala, gdje se susreće veći broj aktivnosti za koje je nužno združeno programirati i sistematizirati donošenje odluka. Kod projekata koji se pretežno ili jedino financiraju iz državnih izvora (fondova, doprinosa i sl.), razvoj je učinkovitog sustava upravljanja jače izražen jer izostaje uobičajeni kontrolni mehanizam korisnika sustava: plaćanje usluge nakon obavljena posla. U takvim je slučajevima posebno važno da se ciljevi i prioriteti jasno definiraju i da se razviju specifični postupci i lako mjerljivi normativi i standardi kako bi upravljačko i izvršno osoblje na što jednostavniji i zadovoljavajući način izvršilo svoje zadatke.

Iz izloženoga je očito da je velik nedostatak svakoga natapnog projekta ako nema detaljno razrađen svoj upravljački sustav jer mu time nedostaje snažna upravljačka poluga za realizaciju svojih potencijalno mogućih ciljeva. Nadalje, upraviteljima treba osigurati širok prostor mogućnosti predlaganja i odlučivanja o poboljšanju postojeće strukture kako bi se ona stalno doradivala, poboljšavala i usavršavala. U posebnim slučajevima problem treba izložiti i odgovarajuću pomoć zatražiti od viših vlasti.

U osnovi, upravljački se sustav natapnog projekta dijeli u dvije osnovne skupine upravljačkih zadataka, i to:

- uputstva za rad i funkcioniranje sustava kao cjeline (uprave u užem smislu); i
- uputstvo i pravilo (normativi) za rad terenskih jedinica.



Kratak prikaz sustava upravljanja upravne jedinice dat će se u nastavku, a za terenske jedinice u jednom od idućih poglavlja.

U općem smislu upravljački sustav za programiranje i realizaciju zacrtanih ciljeva ustanove (projekata) može se podijeliti u tri osnovne faze, i to:

a) programirajući skup, koji se obično održava jedanput godišnje, i to u povodu izrade godišnjeg proračuna prihoda i rashoda, a kod nas se obično zove godišnja skupština. Na tom se skupu razrađuje i donosi program rada za iduću godinu s odgovarajućim fazama i prioritetima. Na njemu sudjeluju svi službenici koji su zaduženi za bilo koji dio poslova vezanih za programiranje. Osnovni elementi programa jesu:

- opis poslova i zadataka te odluka da se realiziraju;
- odluka o rokovima izvršenja svakog zadatka;
- donošenje ciljeva i pokazatelja izvršenja svakog zadatka;
- kontrola izvodljivosti i realizacije ciljeva.

Kao pomoćno sredstvo tijekom realizacije plana mogu se koristiti različite metode informiranja zaposlenih (i šire publike) što povećava njihov osjećaj odgovornosti, zainteresiranost i dr. Tome npr. mogu poslužiti razne oglasne ploče, bilteni, interne novine, skupovi, videosnimci i sl.

b) upravljački skup, koji se obično održava jedanput mjesečno, a kod nas je to obično sjednica upravnog odbora. Na njemu sudjeluju sve odgovorne osobe zadužene za pojedine poslove. Analizira se stanje realizacije programa radova i pojedinih faza te identificiraju uska grla i donose odluke za njihovo otklanjanje. Pojedinačno se razmatraju pojedini poslovi i problemi, na osnovi zaključaka godišnjeg skupa, te donose dopunske mjere za brzo i učinkovito usklađivanje planiranih ciljeva s potrebama realizacije. O sastanku se odmah napiše zapisnik ili neki drugi prikladni dokument koji služi i kao podsjetnik i kao obvezatni vodič svakom pojedincu koji je u upravljačkoj strukturi zadužen za izvršenje zaključaka sastanka.

c) radni sastanak užeg sastava upravljačke strukture, koji se obično održava jedanput tjedno (ili prema potrebi), a kod nas se obično naziva (stručni) kolegij. Cilj mu je da iz dana u dan prati realizaciju pojedinih dijelova programa ili da odlučuje neposredno o nastalim zadacima i poslovima, koji ne trpe odgađanje. Dakako, tu se donose i određene odluke koje odmah stupaju na snagu kako bi se rad uskladio s trenutnim potrebama i izbjegle moguće štete zbog trenutno nastalih problema.

Ta struktura upravljačkog sustava ima, bez daljnega, značajnih prednosti u odnosu prema tradicionalnome - administrativnom - upravljanju. Osnovne se prednosti očituju u aktiviranju, hrabrenju i podvrgavanju osjećaju odgovornosti svih službenika zaposlenih na realizaciji plana; stvaranju osjećaja važnosti i kod mlađih grupa službenika; boljoj suradnji među odjelima; jačanju autoriteta upravitelja itd.

Na kraju treba napomenuti da je opisana upravljačka struktura primjerena natapnim sustavima kojima se upravlja kroz državni upravni mehanizam, obično financiranih iz državnog proračuna ili paradržavnih izvora (fondovi, doprinosi i sl.). Međutim, na svijetu (a i kod nas) je bilo, a i sada je veći broj organizacijskih struktura temeljenih na zadružnim osnovama (vodne zajednice, vodne zadruge i sl.).

U takvim je prilikama nužno da adekvatan udio u upravljanju poduzećem imaju i predstavnici korisnika sustava bilo neposredno u upravnim tijelima poduzeća bilo na odvojenim skupovima. I u slučaju državnih natapnih poduzeća (javnih) bit će potrebno uspostaviti usku vezu između davalaca i korisnika usluga adekvatnom uspostavom zajedničkih tijela radi razmatranja i rješavanja problema od obostrane koristi.

#### *12.6.4. Utjecaj vodnog doprinosa na upravljanje*

Već je ranije istaknuto da jedna od značajnih prednosti što je neka udruga za natapanje ima u odnosu prema javnome natapnom projektu (državnome), koji je u cijelosti financiran iz državnog proračuna, jest u tome što se time animiraju poljodjelci da plate vodni doprinos, čime se poboljšava financijsko stanje poduzeća. Rezultat su toga povećana materijalna sredstva raspoloživa za plaće osoblja, što omogućuje stimulaciju za veće zalaganje u službi.

Kod udruga za natapanje veći dio prihoda organizacije prikuplja se putem naplate vodnog doprinosa odnosno prodaje vode po nekom od uobičajenih režima. Posljedica je takvoga upravljačkog odnosa davaoca i korisnika usluga da je osoblje udruge neposredno ovisno o svojim mušterijama, što ih potiče da im pružaju odgovarajuće usluge. Na taj se način stvaraju dopunski prihodi ne samo za povećanje plaća zaposlenih i ostale beneficije (premije, nagrade i dr.) već i povećana sredstva za reinvestiranje, modernizaciju i opremu. Time je krug potpuno zatvoren: zadovoljan klijent - osoblju više plaće i nagrade - dobra usluga - zadovoljan klijent.

Nasuprot tome, kod natapnih projekata kojima upravlja neka državna institucija, nema neposredne veze između stupnja zadovoljenja potreba natapanja dotičnog područja i njezinih prihoda (raspoloživih sredstava). U tom se sustavu sredstva doznaju po potpuno drugačijim kriterijima, primjerena budžetskom financiranju i najčešće nemaju neposredne veze s povećanjem poljoprivredne proizvodnje, zadovoljenjem potreba poljodjelaca i sl. Time je motivacija poljodjelaca potpuno isključena da uplatom višeg doprinosa dobiju bolju uslugu. To može izazvati više negativnih popratnih posljedica kao npr.: suprotstavljanje poljodjelaca da plate, odnosno da dozvole povećanje vodnog doprinosa, zahlađenje odnosa prema natapnoj organizaciji kao takvoj i sl.

Da bi se izbjegle i onemogućile naprijed navedene negativne pojave monopolskog položaja natapnih organizacija (a i drugih u vodoprivredi), bilo bi dobro razmisliti o uvođenju neke vrste konkurencije u njihovo poslovanje. S obzirom na karakter i način djelatnosti, to sasvim sigurno nije jednostavno. Neke bi od ideja mogle biti i ove: postignuti stupanj povećanja poljoprivredne proizvodnje, uštede vode (gubici dovoda i razvoda), ravnomjernost raspodjele vode i dr. U takvom bi slučaju država mogla uvesti financiranje s dvije kategorije proračunskih sredstava, i to osnovna i dopunska sredstva. Osnovna bi se sredstva osiguravala za minimalno pokriće troškova pogona

uz neke standardne parametre uspjeha, dok bi se posebna sredstva doznačivala na temelju mjerila i pokazatelja o uspješnosti poslovanja.

## 12.7. SLUŽBE NATAPNE ORGANIZACIJE

Dok su u prethodnim točkama ovoga poglavlja razmatrani problemi, tipovi i moguće vrste organizacija za razvoj i pogon natapanja koje se u svijetu najčešće i najviše primjenjuju te neki aspekti središnjeg upravnog ustroja, u nastavku će se ukratko prikazati moguća struktura pogonskih jedinica, odnosno službi tih organizacija.

Iz praktičnih razloga, osnovne organizacijske jedinice koje obavljaju određene stručne poslove i koje čine službe poduzeća, podijelit ćemo u ove četiri grupe:

- služba pogona,
- služba održavanja,
- služba tehničke pomoći; i
- administracija

To istovremeno ne znači da se i svako poduzeće mora sastojati od takve organizacijske sheme, već su jednostavno ovdje grupirani poslovi koji su međusobno najviše povezani, a poduzeće će načiniti svoj organizacijski ustroj u skladu s vlastitim potrebama i na način koji je uobičajen u tom kraju.

U nastavku će se za svaku od tih organizacijskih jedinica dati kratak prikaz vrste i opsega posla, uzimajući u obzir dosadašnja svjetska iskustva i primjenjujući princip da se daju samo najopćenitiji slučajevi rješenja.

Materija koja se obrađuje u nastavku primjerena je za veće natapne sustave, svakako veće od 2000 ha natapanih površina, pa to treba imati na umu prilikom korištenja tekstem. Iskustva i primjeri koji su poslužili kao podloga prilikom izrade teksta, uzeti su u najvećoj mjeri iz zemalja latinske Amerike i sredozemnog bazena, gdje su prilike relativno slične prilikama u našoj zemlji, pogotovo u obalnom području.

### *12.7.1. Služba pogona*

Veći je broj primjera na svijetu da su neki natapni sustavi propali, odnosno da su napušteni znatno ranije negoli bi se to očekivalo, a neki su čak napušteni i prije negoli su pušteni u pogon. Takvih primjera ima i kod nas. Zato ima veći broj uzroka, ali ovo su osnovni:

- nedostatak stručnog znanja pri planiranju, realizaciji i praćenju sustava;
- neadekvatno upravljanje (ljudski faktor);
- nedostaci u fizičkom dijelu sustava.

Što se tiče problema adekvatnoga kvalitetnog planiranja i održavanja sustava, o tome postoji opsežna literatura, a i u nastavku će o tome biti više riječi. U svakom slučaju, to je ključan problem, pa kod zemalja koje su na početku značajnijeg razvoja natapne poljoprivrede, najprije treba osigurati određenu stručnu literaturu i osposobiti kvalitetan stručni kadar, a tek onda započeti veće zahvate.

Ljudski je faktor, kao što je poznato, čest uzročnik lošeg poslovanja radne zajednice. Neadkvatni međuljudski odnosi među osobljem, izopačenosti, loša motiviranost za rad, trzavice među poljodjelicima i prema osoblju projekta - sve to može bitno minimalizirati radne učinke.

Nedostaci su u fizičkom dijelu sustava najčešće usko povezani, odnosno proizlaze iz loše izobraženog osoblja koje ga je projektiralo. Zato ta dva problema treba promatrati kompleksno i združeno rješavati. Ovdje treba istaknuti da je često veoma teško i skupo naknadno otkloniti neke fizičke manjkavosti u sastavu, pa o tome treba pravodobno voditi računa pri planiranju.

#### *12.7.1.1. Planiranje pogona*

Osnovni cilj koji mora ispuniti svaka služba pogona sastoji se u pravodobnoj isporuci natapne vode kulturnom bilju u količini koja će zadovoljiti trenutne potrebe. Da bi se ispunio taj cilj nužno je provestite radnje:

- izraditi plan pogona;
- taj plan realizirati; i
- pratiti realizaciju plana (kontrola: planirano - učinjeno)

Kao što je navedeno, cilj je planiranja usuglasiti zahtjeve i isporuku, odnosno da isporuka vode što manje odstupa od zahtjeva ili da razlike uopće ne bude. Pri tome, dakako, pojavljuje se veći broj mogućih slučajeva, ograničenja i odstupanja, ovisno o lokalnim prilikama i mnogobrojnim elementima sustava i natapne poljoprivrede.

U općem slučaju izrada natapnog plana (plan pogona, plan natapanja) provodi se u ovim trima glavnim koracima:

- procjena buduće potrebe za vodom,
- procjena potrebe za vodom za planirani plodored, i
- zadovoljenje opskrbe i zahtjeva.

##### *a) Procjena buduće opskrbe*

Ovaj dio plana može, ovisno o lokalnim značajkama, biti relativno jednostavan pa do jako složen. To u prvom redu ovisi o različitim lokalnim čimbenicima od kojih navodimo najznačajnije: karakteristike suhih i kišnih sezona, podrijetlo upotrijebljene vode, pouzdanost klimatskih podataka, veličine efektivnih oborina u sezoni i drugi. U praksi se pojavljuje velik broj mogućih slučajeva, od najjednostavnijih do najsloženijih.

Jednostavni ili lako rješivi problemi jesu u onim slučajevima kada se za natapanje koristimo vodom iz vodonosnika ili vodotoka sa znatno većim kapacitetom od potreba te ako se koristimo akumulacijom koja je tako dimenzionirana da u svim mogućim

realnim uvjetima može zadovoljiti nastupajuće potrebe. U svima je tim slučajevima raspoloživa količina vode poznata prije početka glavne natapne sezone.

Ipak, postoji veći broj slučajeva kada stanje nije tako jednostavno i lako rješivo jer ima veći ili manji broj nepoznanica ili neizvjesnosti. Tada, uprava projekta mora izraditi svoje proračune i projekte, i to na osnovi konzervativnih procjena, koristeći se obično vjerovatnošću oborina od 75-80 %. U mnogim se slučajevima može primijeniti i matematičko modeliranje temeljeno na solidnim klimatskim podlogama, čime se mogu definirati različiti stupnjevi mogućeg rizika. U svakom je slučaju, u takvim okolnostima dobro imati na raspolaganju neki alternativni plan, koji se po potrebi, može neposredno primijeniti. Dakle, umjesto strogo određenog plana, dobro je imati neku vrstu dinamičkog plana koji se može u svako doba primijeniti, odnosno prilagoditi novonastalim klimatskim promjenama. Dakako, za to su ponekad potrebne i solidne pripreme, među inim, o tome treba razgovarati i za to pripremiti korisnike sustava, odnosno poljodjelce.

*b) Procjena tekuće potrebe za vodom (za sezonu)*

U osnovi procjena potrebe za vodom za tekuću (nastupajuću) natapnu sezonu temelji se na planiranom (očekivanom) plodoredu i efikasnosti natapanja i pojedinog imanja i sustava u cjelini.

Prognoziranje rasporeda usjeva za nastupajuću natapnu sezonu može biti otežano, što ovisi o vrsti natapnog projekta, uobičajenoj strukturi sjetve, stanju i uvjetima na tržištu i drugim čimbenicima. Obično se problem može najjednostavnije riješiti kod projekta naseljavanja (kolonizacije) s integriranim upravnim mehanizmom, pri čemu vlada drži pod kontrolom gotovo sve gospodarske aktivnosti poljodjelaca. Kod nas takvih projekata nema, a najvjerovatnije ih neće ni biti u neposrednoj budućnosti. Ima više mogućih načina da se doskoči tom problemu kao što je utvrđivanje uže zone gdje se mogu uzgajati usjevi s visokom specifičnom potrošnjom vode, djelomična ili potpuna zabrana uzgoja takvih usjeva, progresivno povećanje vodnog doprinosa ovisno o veličini potrošnje itd. Dakako, plodoredi se mogu i potpuno slobodno formirati, u kom slučaju glavnu riječ imaju uobičajeni tržišni zakoni ponude i potražnje. Ako pak uprava natapnog projekta nema nikakve ingerencije na utvrđivanje rasporeda usjeva, odgovarajuće informacije treba pribaviti drugim sredstvima. Najčešće se to čini statističkom obradom prethodnih godina i analizom trenda u odnosu prema očekivanim cijenama za različite usjeve. Dakako, na temelju raspoloživih podataka o rasporedu usjeva pristupa se proračunu potreba za vodom za pojedina razdoblja: čitavu sezonu, po mjesecima, po dekadama u mjesecu te dnevne potrebe. Metode, formule i uputstvo za proračune te vrste obrađeni su u drugim svescima Priručnika.

Drugi dio problema o procjeni sezonske potrebe za vodom odnosi se na efektivnost natapanja. Efektivnost je veličina (mjera) o postotku vode koji se natapanjem dodaje bilju od ukupno zahvaćene na izvorištu. Dijeli se na više vrsta i stupnjeva, ali najčešće je rasčlanjujemo na dovodnu (u mreži) i natapnu (na polju). Detaljnije o tome vidi u drugim svescima Priručnika ili u odnosnoj literaturi. Efektivnost bi trebalo utvrđivati mjerenjem na svakom sustavu ili bar na nekom

pokusnom "poligonu" određenoga natapnog područja. Nažalost, mjerenih podataka ima relativno malo, ali ima dosta empirijskih podataka i uputa u odnosnoj literaturi, pa u pomankanju prvoga, treba se koristiti drugime (za nuždu, a ne kao pravilo).

*c) Zadovoljenje opskrbe i zahtjeva*

Nakon što su proračuni o raspoloživoj i potrebnoj količini vode dovršeni, počinje najteži dio posla: utvrditi mjere raspoložive i potrebne količine vode. Pri tome se mogu pojaviti tri karakteristična slučaja:

- natapne mreže kod kojih je raspoloživa količina vode veća ili bar jednaka zahtijevanoj;

- natapne mreže kod kojih se pojavljuje neznatni manjak vode; i

- natapne mreže s velikim vodnim deficitom

Dakako, najjednostavniji je i najpogodniji prvi slučaj, tj. kada je raspoloživa količina vode veća od potrebne. Međutim, i u takvim slučajevima ima problema, a jedan od osnovnih je da su takve mreže manje učinkovite. Najpovoljnije je stanje kada ima jedna relativno mala doza deficita. Slučajevi sustava s viškovima vode javljaju se kod velikih natapnih projekata čija gradnja ponekad traje i par desetaka godina, i to za vrijeme građenja jer, dok sustav nije gotov, potražnja je vode bitno manja od raspoloživosti. Jednako je kod nedovršenih sustava. Kod pravilno planiranih i adekvatno dimenzioniranih sustava, raspoloživa i potrebna količina vode moraju biti praktično jednake.

Statistike govore da najveći broj danas postojećih natapnih sustava na svijetu ima blagi vodni deficit. To obično iznosi između 10 i 20 % od raspoložive količine vode za natapanje. Taj deficit može biti programiran samo za sušne godine, odnosno nepovoljne vremenske uvjete, ili se može ponavljati svake godine. Dakako, pri tome se može provesti i određen stupanj optimalizacije manjka, tj. utvrditi do kojeg je postotka manjak "rentabilan", odnosno za koji su stupanj povećani troškovi građenja i pogona, za stanje da manjka nema, manji ili jednaki izgubljenom dohotku zbog smanjenja priroda. Ipak, iskustva pokazuju da takvi natapni sustavi najbolje maksimaliziraju dohodak uloženi u natapnu vodu.

Na svijetu ima velik broj natapnih sustava koji pokrivaju daleko veću površinu negoli imaju vode na raspolaganju. To se poglavito odnosi na Bliski istok i Indiju. Međutim, ti su sustavi uglavnom i planirani za takav način natapanja, koji često dosiže svega 50 % raspoloživih površina, pa se tlo natapa "u rotaciji", tj. naizmjenično svake druge godine ili po nekome drugom kriteriju. Mnogi su takvi sustavi planirani svjesno - iz socijalnog razloga - odnosno da se što većem broju poljodjelaca osigura kakva - takva egzistencija. Drugi su nastali kao rezultat krivih procjena potrebe kulturnog bilja za vodom i naročito različitih gubitaka u mreži. Kakav bio da bio uzrok takvu stanju, ti su projekti u pravilu niskoakumulativni i na teret društvu, pa se u mnogim krajevima danas nastoje rekonstruirati i osposobiti za standardno natapanje.

U slučaju značajnijega vodnog deficita, mogu se poduzeti izvjesne mjere koje će ublažiti to stanje, pa tada govorimo o restriktivnim mjerama za izravnjanje raspoloživih i potrebnih vodnih količina. Te se mjere odnose na:

- plodored (raspored usjeva)
- način natapanja (raspodjela vode)
- cijenu vode,

a moguća je i neka kombinacija među njima.

Što se tiče zahvata u domeni plodoreda, može se intervenirati u trima različitim pravcima, i to pomicanjem vremena sijanja - sadnje pojedinih usjeva, promjenom strukture usjeva u smislu zamjene za one s niskom potrošnjom vode i smanjenjem natapne površine. To su, u pravilu, najučinkovitije mjere za postizanje zadanog cilja, ali zahtijevaju značajne napore i ponekad su teško provedive. To se posebno odnosi na potrebu "pregovaranja" s korisnicima sustava koji će svim sredstvima nastojati zadržati svoje pozicije i ostvariti što više prava na dobivanje vode. Pomicanjem vremena sadnje može se bitno smanjiti vršna potrošnja, što kod nas obično nastupa između 15. srpnja i 15. kolovoza, a traje obično 2-3 tjedna. Promjena je strukture usjeva također veoma učinkovita mjera za smanjenje potrošnje. Pri tome treba paziti da kulture koje se zamjenjuju moraju biti sličnih značajki. Tako se npr. može zamijeniti lucerna djetelinom, kukuruz prosom itd. I, konačno smanjenje je natapne površine najradikalnija mjera za smanjenje zahtjeva, ali ju je i najteže provesti. Pri tome se, formalno, obično ne smanjuje natapna površina, već količina natapne vode, a na poljodjelcu je da sam to učini ili da ide u rizik očekujući vlažniju sezonu.

Reguliranje deficita izmjenom načina raspodjele vode može se provesti na dva načina, i to: smanjenjem količine isporučene vode i promjenom načina natapanja. Mjere za smanjenje isporučene količine vode mogu, također, biti raznovrsne: od selekcioniranog natapanja (natapanje samo vrednijih kultura - voće, povrće, rasadnici i sl.), zatim proporcionalno smanjenje količine po pojedinom natapanju pa sve do smanjenja broja natapanja. Dakako, svi ti slučajevi imaju različite aspekte i varijante, pa ih je sve i teško opisati. U praksi se najviše primjenjuje metoda povećanja razmaka između dvaju uzastopnih natapanja; npr. ako je planirano natapanje (vršno) svakih 10 dana, a raspoložive se s 50 % raspoložive vode, onda se izvodi svakih 20 dana. To je ujedno i najjednostavniji način reguliranja. Primjena principa promjene načina natapanja obično se jako teško ostvaruje jer zadire u fizičke elemente sustava, koje je teško i skupo mijenjati, a i problemi se javljaju s korisnicima sustava koji su se "specijalizirali" za određeni način, ali je to jako interesantan način jer bi omogućio znatne uštede vode.

Teoretski, cijena vode morala bi biti jedna od osnovnih regulativa potrošnje, tj. što je cijena viša, to je potrošnja niža. Da bi se poljodjelac držao toga principa, on bi morao imati neka osnovna znanja o odnosu voda-biljka i tada odlučiti. To najčešće nije tako, pa je ta mjera marginalnog značaja (bar u praksi), jer se zaobilazi na najrazličitije načine. Osim toga, da bi se mogla uopće primijeniti, na mreži moraju postojati uređaji za mjerenje količine vode, što opet najčešće nije slučaj.

#### *12.7.1.2. Raspodjela vode*

U osnovi postoje tri temeljne metode raspodjele vode ili, kako se kod nas često navodi, metode o načinu pogona, a to su: na zahtjev, u turnusu ili kontinuirano.

Međutim, s obzirom na različite aspekte primjene pojedinih metoda, one poprimaju različite, više ili manje zaokružene, cjeline pa se tako najčešće svrstavaju u ovih šest grupa:

- na zahtjev; voda stoji na raspolaganju korisniku čim se otvori hidrant i može je koristiti neovisno o utrošenoj količini i u svako doba. Obično se plaća po m<sup>3</sup>.

- na poluzahhtjev; voda je na raspolaganju korisniku nekoliko dana nakon zahtjeva (najčešće 2-7) i obično je isporučena količina po hektaru ograničena.

- kanal u turnusu, a zahtjev slobodan; sekundarni kanali primaju vodu u turnusu (npr. svakih 7 dana), a kada imaju vodu, poljodjelci mogu natapati kako žele i koliko žele.

- u turnusu (rotaciji); sekundarni kanali dobivaju vodu u turnusu, a poljodjelci po točno određenom rasporedu i u ugovorenoj količini (kalendar natapanja).

- kontinuirano; kroz čitavu vegetacijsku sezonu polje dobiva određenu, stalnu i kontinuiranu količinu vode, koja odgovara dnevnoj evaporaciji. Taj je tip primjeren natapanju rižišta.

Kao što je već ranije spomenuto, metode raspodjele vode ovise o projektu natapne mreže, iako ima i nekih izuzetaka tako da je sustav teško mijenjati kad je već jednom uspostavljen. U nastavku će se ukratko opisati svaka od tih metoda.

#### *a) Na zahtjev*

Ova je metoda primjerena sustavu baziranu na visokorazvijenoj tehnologiji, pretežno u automatskom radu. Učinkovitost je takva sustava veoma visoka (do 90 %). Razvodne i natapne mreže izgrađene su uglavnom od podzemnih - ukopanih cjevovoda s teledirigiranim regulacijskim i ispusnim organima kojima se upravlja iz upravnog ili dispečerskog središta. Zaposlenog osoblja ima jako malo, ali je visokokvalificirano. Osnovna prednost takva sustava jest u tome što omogućuje isporuku vode u bilo koje vrijeme (kada je najprikladnije i najpotrebnije), a osnovni je nedostatak što je to najskuplji i najsloženiji način. Taj je tip primjeren društvu visokorazvijene tehnologije, pa se preporučuje za visokorazvijene zemlje.

#### *b) Poluzahhtjev*

Ovo je, vjerojatno, metoda koja se u praksi najviše primjenjuje. Procedura se sastoji u ovome: poljodjelac zatraži od vodara da mu isporuči vodu; taj prikuplja podatke i od ostalih zainteresiranih korisnika sa svog poteza kanala pa, na kraju, sređene podatke dostavlja svom pretpostavljenome - nadzorniku; nadzornik, ili sam ili putem određene službe, provede potrebne proračune i analize te utvrdi točno vrijeme isporuke i - sada, obrnutim redom, informacija se vraća natrag do korisnika.

Količina vode koja se - godišnje i po natapanju - isporučuje natapnom polju, obično je unaprijed utvrđena i fiksna. Također je ograničen i ukupan broj natapanja godišnje te minimalan razmak između dvaju sukcesivnih natapanja. Dakako, uobičajeni prioritet moraju imati oni koji su najdulje bez vode, odnosno čiji je razmak između dvaju sukcesivnih natapanja najveći.

Iz onoga što je izloženo vidi se da je u tom slučaju ključni faktor, odnosno ključna osoba, vodar i eventualno njegov pretpostavljeni. Zato na to treba obratiti nužnu



pozornost i na takva mjesta postavljati osobe od autoriteta među okolnim stanovništvom kako problemi ne bi nastajali od neadekvatnih i subjektivnih prosudbi.

*c) Kanal u turnusu, a zahtjev slobodan*

Ovaj se slučaj uglavnom pojavljuje kada glavnim i sekundarnim kanalima upravlja neki javni natapni sustav, a poljodjelci sami, kako to žele, ili prema nekome svome internom sporazumu uzimaju vodu i natapaju.

Osnovna je značajka takva sustava da radi u turnusima, tj. određeni broj dana ima vode pa svi natapaju, zatim isto tako na određeni dan nema vode pa nitko ne natapa. Klasičan je primjer takva pogona u gornjem Egiptu, gdje su svi kanali podijeljeni u dvije skupine, A i B. Kanali A imaju vodu u trajanju od 7 dana i tada svi vlasnici na tom potezu natapaju bez ograničenja. Nakon toga su kanali A sedam dana bez vode, a natapanje se obavlja na površinama kanala B itd.

Trajanje je turnusa obično teško odrediti, pogotovo ako ima veliki broj kultura. Najčešće je to odraz lokalne tradicije. Iz onoga što je izloženo vidi se da je taj tip pogona jako jednostavan i obično bez većih pogonskih problema, ali je, nažalost, povezan s velikim gubicima i niskom učinkovitošću. Naime, kanali su u pogonu, po određenom rasporedu, bez obzira na to tko, koliko i kada natapa. Relativno jednostavno, bez većih investicija, ali uz čvrst i konzistentan raspored natapanja, takvi se sustavi mogu dovesti u stanje da im se učinkovitost bitno poveća.

*d) U turnusu*

Prema ovoj metodi, cijeli sustav prima vodu u određenim turnusima, a korisnici dobivaju vodu na razvodnicima trećeg reda u točno određenoj količini i vremenu. To je, zapravo, razvijeniji oblik slučaja opisanoga pod c. Visoko je učinkovit i društveno pravedan jer svima daje vodu pod jednakim uvjetima.

Ima nekoliko varijanti ove metode, i to:

- voda se dijeli korisnicima tijekom čitave sezone u jednakim vremenskim razmacima i u uvijek jednakoj količini, bez obzira na vrstu usjeva i promjene potrošnje;

- voda se dijeli korisnicima u turnusima različita razmaka - duljima na početku i kraju i kraćima na sredini sezone, ovisno o potrošnji bilja. Količina koja se isporučuje uvijek je jednaka;

- voda se isporučuje bilju tijekom sezone tako da se i trajanje turnusa i količina vode koja se isporučuje, mijenjaju tijekom godine, ovisno o realnoj evapotranspiraciji.

Prva je metoda najjednostavnija i najlakša za primjenu, daje razumne vrijednosti učinkovitosti i najviše se primjenjuje. Zadnja je metoda, teoretski gledano, najkvalitetnija, dosta složena za primjenu, uz moguće zloupotrebe, pa se u praksi i najmanje upotrebljava.

*c) Kontinuirano*

Tipičan primjer primjene metode kontinuiranog natapanja, odnosno neprekidnog tečenja vode na natapno polje, nalazimo kod najvećeg broja rižinih polja. Voda, u pravilu, dotječe u gornji (uzvodni) dio doline ili polja, potapa i opskrbljuje vodom jednog za drugim bazene za potapanje, prelijevajući se iz jednog u drugi, sve do

kraja, i konačno, ako je ima previše, ponovno otječe u vodotok. Taj se proces odvija kroz čitavu vegetacijsku sezonu (120-150 dana), a dubina vode u bazenima ovisi o uzrastu bilja - na početku je oko 5 cm, a na kraju do 30 cm. Neprekidan dotok pokriva sve gubitke vode u bazenima koji se sastoje od evapotranspiracije i poniranja.

Ova je metoda natapanja jako jednostavna i jako neučinkovita. Ogromne se količine vode troše na isparavanje i poniranje, ponekad znatno veće negoli na transpiraciju, pa je primjerena za područja bogata vodom uz minimalnu cijenu dopreme. Da bi se koliko - toliko smanjili gubici i povećala učinkovitost upotrebe vode, u područjima s nedostatnim količinama vode uvedeno je tzv. intermitentno natapanje rižišta, odnosno natapanje s prekidima. Sastoji se u tome da se polje drži određen broj dana potopljeno, a zatim je određen broj dana bez vode itd. Na taj se način može bitno smanjiti utrošak vode. Ova metoda ima i neke druge pozitivne učinke, npr. sprečavanje razvoja nekih bolesti tipičnih za močvarna područja.

#### *12.7.1.3. Praćenje pogona (monitoring)*

Ovo je izuzetno značajna i važna služba, pa je, kod većih natapnih sustava, treba planirati kao posebnu jedinicu u okviru službe održavanja. Njezini se zadaci mogu grupirati u dvije skupine, i to:

- kratkoročni: praćenje sezonske strukture raspodjele vode uz analiziranje uzroka za odstupanja od ranije planiranih veličina, i
- dugoročni: prikupljanje višegodišnjih podloga o veličini, rasporedu i strukturi potrošnje koja će poslužiti za planiranje i projektiranje (rekonstrukciju) idućih faza sustava u dotičnoj regiji.

Osim navedenih poslova, ta jedinica obično priprema i godišnje izvješće o provedenom natapanju, godišnji plan natapanja. Svi podaci koji se unose u te dokumente, moraju se provjeriti, kako bi se sa sigurnim elementima ušlo u nova planiranja.

Ponekad, ta jedinica upravlja i agrometeorološkom postajom (kod većih sustava). Ako je to u nadležnosti meteorološke službe, ona se brine da pravovremeno te podatke nabavi.

#### *12.7.1.4. Osoblje službe pogona*

Da bi služba pogona mogla obavljati svoju funkciju na zadovoljavajući način, mora biti popunjena odgovarajućim osobljem. Broj i stručna sprema osoblja bitno varira od slučaja do slučaja i, u najvećoj mjeri, ovisi o tehničkim značajkama natapnog sustava te o društvenom statusu poljodjelaca (obrazovanje, veličina posjeda i dr.). Vrsta i broj građevina na dovodnoj i natapnoj mreži te razvijenost prometnih i telekomunikacijskih mreža, također su od velika značaja za dimenzioniranje radnih mjesta.

Općenito uzevši, služba pogona ima ova radna mjesta:

- vodare,
- voditelje većih građevina (zahvata i ustava na branama i većine kanala),

- voditelje crpnih postaja,
- nadzornike vodara,
- voditelja službe pogona, i
- pomoćno osoblje (vozači, službenici i dr.)

*a) Vodari*

Vodari, čuvari voda ili neki drugi lokalni naziv, oznaka je za osoblje koje je od najveće važnosti u sklopu osoblja službe pogona bilo kojega natapnog projekta. Oni čine najbolju i najneposredniju vezu između uprave i poljodjelaca (korisnika sustava) u natapnom projektu. Moraju biti savjesni i poštteni i, po mogućnosti, bez posjeda u natapnom perimetru.

Osnovni poslovi i zadaci vodara jesu:

- raspodijeliti i nadzirati dotok vode korisnicima,
- otvaranje i zatvaranje ustava i hidranata,
- zaprimanje zahtjeva za vodu (gdje je planirano),
- priprema dnevnih iskaza potrebe za vodom,
- dostava dnevnih iskaza nadzorniku vodara,
- nadzor nad kanalima i ustavama i onemogućivanja nekontrolirane upotrebe vode,
- dostava računa za vodni doprinos (ako treba).

U mnogim natapnim sustavima vodari služe i za neke druge poslove, poglavito izvan natapne sezone. Ti se poslovi obično sastoje od čišćenja kanalske i cijevne mreže, manjih popravaka - posebno ispusta i zapornica te obnavljanja službe radnika.

Za vodara može se imenovati osoba koja ima završenu osnovnu školu i odgovarajuće znanje i iskustvo u natapanju i obradi zemlje.

Potreban broj vodara za određenu natapnu površinu bitno varira od slučaja do slučaja, a posebno ovisi o veličini natapnih imanja, prijevoznim uvjetima, mogućnostima pristupa, konfiguraciji sustava i drugim uvjetima. U prosjeku, za natapnu površinu od oko 5.000 ha i za raspodjelu na poluzahatjev, ovisno o veličini imanja, taj broj varira od 5 do 10 (5 kod jako velikih, a 10 kod malih), i nešto se povećava kod raspodjele u turnusu, a bitno se smanjuje kod kontinuiranog natapanja.

*b) Voditelji većih građevina*

Pogon glavnih natapnih kanala, većih zahvatnih građevina i većih sekundarnih kanala zahtijeva odgovarajuće voditelje za rukovanje uređajima za regulaciju protoka. Voditelji pogona glavnih natapnih kanala zaposleni su najčešće na principu 8 kroz 24 sata (zapravo su stalno u službi) pa zbog toga treba da su nastanjeni na mjestu službe (službeni stan) i da su prikladnom vezom spojeni s glavnim uredom. Prikupljene informacije s terena o potrebi za natapnom vodom, vodari dostavljaju u središnji ured, odakle se potom nalozi o veličini protoka dostavljaju voditeljima pogona pojedinih kanala i ostalih građevina.

Osnovni poslovi i zadaci voditelja građevine jesu:

- bilježiti vodostaje u kanalu, rijeci ili akumulaciji,
- prenijeti te podatke središnjem uredu,
- upravljati uređajima prema nalogima iz središnjeg ureda,

- prikupljati podatke od nadzornika vodara (eventualno) o potrebi za vodom i dostavljati ih središnjem uredu,

- izvještavati središnji ured o eventualnim kvarovima,
- nadzor o funkcioniranju povjerenoga mu sektora kanala.

Trebalo bi da osoba na radnome mjestu voditelja građevine ima srednju stručnu spremu i neku, bar osnovnu, naobrazbu iz tehničke struke.

Prema iskustvu, jedna je osoba dovoljna za nadzor 10 do 15 km glavnoga natapnog kanala što, dakako, ovisi o broju građevina i uređaja na tom potezu. Također je, obično, dovoljno da je na zahvatu vode i na ustavi neke akumulacije zaposlen po jedan radnik.

#### *c) Voditelji crpnih postaja*

Ako potrebnu količinu vode treba dizati - tlačiti na određenu visinu, nužno je imati voditelje crpnih postaja. To posebno vrijedi kod korištenja podzemnih voda, vode iz niželežćih vodotoka ili akumulacija i u drugim, sličnim slučajevima. Kako o kvalitetnom radu crpnih postaja ovisi pogon cijeloga natapnog sustava, tom problemu treba posvetiti posebnu pažnju. Zato to osoblje treba pomno odabrati i pripremiti i raznim mogućnostima zarade i napredovanja stimulirati njihov kvalitetan rad.

Opis poslova:

- uključivati i isključivati strojeve i motore,
- brinuti se da strojevi rade pod najpovoljnijim uvjetima,
- obavljati uobičajeno održavanje uređaja,
- redovito bilježiti raspoloživi protok izvorišta,
- po potrebi - voditi evidenciju o korištenju crpke za pojedinog poljodjelca,
- brinuti se o raspoloživosti goriva i maziva.

Voditelj crpne postaje mora imati srednju stručnu spremu, i to strojarskog ili elektro usmjerenja. Ako to nije moguće osigurati, onda te osobe moraju proći kraći tečaj izobrazbe u toj struci.

Uobičajeno je da svaka crpna postaja ima po jednog voditelja za svaku smjenu od 8 do 10 sati. Poželjno je da se crpne postaje automatiziraju u kojem je slučaju dovoljno da jedan voditelj bude zadužen za grupu crpnih postaja.

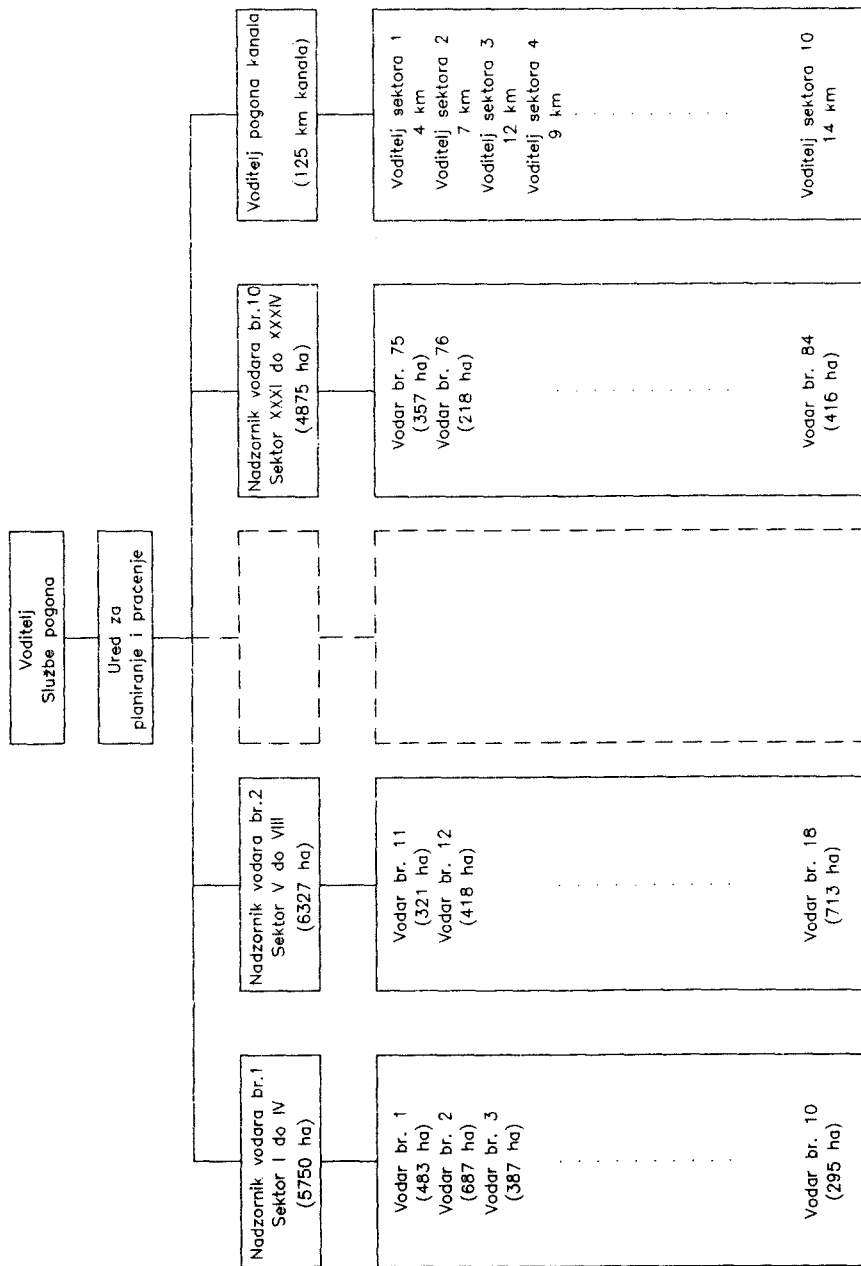
#### *d) Nadzornici vodara*

Ova je kategorija službenika potrebna jedino ako je broj vodara veći od 10-15. Inače poslove nadzornika vodara obavlja neposredno voditelj službe pogona.

Opis poslova:

- prikuplja zahtjeve za vodu od vodara,
- prenosi te zahtjeve voditelju službe pogona,
- koordinira, zajedno s voditeljima pogona kanala, upravljanje glavnim zapornicama,
- prenosi naloge vodarima od voditelja službe pogona,
- nadzire poslove vodara.

Za vrijeme mrtve sezone (zimi), nadzornik vodara obavlja dužnost predradnika, odnosno poslovođe na radovima održavanja i popravaka sustava.



Sl. 12-7 Tipična shema službe pogona

Odgovarajuća bi stručna sprema za ovo mjesto trebala da bude završena srednja stručna škola i radno iskustvo od barem pet godina.

Broj zaposlenih ovog profila bitno varira od slučaja do slučaja, ali se općenito kreće jedno radno mjesto na 5 do 10 vodara. Pri tome je bitno istaknuti da se voditelj vodara raspoređuje na neku hidrotehničku cjelinu, odnosno na jedan ili više natapnih kanala.

#### *e) Voditelj službe pogona*

Voditelj službe pogona ili, kako se negdje još zove, nadzornik natapanja, odgovoran je za rad cijelog sustava ili, u slučaju velikih površina, jedne njegove pogonske cjeline. Njegov je osnovni zadatak prikupiti podatke vodara o neposrednoj potrebi za vodom, obraditi ih i dati potrebne naloge da se ti zahtjevi realiziraju.

Opis radova:

- priprema godišnjega natapnog plana,
- izrada godišnjeg izvješća o izvršenim radovima,
- priprema godišnjega kalendara natapanja,
- opći nadzor pogona natapnog sustava,
- nadzor nad poljodjelicima u vezi s pridržavanjem pravila pogona,
- briga o troškovima pogona,
- briga za opskrbu materijala potrebnih za neometani pogon.

Ako je služba pogona i održavanja jedinstvena, što je čest slučaj, tom opisu poslova treba dodati i opis koji se odnosi na održavanje sustava.

Kandidat za to radno mjesto mora biti diplomirani inženjer građevinarstva, hidrotehničkog usmjerenja, s dobrim poznavanjem odnosa tlo - voda - biljka i hidrotehničkih građevina. Mora imati bar pet godina prakse u vodoprivredi, posebno u hidrotehničkim melioracijama.

Takvo se radno mjesto osniva za srednje ili velike natapne sustave (od 2 do 50 tisuća ha), odnosno ako je sustav većih dimenzija, onda za svaku cjelinu od 30 do 40 tisuća ha. Nasuprot tome, u malima natapnim sustavima (manji od 2.000 ha), te poslove može obavljati nadzornik vodara.

#### *f) Pomoćno osoblje*

U pomoćno se osoblje obično ubrajaju vozači, knjigovođe, tajnici, administrativno osoblje i sl. Njihov broj treba biti sveden na najmanju moguću mjeru. Najčešće se te službe organiziraju na razini poduzeća, odnosno za održavanje, razvoj i drugo.

### *12.7.2. Služba održavanja*

Kao i ostale hidrotehničke i druge građevine, natapni se sustavi grade za dugovječnu upotrebu. Iako je njihov projektni vijek trajanja, ovisno o vrsti, planiran s 30, 50 ili 100 godina, svjedoci smo da mnoge građevine za tu namjenu traju mnogo dulje, ponekad čak stotine ili koju tisuću godina. Nažalost, često se događa obrnuto stanje: građevine stare kojih desetak godina jedva se mogu kao takve i raspoznati.

Kanali zasipani nanosom i obrasli vegetacijom, te razne naprave na njima u lošim pogonskim uvjetima, jedva mogu osigurati kakav - takav dovod vode - često daleko od projektiranih količina. Tome je razlog neadekvatna služba održavanja, što vrlo često kompromitira i samo postojanje natapnog sustava i dovodi korisnike sustava u frustrirani i nepovoljan položaj s obzirom na mogućnosti koje su znane i učinkovite.

Veći broj natapnih sustava u Španjolskoj, Italiji, Egiptu, Pakistanu, Kini i u mnogim drugim krajevima, koji su u pogonu s više-manje prvobitnim kapacitetom već više stotina godina, primjer su kako natapni sustavi mogu sačuvati svoju prvobitnu učinkovitost ako se njima adekvatno upravlja i ako se pravilno održavaju.

Ima veći broj razloga zbog čega se neki natapni sustavi neadekvatno održavaju, ali osnovni su ovi:

- nedovoljna sredstva koja dobiva služba održavanja sustava,
- neadekvatna politika zemlje prema poljoprivredi (natapanju),
- loša organizacija upravljanja sustavom,
- nezainteresiranost poljodjelaca za sudjelovanje u podnošenju troškova održavanja i za natapanje uopće.

U nekim slučajevima (napose kod natapnih kanala - obloženi - neobloženi) primjena rješenja nižeg stupnja tehnologije istovremeno znači i veći trošak za održavanje mreže, što je opet, s druge strane, u slabo razvijenim zemljama teško osigurati. Prema tome, i u zemljama trećeg svijeta, odnosno u razvoju, postavlja se pitanje da li se isplati graditi jeftine (nižeg stupnja tehnologije), koji zahtijevaju visoku stopu održavanja, ili skupe (višeg stupnja tehnologije), čija je stopa održavanja niža.

### *12.7.2.1. Poslovi službe održavanja*

Nema nikakve dvojbe da je osnovna zadaća službe održavanja da osnovne značajke sustava (kapacitet, učinkovitost i dr.) kroz dugi niz godina održi u okvirima koji su programirani planskim i projektnim dokumentima, odnosno koji su utvrđeni prilikom puštanja projekta u pogon.

Osnovne funkcije službe održavanja jesu:

- planiranje poslova održavanja,
- realizacija planiranih i neplaniranih poslova,
- praćenje navedenih aktivnosti.

Planiranje aktivnosti na poslovima održavanja obavlja se, kao i u drugim područjima, u tekućoj za iduću godinu. U zemljama gdje se sredstva za tu namjenu osiguravaju iz državnog proračuna, drugi način osiguranja sredstava za te radove i nije moguć jer je, kao što je poznato, sve podređeno takvima planskim dokumentima i podložno proceduri odobravanja koja je obično dugotrajna.

Realizacija planiranih radova provodi se u dvije faze, i to: hitni radovi koji ne trpe odlaganje i o kojima ovisi provedba natapnog plana, obavljaju se čim se pojavi oštećenje (popravak ustava, ispusta i sl.), dok se ostali - redoviti radovi održavanja (čišćenje mulja u kanalima, ličenje metalnih dijelova, rekonstrukcija i sl.) obavljaju izvan sezone natapanja, kada je mreža prazna i kada ima više i jeftinije radne snage na raspolaganju.

Služba praćenja, odnosno vođenje evidencije o utrošenim sredstvima u ranijim godinama, nužna je podloga za pravilno planiranje u budućnosti. Stoga tu službu treba adekvatno organizirati i poslove redovno obavljati.

#### 12.7.2.2. Vrste održavanja

U osnovi, postoje tri vrste (tipa) održavanja, i to:

- standardno, koje se sastoji u tome da se sve građevine, oprema i cijeli sustav održavaju u uobičajenom stanju kako bi se održale pogonske značajke sustava. Provodi se više - manje na jednak način svake godine;

- posebno, koje se odnosi na nepredvidive radove, koji se mogu pojaviti tijekom godine zbog iznimnih vremenskih pojava ili drugih događaja (npr. poplave). Ako su na razmatranom području te pojave učestale, onda je preporučljivo da se ustanovi poseban rezervni fond za tu namjenu;

- izuzetno, kada se naknadnim radovima želi poboljšati neka bitna značajka sustava (npr. povećanje protoka u kanalima) te je uskladiti s planiranim vrijednostima kako bi se zadovoljile tekuće potrebe. To bi se moglo nazvati i rekonstrukcija (engleski: rehabilitation).

#### 12.7.2.3. Radovi održavanja

Svi radovi koje je dužna obavljati služba održavanja moraju biti adekvatno opisani u pravilniku o održavanju natapnog sustava. Naime, u raznim zemljama postoje različiti naslijeđeni pristupi toj problematici. Ponegdje se ti radovi odnose samo na natapni sustav, dok se drugdje prakticira da služba održavanja pokriva i odvodnu mrežu pa čak i poljske putove i obranu od poplava (održavanje nasipa).

Mi ćemo u nastavku ukratko prikazati samo one radove održavanja koji se odnose na natapnu mrežu, grupirane kako slijedi:

- akumulacije i brane,
- natapna mreža, i
- crpne postaje.

##### a) Akumulacije i brane

Radovi su održavanja u akumulacijama obično malog opsega i zahtijevaju relativno niske troškove. Uglavnom se svode na ovo:

- nadzor akvatične vegetacije;
- uklanjanje krupnih plivajućih predmeta (obično stabala i panjeva) koji bi mogli oštetiti hidromehaničku opremu;
- praćenje kvalitete vode, posebno biološke komponente, kako bi se na vrijeme mogla otkriti eventualna pojava i izvor zagađenja;
- praćenje dotoka nanosa u pojedine dijelove akumulacije.

U našim klimatskim prilikama razvoj vodene vegetacije obično ne čini velike probleme jer je ograničen na samo nekoliko vrsta (šas, trska), i to u rubnim dijelovima jezera, odnosno tamo gdje je voda plitka. Međutim, u toplijim područjima



(subtropska i tropska klima) to može biti značajan problem jer, među ostalim, troši na evapotranspiraciju velike količine vode.

Druga pojava, koja je česta u akumulacijskim jezerima, jest eutrofikacija, što se manifestira u povećanim količinama hranjivih elemenata (dušik), a bitno utječe na razvoj močvarnog bilja. Ta je pojava veoma značajna ako se voda upotrebljava za opskrbu stanovništva, a pri natapanju ima negativan učinak jer pospješuje rast korova u kanalima.

Kod betonskih su brana radovi održavanja minimalni i ograničeni na održavanje (podmazivanje i ličenje) metalnih dijelova te čišćenje raznih otpadaka i nanosa. Zemljane brane zahtijevaju nešto veće troškove održavanja jer treba čistiti vegetaciju na uzvodnom pokosu te održavati zeleni pokrivač na nizvodnome. Dakako, na branama je još i hidromehanička oprema (razni strojevi i motori) koja zahtijeva odgovarajuće održavanje, za što je potrebno osoblje odnosne specijalizacije.

#### *b) Natapna mreža*

Natapna mreža može se sastojati ili iz otvorenih kanala ili iz podzemnih cjevovoda. U nastavku ćemo razmotriti probleme održavanja samo kod otvorene (kanalske) mreže, pri čemu su moguća dva rješenja: obloženi i neobloženi kanali, pa ćemo ih tako i opisati. Obloženi kanali imaju u najvećem broju slučajeva betonske obloge, pa će se one i prikazati. Treba istaknuti da se danas u svijetu uglavnom ne grade nove natapne mreže iz neobloženih kanala, već dapače, neprekidno se stare mreže iz zemljanih kanala rekonstruiraju tako da se oblažu.

Kanali obloženi betonskim oblogama traže uglavnom niske troškove održavanja. Zapravo, jedan od razloga za oblaganje kanala, osim gubitaka vode na poniranje, jest i smanjenje troškova održavanja, koji su, kod zemljanih kanala, višestruki. Glavni radovi održavanja betonskih kanala jesu: popravak (zamjena) dilatacijskih spojeva i oštećenih ploča, čišćenje korova i nataloženog mulja te održavanje naprava za manipuliranje vodom. Kod pravilno projektiranih natapnih sustava, količina nataloženog mulja trebala bi biti minimalna, pogotovo ako je sustav opskrbljen odgovarajućim taložnicama i ako su brzine vode u kanalima primjerene. Inače, uklanjanje je mulja obično skupo jer se najčešće nije moguće koristiti mehanizacijom zbog opasnosti od oštećenja obloge. Jedna od mjera za uklanjanje mulja može biti i ispiranje, za što treba u kanalu uspostaviti maksimalni mogući vodostaj.

Osnovni su problemi pri održavanju zemljanih kanala zamuljivanje i rast akvatične vegetacije. Taloženje nanosa (mulja) može se ubrzati lošim projektnim rješenjima (niske brzine, izostalo prethodno taloženje, loša rješenja krivina i čvorova i dr.), neodgovarajućim održavanjem i pogrešnim pogonskim odlukama (ispiranje iskopanoga nanosa kišom, goli pokosi, nepokošena vegetacija i dr.). Rast vegetacije u kanalima ne može se spriječiti, ali se odgovarajućim mjerama i pravilnim održavanjem može smanjiti. Ima više grupa vegetacije koje se najčešće pojavljuju u kanalima, ali se u to ovdje neće ulaziti, već se čitalac upućuje na peti svezak Priručnika iz prvog kola. Ovdje treba istaknuti da nekontroliran rast vegetacije u kanalima ne samo da čini štetu natapnom sustavu već u nekim slučajevima može ugroziti i poljodjelce, jer se zaraza putem vode može prenijeti i na obrađena polja.

Osim tih problema, u zemljanim se kanalima mogu pojaviti pojačani gubici na poniranje prouzročeni nekim životinjama (miševi, štakori, mravi i dr.) te pojačana erozija pokosa zbog naglog pražnjenja ili ispiranje kišom kada se kanali, izvan sezone, ostavljaju prazni. Dakako, u natapnom perimetru mogu se pojaviti i drugi problemi koji utječu na ispravnost kanala: napasanje ili napajanje stoke, prijelaz divljih životinja i drugo, pa prema tome, u skladu s uočenom pojavom, treba poduzeti odgovarajuće mjere zaštite.

#### *c) Crpne postaje*

Na natapnim se sustavima obično planiraju dvije vrste crpnih postrojenja: osnovne visokotlačne crpne postaje za dizanje vode iz podzemnih vodonosnih horizonata ili površinskih izvorišta bilo neposredno u kanalsku mrežu ili u neki akumulacijski bazen te tzv. *buster* crpke, koje služe za dodatno dizanje vode u dovodnoj ili razvodnoj mreži. U novije vrijeme, kada se mnogi natapni sustavi, prvobitno planirani za pogon površinskim načinima, rekonstruiraju u sustave za natapanje kišenjem ili lokaliziranim načinom, ugrađuju se crpne postaje s visokotlačnim crpkama da bi se proizveo odgovarajući tlak za pogon opremom tih načina. U tom se slučaju voda tlači ili u neku vodospremu na povišenom mjestu (često vodotoranj) ili neposredno u mrežu.

Danas se crpne postaje najčešće planiraju s automatskim pogonom. Međutim, zbog specifičnosti pogonskih uvjeta, to u mnogim slučajevima nije moguće. I kod automatskog je pogona nužno da za to bude na raspolaganju i odgovarajući strojar, koji će obavljati svoju dužnost u izvanrednim prilikama. Pri stavljanju u pogon kao i pri isključivanju crpnih agregata treba voditi računa o potrebi za održavanjem odgovarajućeg režima punjenja i pražnjenja natapne mreže kako se ne bi prouzročile nepotrebne štete. Zato za svako crpno postrojenje ili njih veći broj u natapnom sustavu, treba izraditi detaljna pravila pogona i s njima na vrijeme i u cijelosti upoznati osoblje zaduženo za to.

#### *12.7.2.4. Planiranje službe održavanja*

Planiranje opsega održavanja natapne mreže i pridruženih građevina treba obaviti na temelju podataka iz detaljnog projekta sustava, a u nedostatku toga, iz popisa, odnosno inventure, gdje će biti specificirani svi osnovni pokazatelji elemenata mreže. U svakom slučaju, posao se provodi u nekoliko koraka, od kojih glavne navodimo u nastavku.

#### *a) Popis građevina koje treba održavati*

Kao što je navedeno, podaci za ovaj dio posla uzimaju se iz projekta sustava, a ako toga nema, treba obaviti popis. Popis se sređuje po grupama istih osnovnih značajki. Npr. kanali se grupiraju po veličini poprečnog presjeka i sistematiziraju u pojedine skupine (I, II, III. itd.). Ostale se građevine sistematiziraju na sličan način: ustave po veličini otvora, sifoni po profilu cjevovoda, ispusti po protoku itd.

*b) Opseg radova održavanja*

Na temelju podataka dobivenih u prethodnom stavku, pristupa se izradi dokaznice mjera za stvarno potreban opseg radova koje treba obaviti.

Za čišćenje akvatičnog bilja, odnosno za košnju pokosa i eventualno dna kanala, bit će dovoljno veličine poprečnog presjeka pomnožiti s odgovarajućim dužinama pojedinih kategorija. Za određivanje volumena nanosa koji treba odstraniti, trebat će obaviti snimanje stanja kanala neposredno prije početka radova. Za tu svrhu bit će dovoljno da se poprečni presjeci snime svakih 50 m. Za ostale građevine treba pronaći prikladan model za prikaz radova koje treba realizirati.

Nakon što su predmjeri za sve kategorije dovršeni, radove treba grupirati prema načinu izvršenja, odnosno treba ih sistematizirati prema vrsti strojeva ili manualnih operacija kojima će se to provesti.

*c) Optimalan turnus održavanja*

Ova se veličina obično utvrđuje na osnovi projektnih postavki sustava. Naime, pri projektiranju kanala, po pravilu se poprečnom presjeku dodaje izvjestan postotak površine za akumulaciju nanosa tako da, i neposredno prije čišćenja (odnosno košnje pokosa) može svojim kapacitetom zadovoljiti planirane potrebe. Prema tome, ako se tako postupilo, onda će optimalan ciklus održavanja biti već definiran projektom, samo mu sada treba utvrditi vremenski razmak (2, 3, ... godine). Ako pak nije tako, onda će se turnus održavanja odrediti na osnovi analize mogućnosti udovoljenja pogonskim zahtjevima za određeno stanje (najnepovoljnije) prije čišćenja.

Turnus, odnosno vremenski razmak između dvaju uzastopnih čišćenja, određuje se, dakako, iskustvom. U prvim godinama pogona nekog kanala iskustva nema pa se za planiranje treba koristiti takvim iskustvima iz nekoga susjednoga, sličnog sustava ili to treba odrediti vlastitom prosudbom. Uostalom, u literaturi ima o tome podosta podataka pa se, u nedostatku drugih podataka, može i time poslužiti.

*d) Potreba za mehanizacijom i radnom snagom*

Nakon što je utvrđen opseg radova održavanja koje treba obaviti, pristupa se definiranju načina na koji će se to provesti. Prvi je korak u tom pravcu podjela na ručni (manuelni) i strojni rad. U pravilu, strojno se održavanje kanala provodi kod projekata visoke tehnologije (razvijene zemlje), a ručno u obrnutim slučajevima. Uostalom, u nerazvijenim zemljama, u pravilu, ima na raspolaganju dovoljno jeftine radne snage. Pri donošenju odluke o tome tko će radove realizirati, ponajprije ih treba dati domaćim radnicima i poduzetnicima.

Danas ima na raspolaganju veliki broj vrsta strojeva i za čišćenje mulja i za košnju akvatičnog bilja tako da se može izabrati najprikladniji tip. Međutim, kod manjih natapnih sustava, gdje je količina radova relativno mala, treba se osloniti na "univerzalne" strojeve, odnosno na modele koji mogu obavljati što veći broj operacija.

Čišćenje kanala od akvatičnog bilja može se provoditi i ručnim alatima i mehanizacijom te kemijskim i biološkim sredstvima. Od kemijskih sredstava na raspolaganju je veći broj herbicida, koji su se u posljednje vrijeme zabranjivali u većem broju zemalja radi zaštite okoliša pa s njima treba postupati veoma oprezno ili

najbolje je ne koristiti se njima. Biološke su metode veoma privlačne jer se temelje na introdukciji pojedinih životinjskih vrsta koje se hrane akvatičnim korovom (npr. riba amur). Vjerovatno će se u budućnosti značajni uspjesi u tom pravcu postići razvojem biljnih ili životinjskih vrsta (npr. mikroorganizma) koji uništavaju močvarnu vegetaciju.

#### *12.7.2.5. Realizacija programa održavanja*

Služba je održavanja po svojoj prirodi specifična za svaki natapni sustav tako da se ne mogu dati neka jedinstvena opća pravila za realizaciju programa održavanja, ali ima, dakako, nekih zajedničkih općih načela, koja se mogu sažeti ovako:

- planiranje održavanja treba pomno i na vrijeme obaviti jer za to redovito stoje na raspolaganju ograničeno vrijeme i sredstva;

- praćenje je realizacije plana održavanja važno ne samo zato da se osiguravaju adekvatni, realni podaci za buduće planiranje već da se time kontrolira realizacija tekućeg plana;

- poželjno je da se za realizaciju plana održavanja angažiraju i poljodjelci. Njima se mogu ustupiti radovi na održavanju pojedinih građevina sustava, čime će moći ne samo namiriti dio ili u cjelini troškove pogona svog imanja već se više zainteresirati za pogon sustava u cjelini;

- dimenzioniranje kapaciteta službe održavanja (radna snaga i mehanizacija) treba provesti tako da ta služba pokriva samo osnovne - stalno (svake godine) prisutne radove održavanja na sustavu. Sve ostale povremene i izvanredne radove koji se mogu pojaviti radi nekih neplaniranih i izuzetnih okolnosti, treba realizirati putem licitacija (izvođača). Na taj se način može na minimum svesti prazan hod pojedinih odjela i smanjiti troškove održavanja.

#### *12.7.2.6. Osoblje službe održavanja*

Služba održavanja ima najčešće ovu kvalifikacijsku strukturu zaposlenog osoblja:

- radnike,
- predradnike,
- poslovođe,
- voditelje sektora,
- strojare,
- mehaničare,
- voditelje pogona.

U ranijim fazama održavanja natapne (odvodne) mreže u nas, kao i u nerazvijenim zemljama još uvijek danas, zapošljavao se veliki broj nekvalificiranih radnika za održavanje (čišćenje mulja, sječenje šiblja, košnju vegetacije) natapne - odvodne mreže. Ta je radna snaga - u pravilu - bila sezonskog karaktera i zapošljavala se samo za vrijeme proljetno - ljetne sezone. Danas je kod nas takav način zapošljavanja radne snage sveden na minimum, a u nekim je predjelima gotovo potpuno nestao. Nekvalificirani se radnici zapošljavaju uglavnom na neodređeno vrijeme, a njihov je

broj sveden na minimum. Radovi se u najvećoj mjeri izvode mehanizacijom, i to ili s trajno zaposlenom stručnom radnom snagom ili pomoću trećih lica (po ugovoru). U slučaju realizacije programa radova ručnim sredstvima s nekvalificiranom radnom snagom, formiraju se grupe (brigade) od 10 do 15 radnika.

Kvalificirana je radna snaga (zidari, tesari, bravari i dr.) u najvećem broju zaposlena na neodređeno vrijeme i zapravo čini stalni sastav poduzeća. Zaposeliti treba samo onoliko broj takvih radnika za koje je trajno osigurano cjelogodišnje zaposlenje.

Predradnik je najčešće jedan iz grupe nekvalificiranih radnika (voditelj brigade) koji uživa najveći autoritet i čiji je zadatak koordinirati rad, održavati disciplinu i poticati grupu na izvršenje svog zadatka. On za svoj rad ne dobiva posebnu plaću (eventualno neki simboličan dodatak).

Poslovođa mora imati ili završenu srednju stručnu spremu ili priznatu adekvatnu kvalifikaciju putem doškoloavanja. Njegov je zadatak organizirati i pratiti rad grupa, osigurati odgovarajuću kvalitetu i standard izvedenih radova, voditi evidenciju o radnom vremenu i izvedenim radovima i osigurati potreban materijal, opremu i alat za izvedbu radova. Poslovođa najčešće nadzire 5 do 10 brigada, ako se radi o ručnim radovima, odnosno do 5 strojara ako se radi o realizaciji programa strojevima.

Voditelj je sektora (područja) ključna osoba odgovorna za održavanje povjerenoga mu područja. On predlaže i priprema program radova i odnosni troškovnik te kontrolira i preuzima izvedene radove. Za voditelja sektora može biti postavljena osoba koja ima višu stručnu spremu građevinske struke ili pak mlađi diplomirani inženjer građevinarstva. Osim onoga što je navedeno, njegov je zadatak da:

- povremeno obilazi područje i priprema predračun radova koje treba izvesti;
- predlaže voditelju pogona radove koje treba realizirati;
- predlaže tehnologiju realizacije radova (stručno, strojno);
- obračunava izvršene radove;
- nadzire kvalitetu izvedenih radova.

Voditelj sektora obično pokriva područje na kojem djeluje 4-5 poslovođa, odnosno na jednoj pogonskoj jedinici.

Strojari su osobe koje upravljaju pojedinim građevinskim strojevima. Kako su strojevi (bageri, rovokopači, traktori, utovarivači i sl.) veoma skupi i visokoučinkoviti (ako se njima pravilno upravlja), osoba koja njima upravlja mora biti visokokvalificirana. Učinak stroja i njegov vijek trajanja uvelike ovisi o sposobnosti strojara, zato tome treba posvetiti izuzetnu pozornost. Osim onoga što je navedeno, strojar mora redovito održavati povjereni mu stroj, izvješćivati o utrošenom gorivu i mazivu te o eventualnim većim lomovima i kvarovima.

U pravilu je jedan strojar zaposlen na jednom stroju. Međutim, u nekim slučajevima, kada se strojevi upotrebljavaju manji dio radnog vremena dnevno, jedan strojar može biti zadužen za 2-3 stroja, odnosno obratno, kada se forsira izvedba nekih radova, na jednom stroju mogu, u smjenama, raditi do tri strojara.

Mehaničari su zaduženi za održavanje strojnog parka i njihov se rad uglavnom odvija u mehaničkoj radionici. Moraju biti visokokvalificirani radnici s bar pet

godina radnog iskustva. Ako se veliki kvarovi (remonti) ne obavljaju u područnoj radionici, već se šalju u specijalizirane servise, za strojni park od 20-ak jedinica moglo bi bit dovoljno 2-3 majstora i još toliko pomoćnika.

Voditelj je održavanja ključna osoba natapne organizacije zadužena za održavanje sustava. Osim različitih obveza administrativne i organizacijske naravi, on mora obavljati još i ovo:

- preporučiti opseg godišnjih radova održavanja,
- pripremiti dokumentaciju za izvedbu radova održavanja putem izvođača,
- dati naloge za nabavu alata i materijala,
- nadzirati održavanje mehanizacije,
- odobravati isplate izvođačima,
- davati izvješća o troškovima održavanja višim organima.

Osoba na položaju voditelja održavanja mora biti diplomirani inženjer građevinarstva hidrotehničke struke, po mogućnosti s bar pet godina prakse u natapanju. Također mora imati organizacijske i upravljačke sposobnosti.

U svijetu je uobičajeno da se posebna služba održavanja organizira kod natapnih sustava od bar 10.000 ha površine. Kod manjih se natapnih sustava ta služba obično spaja sa službom pogona. Naprotiv, kod velikih natapnih sustava (npr. oko 50.000 ha) voditelj službe održavanja dobiva pomoćnike (kao i ostalo pomoćno osoblje) za svakih 20-30.000 ha površine.

## LITERATURA

1. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla. Natapanje, Udžbenik, str.216. Školska knjiga, Zagreb, 1987.
2. Kos, Z. : Povijesni pregled razvoja navodnjavanja. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. kolo, Natapanje, knjiga 1, Opći dio, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 1992.
3. Margeta, J.: Osnove gospodarenja vodama. Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, 1992.
4. Ollier, Ch. - Poirée, M.: Assainissement Agricole, Eysolles, Paris, 1981.
5. Sagardoy, J.A. : Organization, operation and maintenance of irrigation schemes, FAO Irrigation and Drainage Paper 40, Rome, 1986.
6. Van der Leeden, F. : The Water Encyclopedia, Second Edition, 1990. Lewis Publishers, 121 South Main Street, Michigan 48118.
7. xxx Vode Hrvatske: Monografija. JVP "Hrvatska vodoprivreda", Zagreb, 1992.